

INDICE GENERAL  
DOCUMENTO N° 4. PROPUESTA TÉCNICA

TOMO	CONTENIDO	
TOMO 1		RESUMEN EJECUTIVO
TOMO 2	A	MEMORIA DESCRIPTIVA DEL DISEÑO DE INGENIERÍA
	A.1.	MEMORIA DESCRIPTIVA DE OBRAS CIVILES, DEL EQUIPAMIENTO DE SISTEMAS Y DEL EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO
	A.2.	CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS OBRAS CIVILES Apéndice 1: Planos
TOMO 3	A.3.	TOPOGRAFÍA DEL PROYECTO Apéndice 1: Planos
	A.4.	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO Apéndice 1: Registro de sondeos mecánicos Apéndice 2: Registros de calicatas Apéndice 3: Ensayos de permeabilidad in situ Apéndice 4: Registros de la investigación geofísica Apéndice 5: Ensayos de laboratorio Apéndice 6: Cálculos analíticos de estabilidad en el frente Apéndice 7: Planos
TOMO 4		
TOMO 5	A.5.	TRAZO, DISEÑO GEOMÉTRICO Y SUPERESTRUCTURA DE VÍA DE LA LÍNEA PRINCIPAL
TOMO 6	A.5.1.	Diseño del Trazado Apéndice 1: Planos
	A.5.2.	Tipo de Superestructura de vía Apéndice 1: Planos
	A.5.3.	Parámetros de diseño y conservación de la vía férrea incluyendo sus tolerancias geométricas Apéndice 1: Planos
	A.5.4.	Estudio funcional de la superestructura de vía Apéndice :Simulaciones cinemáticas
	A.5.5.	Estudio de ruido y vibraciones Apéndice 1: Estudio de ruido y vibraciones secundario
TOMO 7	A.6.	TUNEL
	A.6.1.	Memoria descriptiva general de túneles Apéndice 1: Planos
	A.6.2.	Selección del diámetro del túnel Apéndice 1: Memoria de cálculo de galibos UIC505 y determinación de galibos Apéndice 2: Planos de secciones tipo Apéndice 3: Esquema de evacuación de emergencia Apéndice 1: Planos
	A.6.3.	Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal Apéndice 1: Planos
	A.6.4.	Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes Apéndice 1: Modelización numérica para la comprobación del revestimiento primario Apéndice 2: Obtención de los esfuerzos en el revestimiento por métodos analíticos Apéndice 3: Modelización numérica revestimiento definitivo Apéndice 4: Dimensionamiento del revestimiento definitivo del túnel de línea Apéndice 5: Dimensionamiento del revestimiento definitivo de cavernas
	A.6.5.	Selección de TBM
TOMO 8	A.6.6.	Pozos de ataque para TBM
	A.6.6.1.	Pozos de ataque para TBM Apéndice 1. Cálculo pozo de ataque Gambetta Apéndice 2. Cálculo pozo Extracción L2. Apéndice 3. Cálculo pozo extracción L4. Apéndice 4. Planos
	A.6.6.2.	Logística TBM Apéndice 1: Planos
	A.6.7.	Medidas de Protección de Edificios y Servicios Públicos. Apéndice 1: Cálculos de subsidencias de la L2 Apéndice 2: Cálculos de subsidencias de la L4 Apéndice 3. Planos
	A.6.8.	Sistema de Monitoreo y Auscultación. Apéndice 1: Planos
TOMO 9	A.6.9.	Excavación en trinchera (método Cut & Cover) Apéndice 1. Cálculos ramales Bocanegra Apéndice 2. Cálculos Terceras Vías Apéndice 3. Cálculos ramales Santa Anita Apéndice 4. Planos
	A.6.10.	Excavación en caverna Apéndice 1. Esfuerzos en el revestimiento por métodos analíticos Apéndice 2. Modelización numérica para la obtención de esfuerzos en el revestimiento definitivo



INDICE GENERAL  
DOCUMENTO N° 4. PROPUESTA TÉCNICA

TOMO	CONTENIDO
	<p>Apéndice 3. Dimensionamiento del revestimiento definitivo de las cavemas</p> <p>Apéndice 4. Planos</p>
TOMO 10	<p>A.7. ESTACIONES DE PASAJEROS</p> <p>A.7.1. Memoria Descriptiva General por estación</p> <p>Apéndice 1: Planos definición funcional</p> <p>A.7.2. Arquitectura por tipología de estación.</p> <p>Apéndice 1: Planos. Estaciones tipo</p> <p>A.7.3. Excavación y tratamiento de consolidación por tipología</p> <p>Apéndice 1: Planos. Proceso constructivo estaciones</p>
TOMO 11	<p>A.7.4. Memoria de cálculo de las estructuras permanentes por tipología.</p> <p>Apéndice 1: Dimensionamiento estructural. Estaciones C&amp;C</p> <p>Apéndice 2: Dimensionamiento estructural. Estaciones cavema</p> <p>Apéndice 3: Planos. Estructuras de estación.</p>
TOMO 12	<p>A.7.5. Accesibilidad del sistema y dimensionamiento de los andenes.</p> <p>Apéndice 1. Cálculos de evacuación</p> <p>Apéndice 2. Niveles de servicio de estaciones tipo</p> <p>Apéndice 3: Planos de rutas de evacuación</p> <p>A.7.6. Instalaciones ferroviarias en estación</p> <p>A.7.6.1. Sistema de alimentación eléctrica</p> <p>A.7.6.2. Sistema de las puertas de andén</p> <p>A.7.6.3. Sistema de control de pasajeros</p> <p>A.7.6.4. Sistema de telecomunicaciones</p> <p>A.7.6.5. Sistema de señalización</p> <p>A.7.6.6. Dimensionamiento de torniquetes</p>
TOMO 13	<p>A.7.7. Simulaciones del flujo de pasajeros</p> <p>Apéndice 1. Cálculos de Evacuación</p> <p>Apéndice 2. Informes de simulación</p> <p>A.7.8. Instalaciones no ferroviarias o equipamiento electromecánico por tipología de estación</p> <p>A.7.8.1. Instalaciones no ferroviarias.</p> <p>A.7.8.2. Hidrología y drenaje</p> <p>Apéndice 1: Planos</p> <p>A.8. INTEGRACIÓN FÍSICA E INSERCIÓN URBANA</p> <p>A.8. Memoria descriptiva de integración física e inserción urbana</p> <p>Apéndice 1: Matriz de alteración del entorno urbano</p> <p>A.8.1. Estaciones Línea 2</p> <p>Apéndice 1: Planos de inserción urbana. L-2</p> <p>A.8.2. Estaciones Línea 4</p> <p>Apéndice 1: Planos de inserción urbana. L-4</p>
TOMO 14	<p>A.8.3. Soluciones de ingeniería</p> <p>A.8.4. Pozos de Ventilación y/o Salidas de Emergencia Línea 2</p> <p>A.8.5. Pozos de Ventilación y/o Salidas de Emergencia Ramal Av. Faucett- Av. Gambetta Línea 4</p> <p>A.8.6. Patios talleres (Santa Anita y Bocanegra)</p> <p>Apéndice 1: Planos</p> <p>A.9. PATIOS TALLERES Y POZOS DE VENTILACIÓN Y/O SALIDAS DE EMERGENCIA</p> <p>A.9.1. Memoria descriptiva general</p> <p>A.9.2. Diseño funcional y dimensionamiento de los patios taller</p> <p>Apéndice 1: Equipos</p> <p>Apéndice 2: Planos generales</p>
TOMO 15	<p>A.9.3. Arquitectura de los Patios Talleres y Pozos de Ventilación y/o salidas de emergencia</p> <p>A.9.3.1. Arquitectura de los Patios Taller.</p> <p>Apéndice 1: Planos</p> <p>A.9.3.2. Arquitectura de los Pozos de ventilación y salidas de emergencia</p> <p>Apéndice 1: Planos definición geométrica</p> <p>A.9.4. Estructuras de los Patios Talleres y Pozos de Ventilación y/o Salidas de Emergencia</p> <p>A.9.4.1. Estructuras de los Patios Taller.</p> <p>Apéndice 1: Planos de edificios y nave taller</p> <p>A.9.4.2. Estructuras de los Pozos de ventilación y emergencia</p> <p>Apéndice 1: Planos de estructuras y procedimientos constructivos</p>
	<p>A.9.5. Memoria de Cálculo para las Estructuras Permanentes</p> <p>A.9.5.1. Memoria de Cálculo para las Estructuras Permanentes. Patios taller</p> <p>A.9.5.2. Memoria de Cálculo para las Estructuras Permanentes. Pozos</p> <p>Apéndice 1: Pozos laterales sin presencia de nivel freático</p> <p>Apéndice 2: Pozos cenitales sin presencia de nivel freático</p> <p>Apéndice 3: Pozo cenital tramo túnel TMB en presencia de nivel freático</p> <p>A.9.6. Esquema ferroviario y Diseño de la superestructura de vía férrea, alimentación eléctrica y señalización de los Patios talleres</p> <p>A.9.6.1. Esquema ferroviario y superestructura de vía de los patios talleres</p>

INDICE GENERAL  
DOCUMENTO N° 4. PROPUESTA TÉCNICA

TOMO	CONTENIDO
TOMO 16	<p>Apéndice 1: Planos</p> <p>A.9.6.2. Esquema alimentación eléctrica de los patios talleres.</p> <p>A.9.6.3. Esquema ferroviario y Señalización de los patios talleres.</p> <p>A.10. A.9.7. Instalaciones no ferroviarias de patios taller y pozos de ventilación y emergencia</p> <p><b>DESVIOS</b></p> <p>Apéndice 1: Planos macrodesvíos</p>
	<p><b>B</b></p> <p><b>DISEÑO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES</b></p> <p><b>B1</b></p> <p>Equipos y materiales para el proyecto, las obras civiles y el equipamiento</p> <p><b>Equipos</b></p> <p>B.1.a.1 Selección de procedencia y tecnología</p> <p>B.1.a.2 Seguridad, oportunidad y optimización</p> <p>B.1.a.3 Gestiones y ruta crítica</p> <p>Gestiones. Transporte a pie de obra</p> <p>Gestiones. Importación</p> <p>Gestiones. Requerimientos de montaje y desmontaje</p> <p>Ruta crítica.Cronograma de suministro</p> <p><b>Materiales</b></p> <p>B.1.b.1 Selección de procedencia y tecnología</p> <p>B.1.b.2 Seguridad, oportunidad y optimización</p> <p>B.1.b.3 Gestiones y ruta crítica</p> <p>Gestiones. Transporte a pie de obra</p> <p>Gestiones. Importación</p> <p>Gestiones. Acopios</p> <p>Ruta crítica.Cronograma de suministro</p>
TOMO 17	<p><b>C</b></p> <p><b>DISEÑO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE SISTEMA Y DEL EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO</b></p> <p><b>C.1</b></p> <p><b>INSTALACIONES FERROVIARIAS</b></p> <p>C.1.1. Diseño, suministro e instalación de la superestructura de vía</p> <p>Apéndice 1: Planos</p> <p>C.1.2. Instalaciones ferroviarias</p> <p><b>Diseño</b></p> <p>C.1.2.1 Señalización y control</p> <p>C.1.2.2 Puertas de andén</p> <p>C.1.2.3 Mando y control centralizado</p> <p>C.1.2.3.1 SCADA-DWH</p> <p>C.1.2.3.2 IWS</p> <p>C.1.2.3.3 Service Availability</p> <p>C.1.2.4 Control de pasajeros</p> <p>C.1.2.5 Sistema de Alimentación</p> <p>C.1.2.6 Sistema de tracción eléctrica</p> <p>C.1.2.7 Sistemas de telecomunicaciones</p> <p>C.1.2.7.1 Subsistema de Radiocomunicaciones (radio tierra-tren)</p> <p>C.1.2.7.2 Subsistema de Video Vigilancia</p> <p>C.1.2.7.3 Subsistema de Relojería</p> <p>C.1.2.7.4 Subsistema de Paneles de Indicación (SPI)</p> <p>C.1.2.7.5 Subsistema de Difusión Sonora</p> <p>C.1.2.7.6 Subsistema de Comunicación Primaria</p> <p>C.1.2.7.7 Subsistema de Telefonía Automática de Servicio</p> <p>C.1.2.7.8 Subsistema de Telefonía de Emergencia y de Interfonía</p> <p>C.1.2.7.9 Subsistema Data Communication System (DCS)</p> <p>C.1.2.7.10 Subsistema Integrated Communication Control System (ICCS)</p> <p>C.1.2.7.11 Fleet Data Collector</p> <p>C.1.2.7.12 Subsistema de a bordo</p> <p>C.1.2.8 Puesto Central de comando y control</p> <p>C.1.2.9 PLAN PRELIMINAR DE RAMS DEL SISTEMA</p> <p><b>Suministro e instalación</b></p> <p>C.1.2.10 Suministro e instalación</p>
TOMO 18	<p><b>C.2</b></p> <p><b>INSTALACIONES NO FERROVIARIAS</b></p> <p>C.2.1. Diseño de las instalaciones no ferroviarias</p> <p>Apéndice 1: Cálculos</p>
TOMO 19	Apéndice 1: Cálculos
TOMO 20	Apéndice 1: Cálculos
TOMO 21	Apéndice 1: Cálculos Apéndice 2: Planos
TOMO 22	Apéndice 2: Planos

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



INDICE GENERAL  
DOCUMENTO N° 4. PROPUESTA TÉCNICA

TOMO	CONTENIDO	
	C.2.2.	Suministro e instalación
TOMO 23	D	DISEÑO, FABRICACIÓN Y PRUEBAS DEL MATERIAL RODANTE
	D1	DISEÑO, FABRICACIÓN, PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN FABRICA, TRANSPORTE, ENSAMBLE Y ACOPLE, PRUEBAS DE PUESTA EN MARCHA E INTEGRACIÓN DEL MATERIAL RODANTE
	D.1.1.	Configuración del tren
	D.1.2.	Vida útil de los trenes y ciclos de servicio.
	D.1.3.	Gálibo
	D.1.4.	Capacidad de transporte del tren
	D.1.5.	Características de los trenes
	D.1.6.	Prestaciones de los trenes
	D.1.7.	Sistema de diagnóstico y transmisión de fallas de los trenes al Puesto Central de Operaciones. Sistema de señalización y comunicación
	D.1.8.	Salidas de emergencia del tren
	D.1.9.	Composición estructural de las cajas
D.1.10.	Cronograma de suministro del Material Rodante para Primera Etapa A, Primera Etapa B y Segunda Etapa del Proyecto	
D.1.11.	Design Book	
TOMO 24	E	METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO
	E.1.	METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS CIVILES, PROVISION DE MATERIAL RODANTE, DE LA OPERACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL CONTRATO Y RELACIÓN DE REPUESTOS ESTRATÉGICOS Y CRÍTICOS
	E.1.a	Memoria descriptiva
	E.1.a.1	Plan de construcción de las obras civiles Metodología constructiva de las obras civiles Informe técnico del procedimiento de construcción de túneles Metodología constructiva con tuneladora Estrategia del uso de tuneladoras.Planta de dovelas
	E.1.a.2	Relación de repuestos estratégicos y críticos
	E.1.b	Procedimiento de construcción para los túneles y la planta de dovelas
	E.1.c	Listado de equipos y herramientas especiales
	E.1.d	Diagrama espacio-tiempo del desarrollo del proyecto
	E.2	RELACIÓN DE REPUESTOS ESTRATÉGICOS Y CRÍTICOS
	E.3	LA PROVISIÓN DEL MATERIAL RODANTE Y OPERACIÓN
TOMO 25	F	ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO EN LAS DISTINTAS FASES DEL PROYECTO
	F.1.	Organización del equipo de trabajo en las distintas fases del proyecto
	G	CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS
	G.1.	CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS
	H	PROPUESTA DE OPERACIÓN DEL PROYECTO
	H.1	PROPUESTA DEL MODELO DE EXPLOTACIÓN POR BUCLES
	H.2	TIEMPO DE VIAJE PROPUESTO
	H.3	CAPACIDAD DE TRANSPORTE DEL SISTEMA EN PASAJEROS POR HORA POR DIRECCIÓN
	H.4	FRECUENCIAS DE SERVICIO
	H.5	PROPUESTA DE NIVELES DE SERVICIO POR CADA ETAPA
	H.6	FLEXIBILIDAD EN LA OPERACIÓN
	H.7	PLAN DE ENTRENAMIENTO Y CAPACITACIÓN DEL PERSONAL
	H.8	PROPUESTA DE ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL DE LA CONCESIÓN
	H.9	DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO EN LA OPERACIÓN
	H.10	PLAN DE EXPLOTACIÓN (OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO), DE SEGURIDAD Y CONTINGENCIAS.
H.11	PLAN DE DESARROLLO COMERCIAL DE LAS ESTACIONES Y TRENES	
I	PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA Y DEL MATERIAL RODANTE	
I.1	ESTÁNDARES Y NORMAS TÉCNICAS A SER ADOPTADAS	
I.2	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	
I.3	TIPOS DE INTERVENCIÓN POR CADA SUBSISTEMA	
I.4	EQUIPAMIENTO E INSTALACIONES REQUERIDAS PARA EL MANTENIMIENTO	
I.5	TECNOLOGÍA APLICABLE	
I.6	AUTOMATIZACIÓN PARA EL CONTROL DE LA INTERFACE RUEDA - RIEL IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES Y TELECOMUNICACIONES DEL SISTEMA. DIAGNÓSTICO COMPUTARIZADO DE LA GEOMETRÍA DE LA VÍA FÉRREA Y CATENARIA.	
I.7	PERSONAL REQUERIDO	
I.8	LISTADO DE EQUIPOS FIJOS Y MÓVILES	

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



002014



INDICE GENERAL  
DOCUMENTO N° 4. PROPUESTA TÉCNICA

TOMO	CONTENIDO		
	I.9	OTROS QUE SE CONSIDERARAN APLICABLES	
TOMO 26	J	PLAN DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	
	J.1.	PLAN DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	
	J.1.1.	Plan General de Calidad, Apéndice 1. Certificados de Calidad	
	J.1.2.	Plan de Calidad de Diseño	
	J.1.3.	Plan de Calidad durante la ejecución de las obras	
	J.1.4.	Plan de Calidad de la Tecnología del Sistema y de Equipamientos Civiles	
	J.1.5.	Plan de Calidad del Material Rodante	
	J.1.6.	Plan de Calidad en Explotación	
	J.2.	MEMORIA DESCRIPTIVA DEL CONTENIDO DEL MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD	
TOMO 27	K	PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL Y DE SEGURIDAD Y SALUD	
	K.1.	MEMORIA DESCRIPTIVA DEL MANUAL DE SEGURIDAD, SALUD Y AMBIENTE	
	K.1.1.	Gestión Ambiental	
	K.1.1.1	Gestión Ambiental Diseño y Construcción Apéndice 1: Identificación y evaluación del cumplimiento legal. Apéndice 2: Matrices ambientales Apéndice 3: Fichas ambientales Apéndice 4: Cartas dirigidas al grupo de interés Apéndice 5: Plan de gestión de residuos Apéndice 6: Planes de emergencia medioambientales Apéndice 7: Informe de evaluación arqueológica Subapéndice 7.1: Procedimientos administrativos Subapéndice 7.2: Fichas de evacuación arqueológica Subapéndice 7.3: Fichas técnicas de registro Subapéndice 7.4 : Fichas técnicas de hallazgos Apéndice 8: Planos de gestión ambiental Apéndice 9: Planos arqueología	
		K.1.1.2	Gestión Ambiental Explotación Apéndice 1: Certificados de Gestión Ambiental
		K.1.2.	Plan de Seguridad y Salud
		K.1.2.1	Plan de Seguridad y Salud de diseño y construcción Apéndice 1: Fichas de inspección
		K.1.2.2	Plan de Seguridad y Salud en Explotación Apéndice 1: Certificados de Seguridad y Salud
	TOMO 28		
TOMO 29	L	PROTOCOLOS PARA LA EJECUCIÓN DE PRUEBAS	
	L.1.	MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS PROTOCOLOS PARA LA EJECUCIÓN DE PRUEBAS	
	M	MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA Y MATERIAL RODANTE	
	M.1.	MEMORIA DESCRIPTIVA DEL MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA.	
	M.2.	MEMORIA DESCRIPTIVA DEL MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL MATERIAL RODANTE	
	N	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE HITOS (OBRAS Y MATERIAL RODANTE)	

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



**INDICE GENERAL**  
**DOCUMENTO Nº 4. PROPUESTA TÉCNICA**

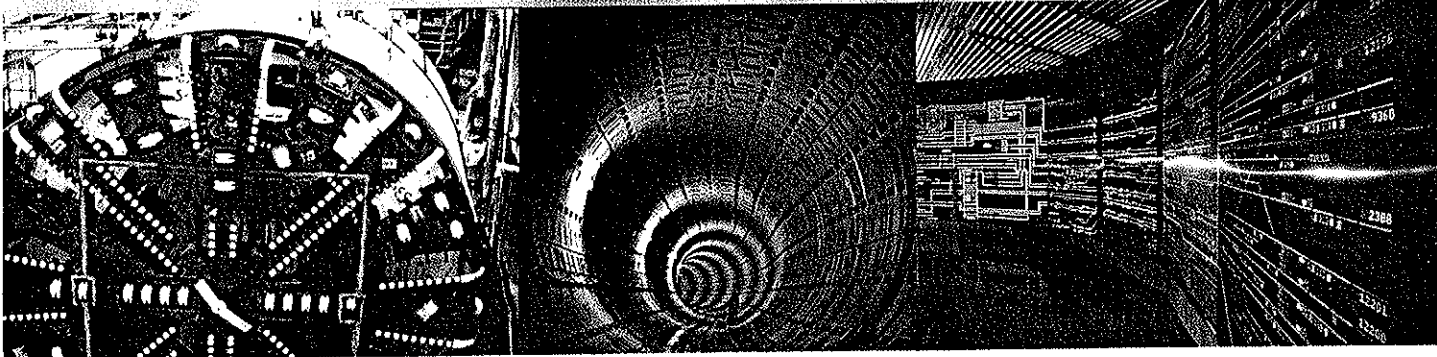
TOMO		CONTENIDO
	N.1. N.2.	HITOS DE OBRAS POR ETAPAS HITOS DE PROVISIÓN DE MATERIAL RODANTE POR ETAPAS
TOMO 30	O	INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PRIMERA ETAPA A
	O.1. O.1.1. O.1.2.	ESTUDIOS BÁSICOS Topografía de detalle Apéndice 1: Planos Estudio geotécnico Apéndice 1: Registro de sondeos mecánicos Apéndice 2: Registro de calicata Apéndice 3: Registro de la investigación geofísica Apéndice 4 Ensayos de laboratorio
TOMO 31	O.1.3.	Apéndice 4 Ensayos de laboratorio Apéndice 5: Planos Análisis de riesgo sísmico Apéndice 1: Mapa neotectónico del Perú Apéndice 2: Curvas de probabilidad de excedencia para aceleración espectral T=0 s. Apéndice 3: Espectros de peligro uniforme Apéndice 4: Espectros de diseño sísmico
	O.1.4.	Estudio de desvíos de tráfico Apéndice 1 :Planos
	O.1.5.	Estudio de interferencias Apéndice 1: Planos
	O.2. O.2.1.	GEOMETRÍA (Trazado) Trazado de las vías Apéndice 1: Planos
TOMO 32	O.3	TÚNELES
	O.3.1. O.3.2.	Memoria descriptiva con definición de los métodos constructivos Diseño de las secciones tipo de túnel Apéndice 1. Modelización numérica (flac3d) revestimiento primario. Apéndice 2. Obtención de los esfuerzos en el revestimiento por métodos analíticos. Apéndice 3. Modelización numérica (phase2d) revestimiento definitivo. Apéndice 4. Dimensionamiento revestimiento definitivo del túnel de línea Apéndice 5. Cálculos de daños a estructuras sensibles. Apéndice 6. Cálculos de la cubeta de subsidencias. Apéndice 7. Planos
	O.3.3	Diseño de la conexión subterránea con Patio Santa Anita (Ramal a Talleres) Apéndice 1:Cálculos de ramales Santa Anita Apéndice 2:Planos
	O.3.4.	Pozos de ataque (ventilación) Apéndice 1: Planos
	O.4	ESTACIONES
	O.4.1.	Memoria descriptiva de las estaciones Apéndice 1. Planos
	O.4.2. O.4.3.	Arquitectura de estaciones Accesibilidad del sistema y dimensionamiento de los andenes. Apéndice 1. Cálculos de evacuación Apéndice 2: Planos Apéndice 3: Simulaciones de flujo en estación
	O.4.4.	Estructuras Apéndice 1. Memoria de cálculo estructural. Estación de Evitamiento Apéndice 2. Memoria de cálculo estructural. Estación Ovalo Santa Anita Apéndice 3. Planos
TOMO 33		
TOMO 34		
TOMO 35	O.5.	PATIO TALLER SANTA ANITA
	O.5.1.	Memoria descriptiva del Patio de Santa Anita. Descripción funcional Apéndice 1: Planos
	O.5.2	Excavaciones y muros de contención. Estructuras Apéndice 1:Planos
	O.5.3.	Arquitectura del Patio Taller Santa Anita Apéndice 1:Planos
	O.5.4	Plan de movimiento de tierras
	O.6 O.6.1.	CRONOGRAMA Cronograma detallado Primera Etapa A


**CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA**  
**ALFONSO JUAN BASABE GARCIA**  
 REPRESENTANTE LEGAL






## A.6. TÚNEL



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT – AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BÁSABE GARCÍA  
REPRESENTANTE LEGAL







<b>A.6.1.</b>	<b>A) DISEÑO DE INGENIERÍA</b>
Nº DOCUMENTO	TIPO DE DOCUMENTO

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

## **A.6.1. MEMORIA DESCRIPTIVA GENERAL DEL TÚNEL**


CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



002018

**Índice**

<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2 SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL TÚNEL .....</b>	<b>5</b>
<b>3 EXCAVACIÓN MÉTODOS TBM y NATM EN LÍNEA PRINCIPAL .....</b>	<b>6</b>
<b>4 MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>5 SELECCIÓN DE TBM.....</b>	<b>7</b>
<b>6 POZOS DE ATAQUE PARA TBM.....</b>	<b>8</b>
<b>7 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE EDIFICIOS Y SERVICIOS PÚBLICOS.....</b>	<b>8</b>
<b>8 SISTEMA DE MONITOREO Y AUSCULTACIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>9 EXCAVACIÓN EN TRINCHERA (MÉTODO CUT &amp; COVER) .....</b>	<b>9</b>
<b>10 EXCAVACIÓN EN CAVERNA.....</b>	<b>9</b>
<b>APÉNDICE 1.PLANOS .....</b>	<b>10</b>

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 



**1 INTRODUCCIÓN**

002019

La propuesta técnica para la ejecución de la obra civil de los túneles y obras subterráneas, se fundamenta en la optimización de todos los aspectos relacionados; garantizando la seguridad, tanto en fase de excavación y de explotación de la infraestructura y cumpliendo con los requisitos dimensionales. Además se ha aumentado en gran medida el alcance y el nivel de detalle respecto a los estudios anteriores lo que ha permitido una valoración más ajustada y como consecuencia una optimización del coste.

Para ello, se ha partido de los documentos en los que se describen las características generales de la línea, el trazado, las estaciones, así como los vínculos, las observaciones y requisitos expresados por los órganos institucionales. Los documentos son los siguientes:

- Contrato de Concesión
- Bases del Concurso de Proyectos Integrales para la Concesión de "Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao"
- Proyecto Referencial

En el análisis y elección de las optimizaciones y en el desarrollo de aquellos aspectos clave, se ha respetado escrupulosamente los términos de referencia definidas en el Contrato y las Bases, en los que se definen que aspectos pueden ser objeto de optimización en el proyecto, habiéndose analizado y estudiado todas y cada una de ellos.

Desde el punto de vista de la obra civil de los túneles y obras subterráneas, los principales aspectos en los que se ha analizado la posibilidad de una optimización son los siguientes:

- Selección del diámetro del túnel. El diámetro de los diferentes túneles y obras subterráneas se ha determinado a partir del estudio de gálibos estático, dinámico y cinemático en vía principal y en estación. El diseño geométrico de las secciones de revestimiento se ha basado en integrar el espacio necesario para la explotación de la línea en una geometría lo más circular posible, con el objeto de optimizar el revestimiento
- Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal, profundidad del túnel y rendimientos por día proyectados. Se prevé realizar la mayor parte del túnel mediante una excavación mecanizada con TBM (Tunnel Boring Machine), tanto en la L2 como en el ramal Av. Faucett-Av. Gambetta. En concreto se prevé utilizar una EPB convencional y una EPB modificada para los tramos con carga freática.

Complementariamente se prevé la ejecución de túnel mediante medios convencionales en los siguientes tramos:

- Tramo 5 (L2): entre las estaciones Evitamiento y Mercado Santa Anita (Primera Etapa A)
- Final del Tramo 4 (L2), entre las estaciones de Nicolás Arriola y Evitamiento.
- Tramo 6 (L2): entre las estaciones Mercado Santa Anita y Municipalidad de Ate.

La profundidad máxima por la que discurre el trazado no supera los 29 m sobre clave respecto al terreno natural, tanto en el tramo previsto a ejecutar con TBM como el previsto con NATM.

Se ha estimado conservadoramente un rendimiento medio de ejecución de 13,5 m/día para la EPB y de 11,50 m/día para la EPB modificada y de en torno a 2 m por día para el método convencional.

- Cálculo de las Estructuras Permanentes. En la zona de túnel excavada mediante tuneladora, el revestimiento de la sección se realizan mediante un anillo de dovelas prefabricadas de hormigón armado, formado por 7 (6 +1) dovelas prefabricadas de 0,32 m de canto. El diámetro interior de la sección es igual a 9,20 m, y la longitud de cada uno de los anillos es 1,70. Se emplearán dos tipos de hormigón para las dovelas, en función de la altura de tierras sobre la clave del anillo: Hormigón 40 MPa, (hasta



26,00 m de altura de tierras); y Hormigón 45 MPa (hasta 28,75 m). El dimensionamiento de las dovelas se realiza para cumplir con las exigencias estructurales en todas las situaciones: túnel en servicio, avance de la tuneladora, y desencofrado y almacenamiento de dovelas".

En cuanto al tramo excavado por métodos convencionales, el revestimiento que se construirá en dos etapas: El revestimiento primario, que estará constituido, básicamente, por hormigón proyectado y cerchas y el definitivo, constituido por hormigón armado convencional.

Tanto para la comprobación estructural de las dovelas como del revestimiento definitivo se ha tenido en cuenta las acciones debidas a la carga estática del terreno a largo plazo como las debidas a un evento sísmico acorde a la sismicidad de la ciudad de Lima.

- Selección de TBM. La selección se ha realizado en función de las características de los materiales afectados, así como la afección a las estructuras cercanas y teniendo muy en consideración que las tuneladoras deben permitir la regulación y administración de un equilibrio de presión positiva y evitar la depresión o descensos de la capa freática. Se determina el empleo de una tuneladora tipo EPB convencional, escudo de frente en presión de tierras, en los tramos donde el nivel freático no supera los 4-5 metros por encima de la clave del túnel. En los tramos de túnel donde la carga freática es importante se opta por una tuneladora tipo EPB modificada con circuitos de lodos.
- Pozos de Ataque para TBM. El pozo de introducción de la tuneladora en la línea 4 tiene una longitud total de 70,50 m, y una anchura constante igual a 21,66 m. La longitud permite introducir las piezas de la tuneladora antes de su montaje una vez el pozo se ha excavado íntegramente. La anchura viene impuesta por su funcionamiento ulterior como salida de emergencia y ventilación del túnel de línea, una vez el túnel quede cubierto. La estructura exterior se realizará con pantallas de hormigón armado de 1,0 m de canto, arriostradas con dos niveles de marcos de hormigón de 1,0 metro de canto y 2,50 m de anchura. Cada marco está formado por cuatro celdas con huecos libres de 15,66 m x 15,00 m. y cartelas de 1,50 m x 1,50 m las esquinas de cada una de las células. La contrabóveda del pozo, también de hormigón armado, es quebrada: horizontal en los laterales y con forma de artesa en el centro. La cara superior tiene forma de cuna circular en el centro, para permitir el paso de la tuneladora. El espesor de la contrabóveda es constante e igual a 1,50 m en los laterales horizontales, y variable con espesor mínimo de 1,25 m en el centro bajo la cuna."
- Medidas de Protección de Edificios y Servicios Públicos. Se han efectuado cálculos analíticos de asentamiento para los puntos críticos del trazado de ambas líneas. Para limitar los efectos de los movimientos, se ha empleado como base el criterio de Boscarding y Cording, tomándose como de referencia el "riesgo moderado" como el umbral que marcaría las zonas a tratar. Los tratamientos de mejoramiento consistirán en inyecciones de consolidación desde superficie, bien de cemento o de silicatos. También se ejecutarán barreras de micropilotes que interrumpan la cubeta de asientos generada. En el caso de las pasarelas peatonales se han previsto, apeos provisionales y/o su cierre provisional. Adicionalmente, a los tratamientos de consolidación del terreno asociados a la protección de estructuras, se ha propuesto el tratamiento del material bajo el cauce del Rímac de cara a lograr su consolidación y proteger la perforación de un posible fallo del frente por colapso del terreno que pudiera poner en conexión el frente de excavación con el cauce.
- Sistema de Monitoreo y Auscultación. Se ha elaborado un Plan específico de Monitoreo y Auscultación que detalla los dispositivos de instrumentación y control necesarios para el adecuado control de la influencia de las obras sobre el entorno y la verificación del comportamiento estructural de la infraestructura y que contempla los siguientes aspectos: Establecimiento de nivel de control, Establecimiento de secciones



002021

tipo, Frecuencia y seguimiento, Elaboración informes y Establecimientos de los niveles de alarma. Se definen los tipos de elementos de auscultación que constituyen las secciones de monitoreo a emplean en varios puntos a lo largo de los trazados. Se han considerado: 140 secciones simplificadas de estación, 105 secciones completas de estación, 38 secciones completas de monitoreo en pozos, 386 secciones simplificadas de túnel y 144 secciones completas de túnel.

- Excavación en Trinchera (Método Cut & Cover). Para la excavación en trinchera se prevé utilizar el método Cut & Cover para garantizar la estabilidad de las excavaciones mediante el empleo de pantalla perimetrales. En el Punto A.6.9, se presenta los criterios y las hipótesis establecidas para el diseño de las pantallas, así como el método constructivo.
- Excavación en Caverna. Se plantea realizarla por métodos convencionales mediante medios mecánicos y cada una de las secciones se excavará, revestirá temporalmente, impermeabilizará y se revestirá definitivamente, secuencialmente y por fases en etapas sucesivas. El revestimiento de las cavernas se construirá en dos etapas. El revestimiento primario o temporal que estará constituido, básicamente, por hormigón proyectado y cerchas y el secundario o definitivo constituido por hormigón armado convencional.

En los siguientes apartados se presentan una síntesis de los puntos clave de la propuesta técnica en relación a los túneles y obras subterráneas del Proyecto, tanto aquellos aspectos objeto de optimización como aquellos aspectos en los que se ha aumentado el nivel de detalle y definición.

## **2 SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL TÚNEL**

En el documento A.6.2 Sección del Diámetro del Túnel incluido en la Propuesta Técnica se desarrolla el estudio desarrollado en relación con la sección del diámetro del túnel abordando los siguientes cinco puntos en profundidad:

### **1. Estudio de Gálibos**

El estudio de gálibos incluido en la propuesta técnica tiene como objeto el desarrollo del estudio de gálibos estático, dinámico y cinemático en vía principal y en estación, indicando los desplazamientos laterales, horizontales, balanceo del tren y circulación sin aire en la suspensión secundaria en condiciones normales de operación, de sobrecarga máxima y sobrecarga excepcional.

### **2. Tolerancias Geométricas propuestas para la vía férrea**

En el estudio de gálibos se indican los desplazamientos laterales, horizontales, balanceo del tren y circulación sin aire en la suspensión secundaria en condiciones normales de operación, de sobrecarga máxima y sobrecarga excepcional.

Dicho estudio considera las tolerancias geométricas propuestas para la vía férrea considerando además las pasarelas de emergencia ubicadas a cada lado del túnel, siendo el ancho mínimo entre vías férreas paralelas de 3.80 m y trenes de capacidad mínima de 1,200 y 1,400 pasajeros con 6 y 7 coches por tren respectivamente, con capacidades estándar de 6 pasajeros/m<sup>2</sup>, y sobrecarga máxima de 8 pasajeros/m<sup>2</sup>, y sobrecargas excepcionales de hasta 10 pasajeros/m<sup>2</sup> en caso de operaciones en modo degradado que requieran asistencia y transborde de los pasajeros de un tren detenido en la vía a otro tren.

### **3. Verificación del Cumplimiento de la Norma UIC 505 – 1 para la definición del diámetro del túnel**

En la selección del diámetro del túnel se ha realizado la verificación del cumplimiento de la Norma UIC 505-1 para la definición del diámetro del túnel y los gálibos (estático, dinámico y cinemático) propuestos en las diferentes condiciones de operación indicadas. Si bien el gálibo máximo expuesto por la Norma UIC 505, se encaja en el túnel previsto, el hecho de que el



002022

tren propuesto sea un modelo específicamente metropolitano permite bajar los soportes de la catenaria rígida significativamente, por lo que los soportes y anclajes son más robustos y fiables. Con el análisis realizado, se comprueba la inexistencia de interferencias entre sí ni tampoco con las instalaciones fijas.

#### **4. Compatibilidad del diseño del túnel con el diseño de material rodante y con la explotación prevista**

El estudio contempla la compatibilidad del diseño del túnel con el diseño del material rodante propuesto, y con la capacidad de transporte del tren y la capacidad de transporte del sistema ferroviario en horas punta y horas valle a lo largo del periodo de explotación y en condiciones de operación normal, en modo degradado y de emergencia. .

#### **5. Plan de Emergencias para la Evacuación**

El estudio contempla el Plan de Emergencias para la evacuación de los pasajeros en el contexto de una operación completamente sin conductor.

A continuación de la Memoria Técnica del documento A.6.2 de se incluyen desarrollados los siguientes apéndices:

- Apéndice 1: Memoria de Cálculo con la Norma UIC 505 para el diseño del túnel y la determinación de los gálibos.
- Apéndice 2: Planos Secciones en recta y curva, en vía principal y vías secundarias (terceras vías y accesos a patios).
- Apéndice 3: Esquemas de evacuación de emergencia por pasillos laterales, por puertas frontales del tren junto con las simulaciones correspondientes en línea con la normativa internacional de seguridad vigente.

### **3 EXCAVACIÓN MÉTODOS TBM Y NATM EN LÍNEA PRINCIPAL**

De acuerdo con las especificaciones del Contrato de Concesión, se prevé realizar la mayor parte del túnel mediante una excavación mecanizada con TBM (Tunnel Boring Machine), tanto en la L2 como en el ramal Av. Faucett-Av. Gambetta. Complementariamente se prevé la ejecución de túnel mediante medios convencionales en los siguientes tramos:

- Tramo 5 (L2): entre las estaciones Evitamiento y Mercado Santa Anita (Primera Etapa A)
- Final del Tramo 4 (L2), entre las estaciones de Nicolás Arriola y Evitamiento.
- Tramo 6 (L2): entre las estaciones Mercado Santa Anita y Municipalidad de Ate.

El diseño del túnel se ha desarrollado teniendo en cuenta las principales normativas, códigos y recomendaciones existentes, así como bibliografía técnica.

Teniendo en cuenta que la profundidad máxima por la que discurre el trazado no supera los 29 m sobre clave respecto al terreno natural, tanto en el tramo previsto a ejecutar con TBM como el previsto con NATM y que el trazado próximo a la costa (Línea 4, excepto el final y tramo inicial de la Línea 2); previsto excavar con TBM, el nivel del agua está por encima de la clave del túnel, siendo la columna máxima de agua del orden de los 15 m.

Se ha estimado un rendimiento medio de excavación de 11,5 m/día para la tuneladora EPB convencional y 13,5 m/día para la tuneladora tipo EPB modificada con circuito de lodos, en función de la presencia a no de agua y otros condicionantes, estimando que un 45% de total del tiempo la máquinas estarán excavando y el 55% del tiempo restante se empleará en labores de mantenimiento, reparaciones, etc.

En el Apartado A.6.3 *Excavación métodos TBM y NATM en línea principal*, se abordan extensamente todos los aspectos relativos a la excavación de los túneles tanto con TBM como mediante el NATM, describiendo los diferentes métodos constructivos, los equipos y maquinaria necesarios, las medidas de auscultación y control para garantizar que la ejecución del túnel es la prevista y en caso contrario poder realizar ajustes lo antes posible. También se trata el transporte del material excavado vertedero y el plan de contingencias.



002023

#### 4 MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS

En la zona de túnel excavada mediante tuneladora, el revestimiento de la sección se realiza mediante un anillo de dovelas prefabricadas de hormigón armado, formado por 7 (6 +1) dovelas prefabricadas de 0,32 m de canto. El diámetro interior de la sección es igual a 9,20 m, y la longitud de cada uno de los anillos es 1,70. Se emplearán dos tipos de hormigón para las dovelas, en función de la altura de tierras sobre la clave del anillo: Hormigón 40 MPa, (hasta 26,00 m de altura de tierras) y hormigón 45 MPa (hasta 28,75 m). El dimensionamiento de las dovelas se realiza para cumplir con las exigencias estructurales en todas las situaciones: túnel en servicio, avance de la tuneladora, y desencofrado y almacenamiento de dovelas.

En cuanto al tramo excavado por métodos convencionales, el revestimiento que se construirá en dos etapas: El revestimiento primario, que estará constituido, básicamente, por hormigón proyectado y cerchas y el definitivo, constituido por hormigón armado convencional.

Tanto para la comprobación estructural de las dovelas como del revestimiento definitivo se ha tenido en cuenta las acciones debidas a la carga estática del terreno a largo plazo como las debidas a un evento sísmico acorde a la sismicidad de la ciudad de Lima.

#### 5 SELECCIÓN DE TBM

La selección de la TBM a emplear se ha realizado en función de las características de los materiales afectados, así como la afección a las estructuras cercanas y teniendo muy en consideración que las tuneladoras deben permitir la regulación y administración de un equilibrio de presión positiva y evitar la depresión o descensos de la capa freática.

En base al análisis realizado se concluye lo siguiente:

- El tamaño máximo más representativo de la grava de Lima sería el de 35 cm, resultando las partículas de este tamaño bastante frecuentes y siendo superadas, en principio de forma excepcional u ocasional.
- Se trata de materiales de una alta abrasividad que obligarán a intensas labores de cambio de cortadores o de picas y supondrán también elevados desgastes del sinfín y, en general, de las piezas o conducciones en contacto con las gravas.
- Respecto a la estabilidad del frente durante la excavación mediante tuneladora, se recomienda la aplicación de una presión en clave de **2,5 bares para el caso de la Línea 4 y de 1,5 bares para el caso de la Línea 2.**
- Elección de tuneladoras acordes a las recomendaciones:
  - Se determina el empleo de una tuneladora tipo EPB convencional, escudo de frente en presión de tierras, en los tramos donde el nivel freático no supera los 4-5 metros por encima de la clave del túnel (correspondiente a los tramos de paso bajo el río Rimac y anterior a Carmen de la Legua de la línea 4) y en el resto del trazado sin afección freática. Se adapta el diseño de la tuneladora EPB a las exigencias del trazado a realizar.
  - En los tramos de túnel donde la carga freática es importante (Línea 2 entre Puerto del Callao y Carmen de la Legua. Línea 4 entre Gambetta y El Quilca), con una EPB convencional se plantea el problema de controlar la presión transmitida por un terreno con cierta permeabilidad. El no conseguir un material debidamente tratado en la cámara y el deficiente desalojo por sinfín pueden ocasionar desequilibrios en las presiones de trabajo. Además el desescombro por cintas de un material deficientemente tratado ocasionaría mermas en la producción. Para solventar este inconveniente se opta por una tuneladora tipo EPB modificada con circuitos de lodos.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCÍA  
REPRESENTANTE LEGAL





002024

## **6 POZOS DE ATAQUE PARA TBM**

Se han previsto hasta 5 pozos de ataque para las dos tuneladoras previstas. Estos 5 pozos de ataque presentan tres tipologías diferentes. Una primera tipología corresponde a los pozos de ataque cuya ubicación coincide con las estaciones de Oscar Benavides, Nicolás Arriola en Línea 2 y Quilca en línea 4. El diseño de esos pozos de ataque responde a la necesidad de hacer compatible la funcionalidad que se le exige a un pozo de explotación de tuneladora con el aprovechamiento de la infraestructura del mismo de cara a la utilización posterior, como estación de línea. La segunda tipología corresponde a un pozo de ataque que se sitúa en la tercera vía de Oscar Benavides, con unas características muy similares a la tipología de pozo de ataque en estación, aunque una anchura menor dadas las dimensiones de la tercera vía. Se ha previsto un ensanchamiento de la parte inicial de la tercera vía para permitir el acoplamiento del marco de reacción. La tercera tipología, responde a un pozo de ataque de mínimas dimensiones, unos 70 metros de longitud, realizado expresamente al inicio de la Línea 4 en Gambetta, a la altura de la calle 5.

En relación a la línea 2, desde el pozo de Nicolás Arriola se ataca en dirección hacia la tercera vía de Parque Murillo donde se ha previsto un recinto de salida de tuneladora integrado dentro de la tercera vía. Desde el pozo de ataque de la estación de Oscar Benavides se ataca en dirección a la estación de Parque Murillo, donde se ha integrado dentro del diseño de estación un recinto de salida de tuneladora. Desde la tercera vía de Oscar Benavides se ataca hasta el pozo de salida de Puerto del Callao, ejecutado principalmente para este menester, y que coincide con el final de la cola de maniobras de este extremo de la línea 2.

En relación con la línea 4, desde el pozo de ataque de Gambetta, se ataca en dirección Quilca. Quilca, que tiene un recinto de salida para la tuneladora que viene de Gambetta es a su vez pozo de ataque de una tuneladora que entra en Quilca y sale al final de la cola de maniobras de la estación de Carmen de la Legua la línea 4, en un pozo ad hoc, que marca el final de la línea 4, objeto de las concesión.

## **7 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE EDIFICIOS Y SERVICIOS PÚBLICOS**

Se han efectuado cálculos analíticos de asentamiento para los puntos críticos del trazado de ambas líneas. Para limitar los efectos de los movimientos, se ha empleado como base el criterio de Boscarding y Cording, tomándose como de referencia el "riesgo moderado" como el umbral que marcaría las zonas a tratar. Los tratamientos de mejoramiento consistirán en inyecciones de consolidación desde superficie, bien de cemento o de silicatos. También se han previsto barreras de micropilotes para interrumpir las cubetas de asientos generadas. En el caso de las pasarelas peatonales se han previsto apeos provisionales y/o su cierre provisional. Adicionalmente a los tratamientos de consolidación del terreno asociados a la protección de estructuras, se ha propuesto el tratamiento del material bajo el cauce del río Rímac de cara a lograr su consolidación y proteger la perforación de un posible fallo del frente por colapso del terreno que pudiera poner en conexión el frente de excavación con el cauce.

## **8 SISTEMA DE MONITOREO Y AUSCULTACIÓN**

Se ha elaborado un Plan específico de Monitoreo y Auscultación que detalla los dispositivos de instrumentación y control necesarios para el adecuado control de la influencia de las obras sobre el entorno y la verificación del comportamiento estructural de la infraestructura y que contempla los siguientes aspectos: Establecimiento de nivel de control, Establecimiento de secciones tipo, Frecuencia y seguimiento, Elaboración informes y Establecimientos de los

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





002025

niveles de alarma. Se definen los tipos de elementos de auscultación que constituyen las secciones de monitoreo a emplean en varios puntos a lo largo de los trazados. Se han considerado: 140 secciones simplificadas de estación, 105 secciones completas de estación, 38 secciones completas de monitoreo en pozos, 386 secciones simplificadas de túnel y 144 secciones completas de túnel.

### **9 EXCAVACIÓN EN TRINCHERA (MÉTODO CUT & COVER)**

El método de excavación en trinchera se ha empleado en las terceras vías de Oscar Benavides y Parque Murillo y en los ramales a talleres. Para la ejecución de los tramos mediante pantallas se han previsto pantallas convencionales excavadas con cuchara. Los espesores de las pantallas consideradas han sido de manera general:

- 1.0 m en el caso de los tramos de tercera vía y las estaciones.
- 0.6 m a 1.0 m en los ramales a talleres.

### **10 EXCAVACIÓN EN CAVERNA**

Se plantea realizarla por métodos convencionales mediante medios mecánicos y cada una de las secciones se excavarán, revestirán temporalmente, impermeabilizarán y se revestirán definitivamente, secuencialmente y por fases en etapas sucesivas. El revestimiento de las cavernas se construirá en dos etapas. El revestimiento primario o temporal que estará constituido, básicamente, por hormigón proyectado y cerchas y el secundario o definitivo constituido por hormigón armado convencional.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





A.6.1. Memoria descriptiva general  
del túnel

002026

<p>A.6.1.</p> <p>Nº DOCUMENTO</p>	<p>A) DISEÑO DE INGENIERÍA</p> <p>TIPO DE DOCUMENTO</p>
-----------------------------------	---

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

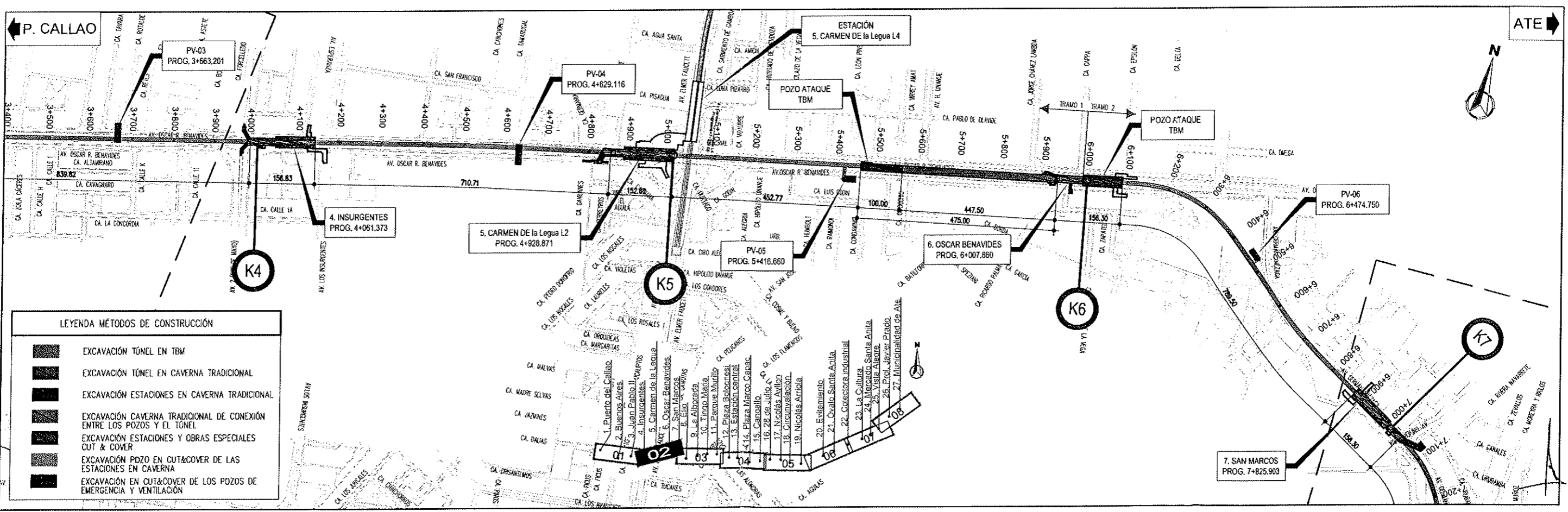
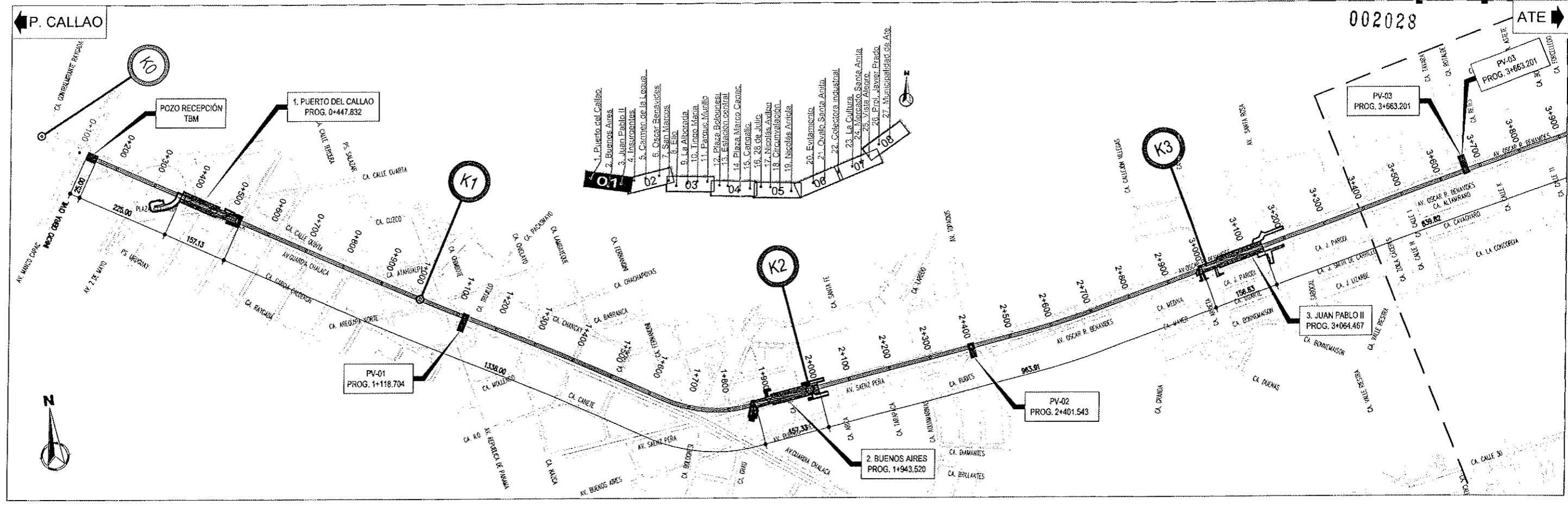
**A.6.1. MEMORIA DESCRIPTIVA GENERAL DEL  
TÚNEL  
APÉNDICE 1.PLANOS**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



CODIGO	ÍNDICE DE PLANOS	ESCALA A1	Nº PLANOS
1002-PLOC-GEN-CON-L2	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. ESQUEMA CONSTRUCTIVO LÍNEA 2	1/5000	P001-P004
1002-PLOC-GEN-CON-L4	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. ESQUEMA CONSTRUCTIVO LÍNEA 4	1/5000	P001

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 



**LEYENDA MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN**

	EXCAVACIÓN TÚNEL EN TBM
	EXCAVACIÓN TÚNEL EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN CAVERNA TRADICIONAL DE CONEXIÓN ENTRE LOS POZOS Y EL TÚNEL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES Y OBRAS ESPECIALES CUT & COVER
	EXCAVACIÓN POZO EN CUT&COVER DE LAS ESTACIONES EN CAVERNA
	EXCAVACIÓN EN CUT&COVER DE LOS POZOS DE EMERGENCIA Y VENTILACIÓN

0:\p03-2529\08 trabaja\200 dg documento\trabaja\10 grafica\10 ploc-gen-con-metodos de constr. esquema constr gen\1001-ploc-gen-con-2-p001-p004.dwg - 12/02/2014 - 17:20



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (M): 1/5000

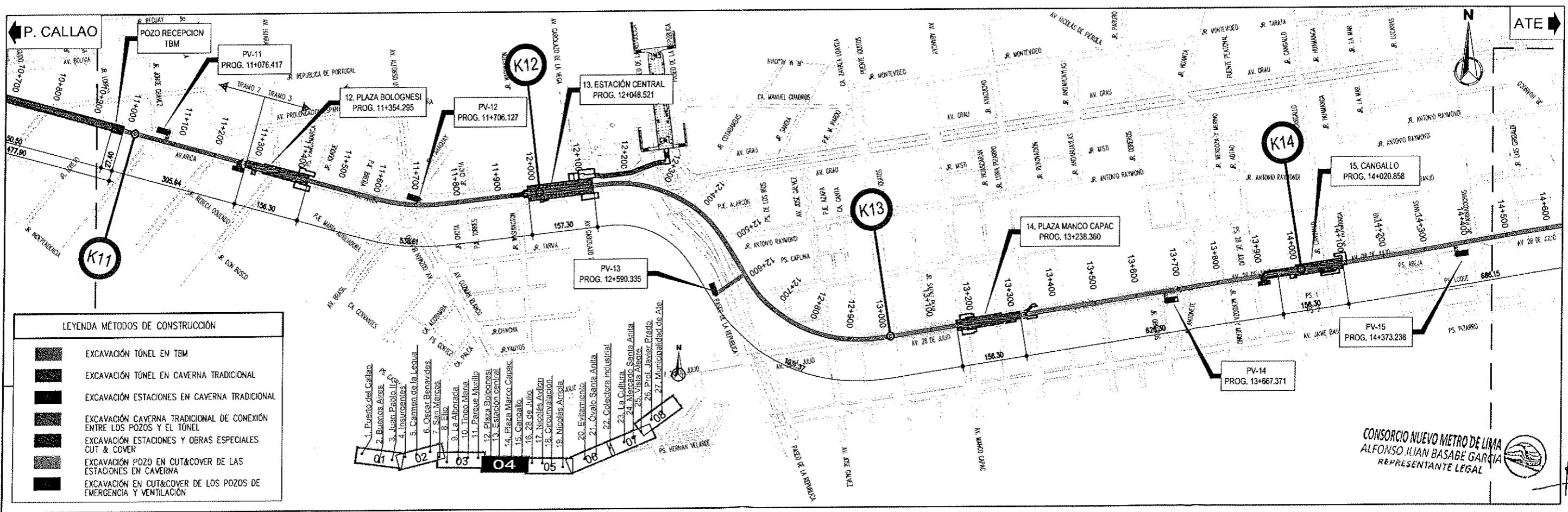
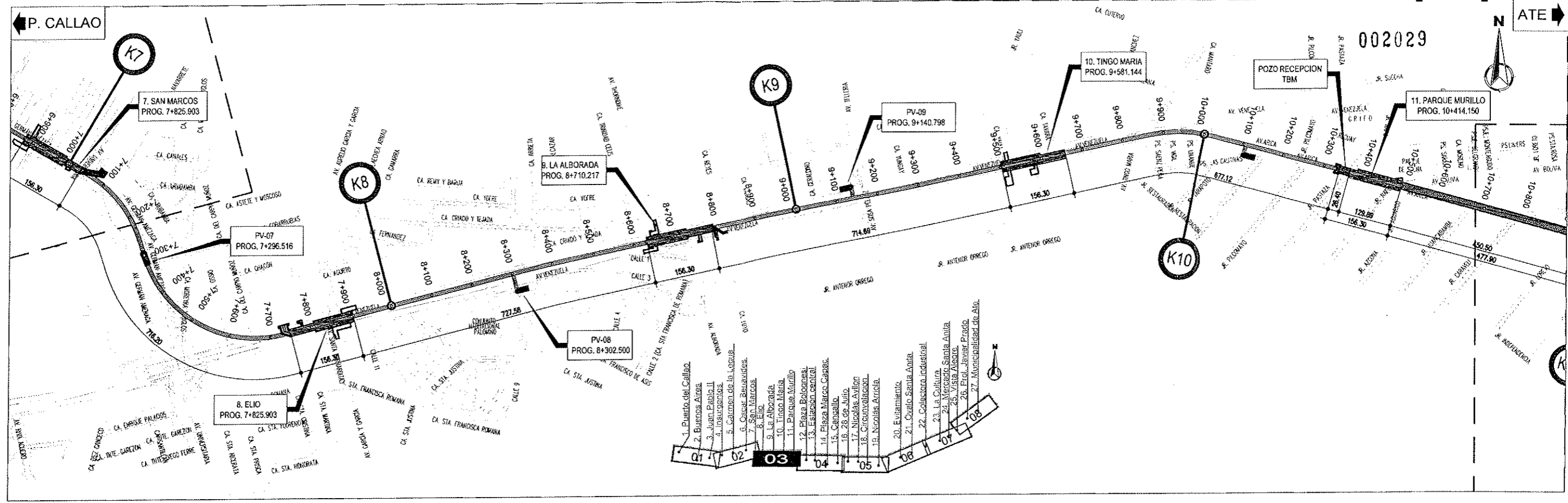
FECHA: FEBRERO 2014

MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN ESQUEMA CONSTRUCTIVO LÍNEA 2

PLANO N°: PLOC-GEN-CON-L2-P-001

HOJA: 01 de 04

REVISIÓN: 2



LEYENDA MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN

	EXCAVACIÓN TÚNEL EN TBM
	EXCAVACIÓN TÚNEL EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN CAVERNA TRADICIONAL DE CONEXIÓN ENTRE LOS POZOS Y EL TÚNEL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES Y OBRAS ESPECIALES CUT & COVER
	EXCAVACIÓN POZO EN CUT&COVER DE LAS ESTACIONES EN CAVERNA
	EXCAVACIÓN EN CUT&COVER DE LOS POZOS DE EMERGENCIA Y VENTILACIÓN

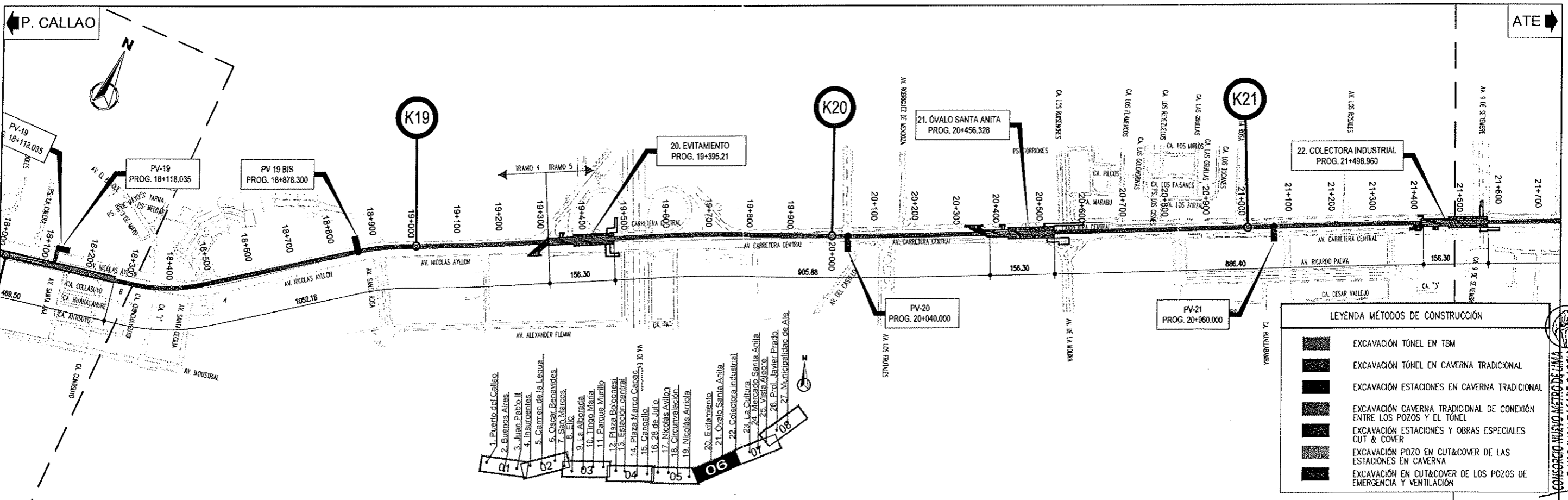
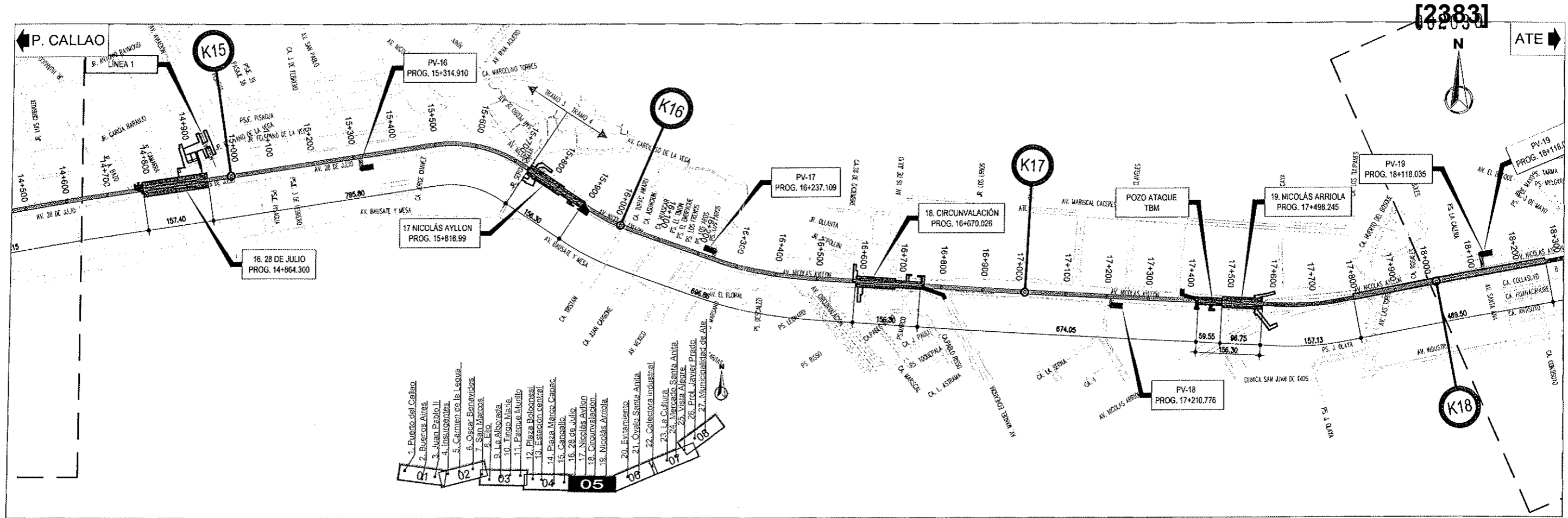
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO LIAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

c:\p05\202009 trabap\2000 trabajo\grafica\10 ploc-gen-con metodad de const. esquema const gen\1001-ploc-gen-con-2-p001-p004.dwg - 12/02/2014 - 17:20



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A1):	1/5000	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN	
FECHA:	FEBRERO 2014	ESQUEMA CONSTRUCTIVO LÍNEA 2	
PLANO N°:	PLOC-GEN-CON-L2-P-002	HORA:	02 de 04
REVISIÓN:	2		



**LEYENDA MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN**

	EXCAVACIÓN TÚNEL EN TBM
	EXCAVACIÓN TÚNEL EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN CAVERNA TRADICIONAL DE CONEXIÓN ENTRE LOS POZOS Y EL TÚNEL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES Y OBRAS ESPECIALES CUT & COVER
	EXCAVACIÓN POZO EN CUT&COVER DE LAS ESTACIONES EN CAVERNA
	EXCAVACIÓN EN CUT&COVER DE LOS POZOS DE EMERGENCIA Y VENTILACIÓN

01-p001-25229-08 trabaja0200 dgg docu01  
 en gabinete con método de const. según consta gnt/1001-plcc-gen-con-2-p001-p004.dwg - 12/02/2014 - 17:21

**ProlInversión**  
 Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Perú

**CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA**

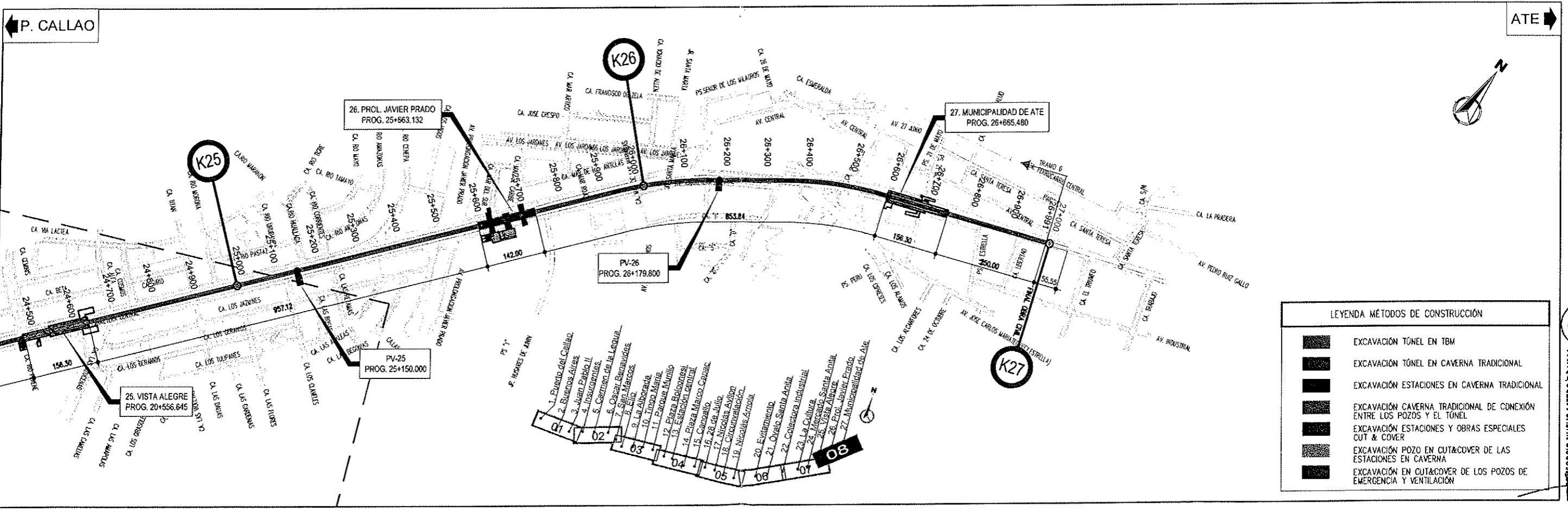
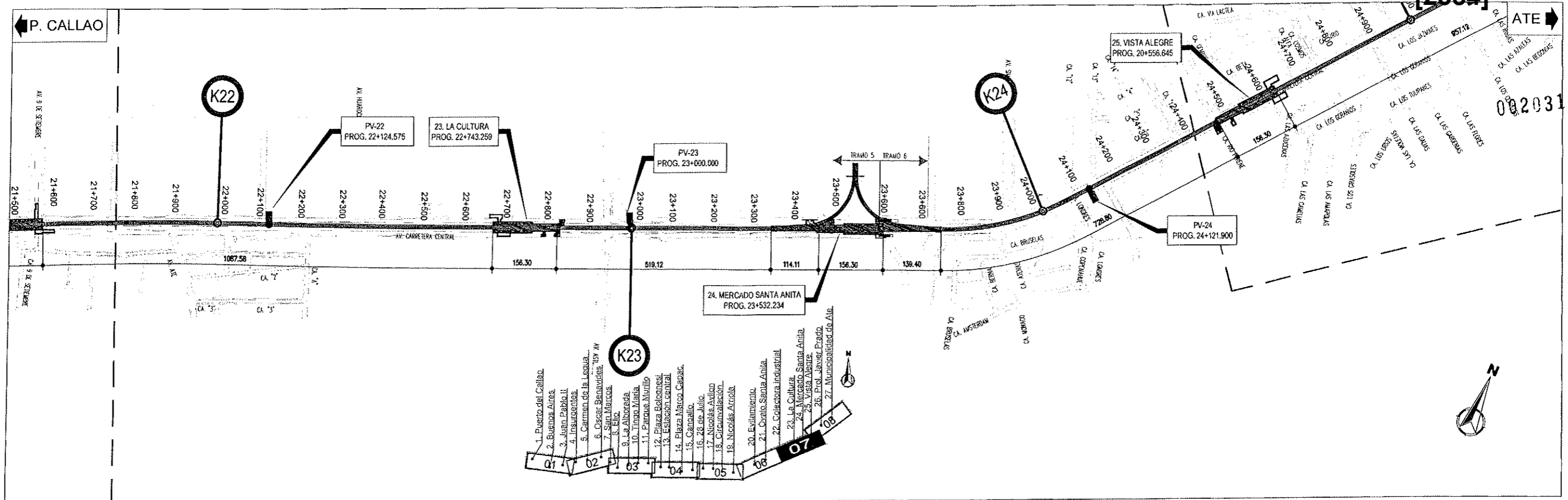
CONSULTORES  
**ayesa** • **euroestudios** • **2IT**

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT – AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (AV): 1:5000  
 FECHA: FEBRERO 2014

MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN  
 ESQUEMA CONSTRUCTIVO LÍNEA 2

PLANO N°: PLOC-GEN-CON-L2-P-003  
 HOJA: 03 de 04  
 REVISIÓN: 2



LEYENDA MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN

	EXCAVACIÓN TÓNEL EN TBM
	EXCAVACIÓN TÓNEL EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN CAVERNA TRADICIONAL DE CONEXIÓN ENTRE LOS POZOS Y EL TÓNEL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES Y OBRAS ESPECIALES CUT & COVER
	EXCAVACIÓN ESTACIONES EN CAVERNA
	EXCAVACIÓN EN CUT&COVER DE LOS POZOS DE EMERGENCIA Y VENTILACIÓN

c:\p\03-2529\08 trabajes\200 dg docum... g:\plan10 ploc-gen-con-metodos de const... empresa conet gmi\1001-ploc-gen-con-2-p001-p004.dwg - 12/02/2014 - 17:21

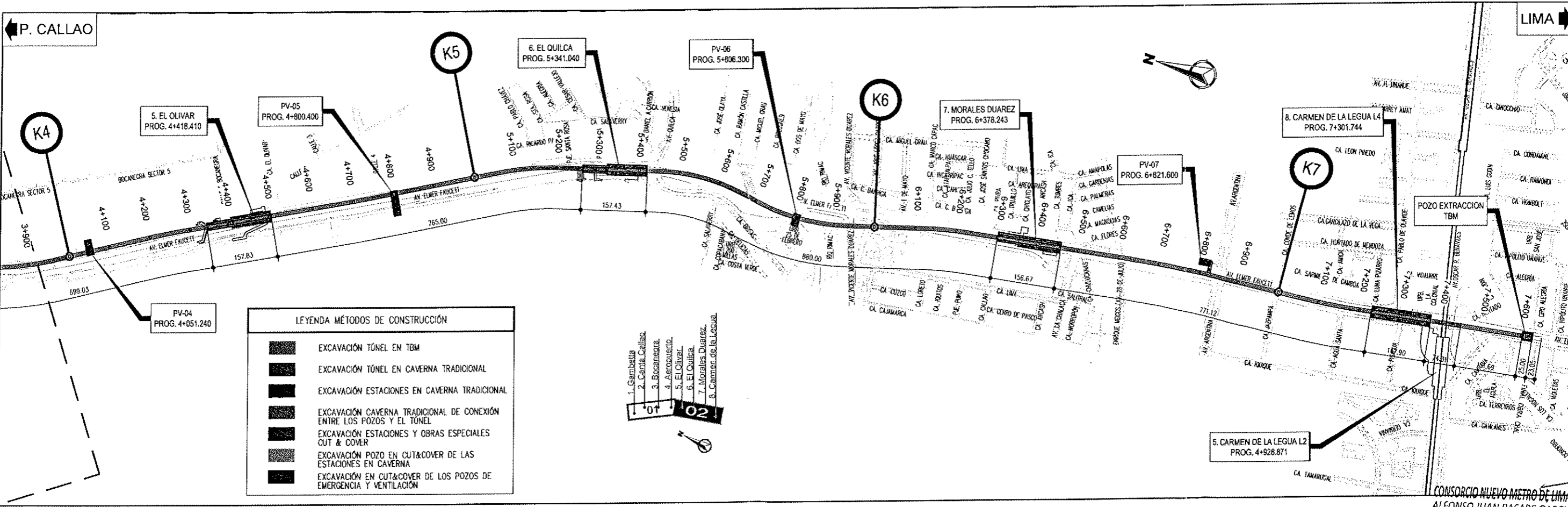
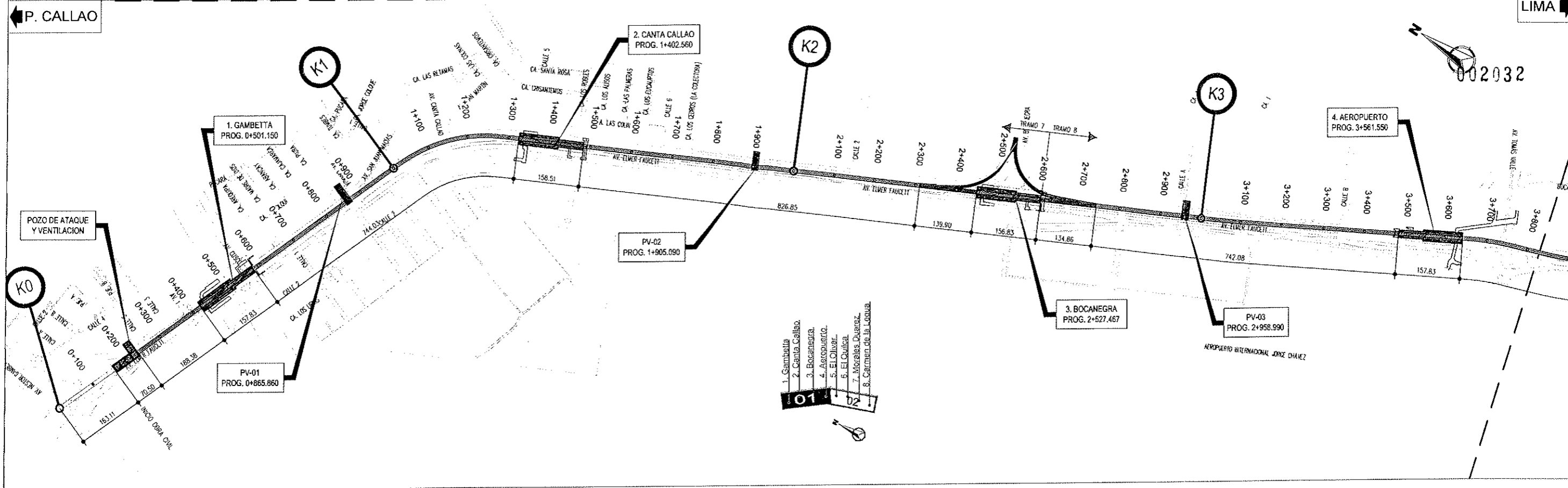


CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (M): 1/5000  
FECHA: FEBRERO 2014

MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN ESQUEMA CONSTRUCTIVO LÍNEA 2  
PLANO N° PLOC-GEN-CON-L2-P-004  
HOLLA: 04 de 04  
REVISIÓN: 2





LEYENDA MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN

	EXCAVACIÓN TÚNEL EN TBM
	EXCAVACIÓN TÚNEL EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES EN CAVERNA TRADICIONAL
	EXCAVACIÓN CAVERNA TRADICIONAL DE CONEXIÓN ENTRE LOS POZOS Y EL TÚNEL
	EXCAVACIÓN ESTACIONES Y OBRAS ESPECIALES OUT & COVER
	EXCAVACIÓN POZO EN CUT&COVER DE LAS ESTACIONES EN CAVERNA
	EXCAVACIÓN EN CUT&COVER DE LOS POZOS DE EMERGENCIA Y VENTILACION

- 1. Gambetta
- 2. Canta Callao
- 3. Bocanegra
- 4. Aeropuerto
- 5. El Olivar
- 6. El Quilca
- 7. Morales Duarez
- 8. Carmen de la Legua

g:\lima metro\metro lima\proyecto base\... actual\metodo constructivo\1002-ploc-gen-con-l4-p001.dwg - 11/02/2014 - 18:37

**ProlInversión**  
Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Perú

**CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA**

CONSULTORES  
**ayesa** **euroestudios** **2IT**

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (M): 1:5000  
FECHA: FEBRERO 2014


MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN  
ESQUEMA CONSTRUCTIVO LÍNEA 4  
PLANO N° PLOC-GEN-CON-L4-P-001  
HOJA: 01 de 01  
REVISIÓN: 2



<b>A.6.2.</b>	<b>A) DISEÑO DE INGENIERÍA</b>
Nº DOCUMENTO	TIPO DE DOCUMENTO

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

## A.6.2. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL TÚNEL

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 


**A.6.2. Selección del diámetro del túnel**
**Índice**

002034

<b>1 ESTUDIO DE GÁLIBOS</b> .....	<b>3</b>
1.1 OBJETO.....	3
1.2 ESTUDIO DE GÁLIBOS Y DESPLAZAMIENTOS DEL TREN .....	3
1.2.1 GALIBO ESTÁTICO .....	3
1.2.2 GALIBO DINÁMICO-CINEMÁTICO.....	6
<b>2 TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS PROPUESTAS PARA LA VÍA FÉRREA</b> .....	<b>9</b>
2.1 OBJETO.....	9
2.2 PASARELAS DE EVACUACIÓN.....	9
2.3 TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA.....	9
2.4 INSTALACIONES FIJAS .....	10
2.4.1 INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS.....	10
2.4.2 INSTALACIONES ELÉCTRICAS BAJA TENSION .....	10
2.4.2.1 Equipamiento.....	10
2.4.2.2 Iluminación y tomas de corriente.....	11
2.4.2.3 Cableado de baja tensión y canalizaciones.....	11
2.4.2.4 Sistema de puesta a tierra .....	12
2.4.2.5 Instalación de revelación de incendios.....	12
2.4.3 INSTALACIONES FERROVIARIAS .....	12
2.4.3.1 Sistema eléctrico de alimentación.....	12
2.4.3.2 Sistema eléctrico de tracción .....	12
2.4.3.3 Sistema señalización y comunicaciones .....	12
<b>3 VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UIC 505 – 1 PARA LA</b> <b>DEFINICIÓN DEL DIAMETRO DEL TÚNEL</b> .....	<b>12</b>
3.1 OBJETO.....	12
<b>4 COMPATIBILIDAD DEL DISEÑO DEL TÚNEL CON EL DISEÑO DE MATERIAL</b> <b>RODANTE Y con la EXPLOTACIÓN PREVISTA</b> .....	<b>13</b>
4.1 OBJETO.....	13
<b>5 PLAN DE EMERGENCIAS PARA LA EVACUACIÓN</b> .....	<b>14</b>
5.1 OBJETO.....	14
5.2 PROCEDIMIENTO DE EVACUACIÓN DE EMERGENCIA.....	14
5.3 CONSIDERACIONES ACERCA DEL PROCEDIMIENTO DE EVACUACIÓN DE TREN EN TÚNEL POR EVENTO CRÍTICO.....	14
5.4 procedimiento para la evacuación de personas en tren en tunel .....	16

**Apéndice 1. Memoria de Cálculo con la Norma UIC 505**

**Apéndice 2. Planos con Secciones tipo en túnel (recta y curva, mina y TBM), ramales a talleres y terceras vías (C&C y caverna)**

**Apéndice 3. Esquema de evacuación de emergencia**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



**1 ESTUDIO DE GÁLIBOS**

002035

**1.1 OBJETO.**

El presente apartado tiene como objeto el estudio de gálibos estático, dinámico y cinemático en vía principal y en estación, indicando los desplazamientos laterales, horizontales, balanceo del tren y circulación sin aire en la suspensión secundaria en condiciones normales de operación, de sobrecarga máxima y sobrecarga excepcional.

El diámetro de los diferentes túneles y obras subterráneas, así como de todas las interferencias se ha determinado a partir del estudio de gálibos del material rodante en los casos estático, dinámico y cinemático en vía principal, en recta y en curva, además de en estación como se describe en los siguientes puntos de Memoria de cálculo con la Normativa para el diseño del túnel y la determinación de los gálibos correspondiente, así como en mayor profundidad en los apartados correspondientes de Material Rodante en el epígrafe D.

**1.2 ESTUDIO DE GÁLIBOS Y DESPLAZAMIENTOS DEL TREN**

Los gálibos del vehículo se han diseñado de acuerdo con la normativa aplicable más restrictiva UNI 7360 equivalente a la UIC 505 (ambas aplicables según el Anexo 6 de especificaciones técnicas), garantizando las distancias mínimas más restrictivas y descritos en el epígrafe D.1.3. de la Propuesta Técnica, con el diseño de cálculo necesario para el túnel y determinación de los gálibos correspondientes, respecto a los desplazamientos laterales, horizontales, balanceo del tren y circulación sin aire en la suspensión secundaria en condiciones normales de operación, de sobrecarga máxima y sobrecarga excepcional.

**1.2.1 GALIBO ESTÁTICO**

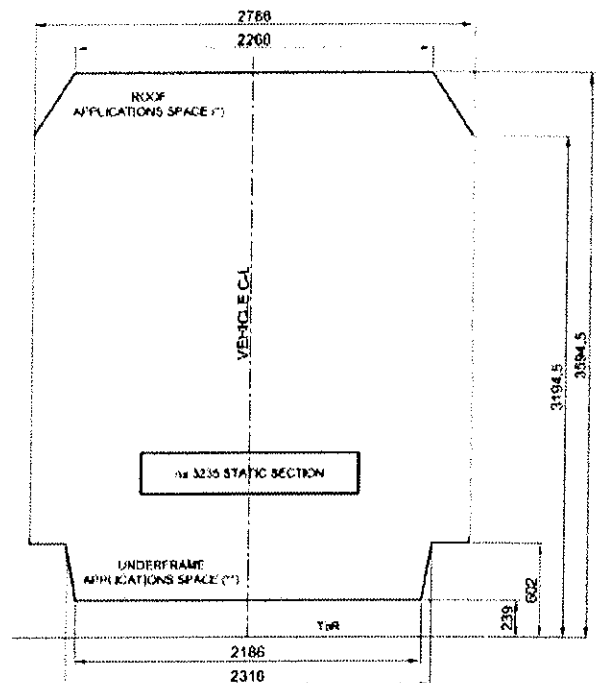
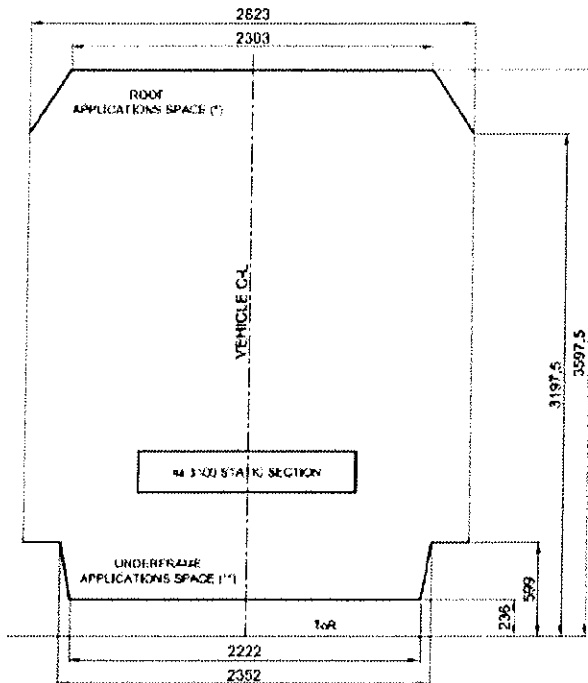
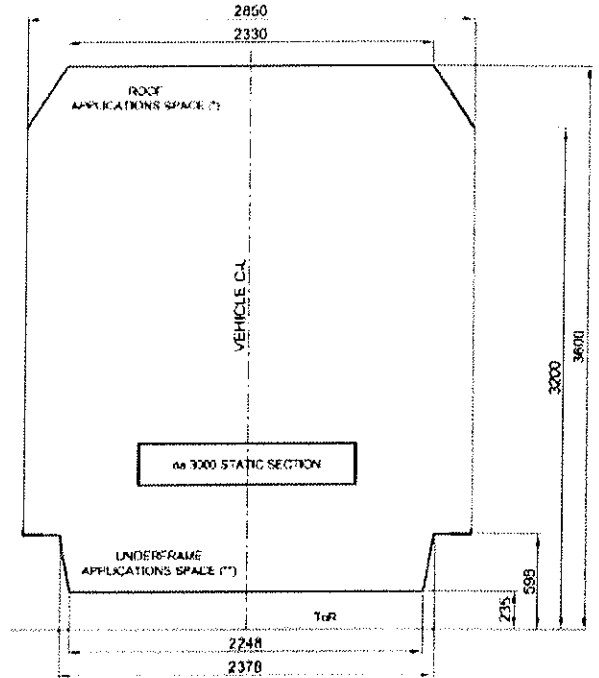
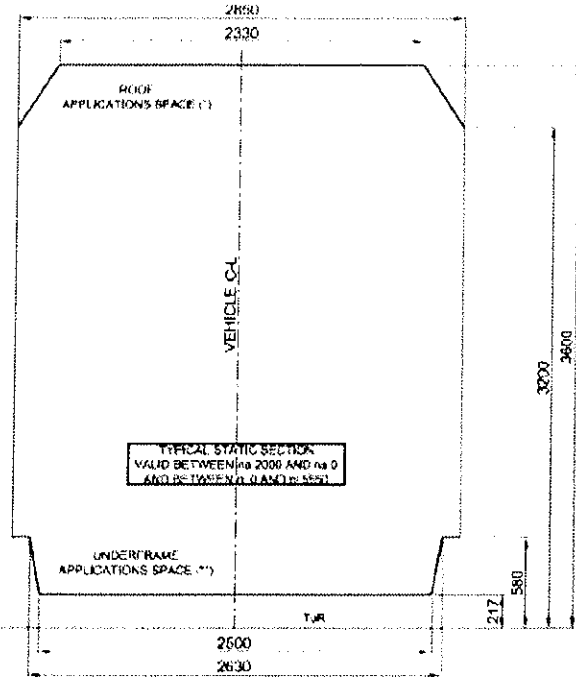
Las secciones estáticas máximas utilizadas para el vehículo de metro de Lima se especifican en las siguientes figuras en el diagrama del Apéndice 1 de la sección D.1.3.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



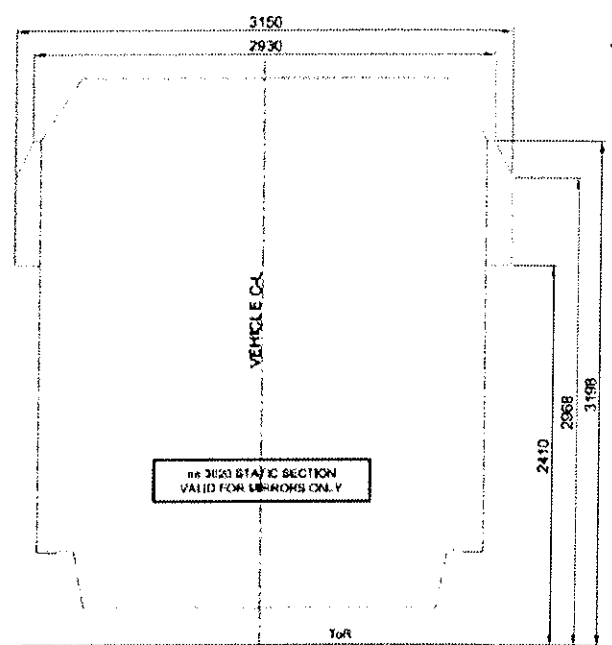
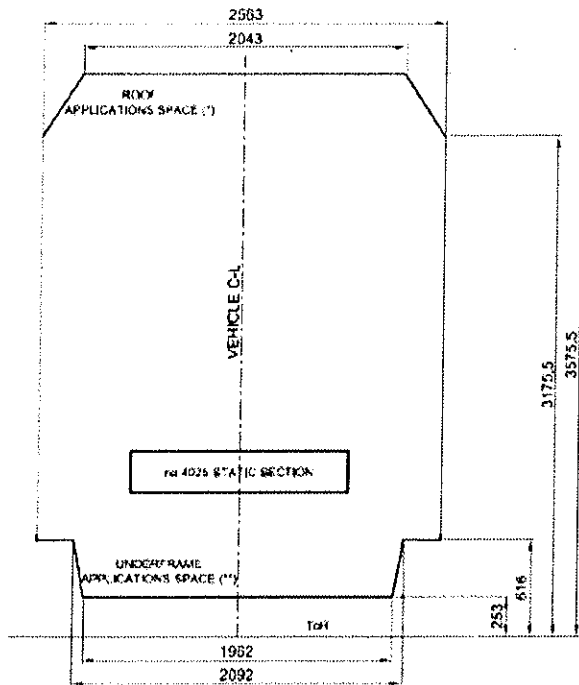
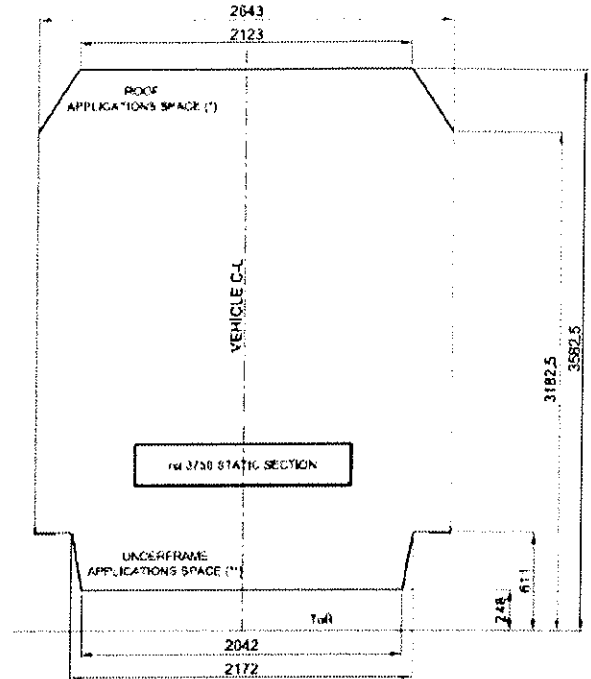
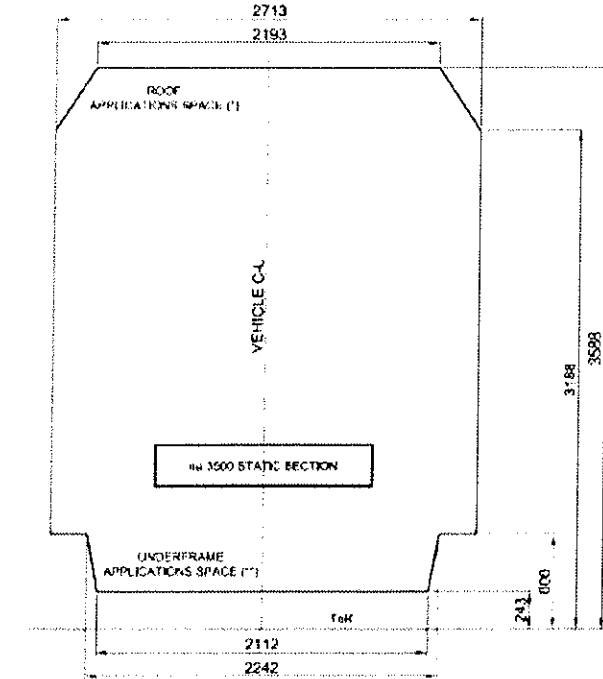
# A.6.2. Selección del diámetro del túnel

002036



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

002037



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



1.2.2 GALIBO DINÁMICO-CINEMÁTICO

002038

Se ha calculado el galibo dinámico del tren tanto para tramos rectos como para curvas con distintos radios.

En concreto, los diagramas del Apéndice 1, (la parte correspondientes a diagramas de galibos dinámicos), especifica un galibo dinámico para tramos rectos, para radios de curva de 250 m y detalla tres ejemplos de vehículos de carretera (en tramos rectos, en curvas de 250 m con peraltes de 150 mm y en curvas de 250 m con peraltes de 150 mm en túnel con el fin de definir y verificar la distancia mínima entre líneas de centro de rodadura.

Los cálculos y los diagramas de la envolvente dinámica de la carrocería tienen en cuenta los siguientes efectos:

- carga máxima de pasajeros;
- movimientos verticales ascendentes máximos (con desplazamientos máximos de la suspensión), incluido el grado de desnivel máximo, la desviación vertical máxima y las tolerancias del vehículo;
- movimientos verticales descendentes máximos (con desplazamientos máximos de la suspensión), incluido el desgaste vertical máximo de las ruedas, el desgaste vertical máximo del raíl, el grado de desnivel, la desviación vertical y las tolerancias del vehículo;
- movimientos laterales máximos en servicio (con desplazamientos máximos de la suspensión), incluido el desgaste lateral máximo de las ruedas, la desviación del eje vertical y las tolerancias del vehículo;
- movimiento máximo de los rodillos (con suspensiones en los topes mecánicos contrapuestos);
- desgaste vertical y lateral de los raíles.

Específicamente, todos los puntos incluidos en el cálculo de la envolvente dinámica se recogen en la siguiente tabla:

**1) MOVIMIENTOS ASCENDENTES**

- suspensión primaria	24 mm
- suspensión secundaria	27 mm
- tolerancias verticales	5 mm
<b>TOTAL</b>	<b>56 mm</b>

**2) MOVIMIENTOS DESCENDENTES**

- suspensión primaria	28,5 mm
- suspensión secundaria	50 mm
- desgaste de ruedas	30 mm
- desgaste de vía	15 mm
- desviación de caja	10 mm
- tolerancias verticales	5 mm
<b>TOTAL</b>	<b>138,5 mm</b>

**3) MOVIMIENTOS LATERALES**

- suspensión primaria	5 mm
- suspensión secundaria	35 mm

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





- desgaste de ruedas y vía más huelgo nominal  
 (Ancho de vía máx.: 1450 mm) (1450-1415)/2  
**TOTAL**

17,5 mm 002039  
**57,5 mm**

**4) ROLL EFFECTS**

- altura del centro del rodillo  
 (Con respecto al nivel superior del carril)  
 - ángulo rodante en condiciones límite  
 - ángulo rodante en condiciones de funcionamiento normales (utilizado únicamente para la envolvente cinemática en espejo)

580 mm  
 3,56°  
 1,5°

**5) RADIO EN CURVA VERTICAL MÍNIMO**

**1.500 m**

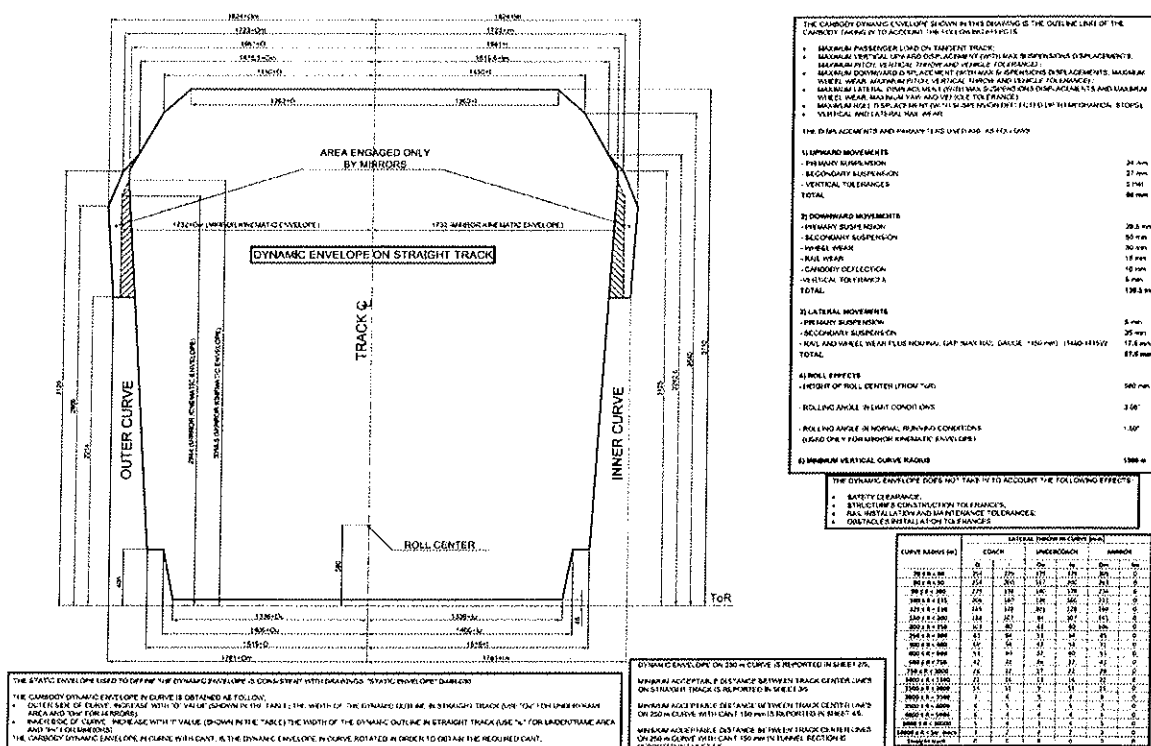
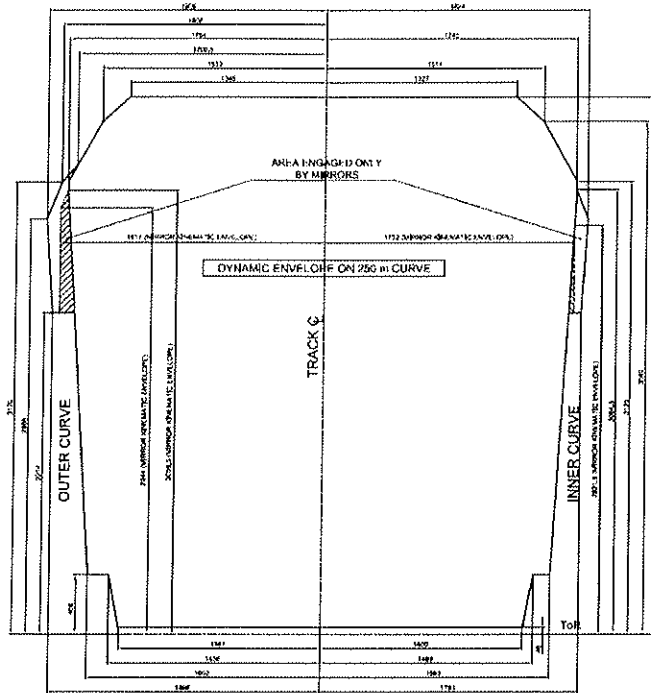


Figura con las distancias de referencia y gálibos en función de radio de curvatura del trazado.



002040



EXAMPLE OF APPLICATION  
 CLEARANCE ON CURVE INNER SIDE ON CURVE WITH 250 m OF RADIUS  
 THE CROSSING DYNAMIC ENVELOPE OF RADIUS 250 m WILL BE EQUAL TO THE ONE ON STRAIGHT TRACK ACCORDING TO NATIONAL STANDARD (EN, DIN, IS, Y AND SI) SHOWN IN THE TABLE SET OUT.  
 TUBES INSTALLATIONS MUST BE SLICED WITH 30 mm CLEARANCE FROM THE CROSSING DYNAMIC ENVELOPE.  
 PROLONGATIONS WILL BE MADE BY WELDING AND AREA ENCLOSED ONLY BY MIRRORS IS NECESSARY.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



## 2 TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS PROPUESTAS PARA LA VÍA FÉRREA

002941

### 2.1 OBJETO.

En el estudio de gálibos se indican los desplazamientos laterales, horizontales, balanceo del tren y circulación sin aire en la suspensión secundaria en condiciones normales de operación, de sobrecarga máxima y sobrecarga excepcional.

El estudio considera las tolerancias geométricas propuestas para la vía férrea considerando además las pasarelas de emergencia ubicadas a cada lado del túnel, siendo el ancho mínimo entre vías férreas paralelas de 3.80 m y trenes de capacidad mínima de 1,200 y 1,400 pasajeros con 6 y 7 coches por tren respectivamente, con capacidades estándar de 6 pasajeros/m<sup>2</sup>, y sobrecarga máxima de 8 pasajeros/m<sup>2</sup>, y sobrecargas excepcionales de hasta 10 pasajeros/m<sup>2</sup> en caso de operaciones en modo degradado que requieran asistencia y transborde de los pasajeros de un tren detenido en la vía a otro tren.

El diseño geométrico de las secciones de revestimiento se ha basado en integrar el espacio necesario para la explotación de la línea en una geometría lo más circular posible, con el objeto de optimizar el revestimiento; la sección circular es la que mejor soporta las cargas del terreno y la acción sísmica, lo que permite menores espesores de hormigón en el revestimiento. En el caso de los tramos excavados con tuneladora, la sección circular viene obligada por la propia tuneladora.

Se ha considerado una tolerancia constructiva de 50 mm.

En el **Apéndice 2**. Planos de secciones en recta y curva, en vía principal y vías secundarias (terceras vías y accesos a patios), se presentan las secciones tipo diseñadas para cada uno de los tramos del Proyecto.

### 2.2 PASARELAS DE EVACUACIÓN

Se han dispuesto pasillos de evacuación (NFPA) mediante pasarelas de evacuación en ambos márgenes del túnel. Las dimensiones de estos pasillos serán 2025 x 760 mm en su zona ancha disminuyendo hasta los 610 mm en la menor. Se dispone de una pasarela de evacuación con apoyos cada 800 mm y un pasamanos. La anchura final de la pasarela representada en los planos del apéndice 2 se definirá en función de la modulación comercial y del replanteo final.

Las pasarelas tendrán iluminación para que en caso de emergencia se garantice, durante todo el periodo de evacuación, una iluminación media de 30 luxes, medida a lo largo del recorrido de salida en el suelo.

### 2.3 TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA

Se entiende que cada Administración definirá sus propias tolerancias de recepción, las que constan a continuación son genéricas e indicativas y se definen como valores límite para los distintos parámetros geométricos en función de la velocidad de circulación, que en nuestro caso es  $V \leq 80$  km/h.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCÍA  
 REPRESENTANTE LEGAL




PARÁMETRO	TOLERANCIAS
<b>Alineación</b> Desviación máxima del eje teórico (recta y curva) Variación recta Flecha en una cuerda de 10m de longitud (curvas)	± 3mm 0,3mm por m ± 1,5mm
<b>Nivelación</b> Desviación máxima teórica de la parte superior del carril Variación Peralte Variación del peralte	± 2mm 0,3mm por m ± 2mm 0,5mm por m
<b>Ancho de vía</b> Ancho Variación	- 2mm + 3mm 1mm por m
<b>Puntos de fijación</b> Espaciado entre ejes transversales de puntos de fijación Escuadrado del eje transversal de los puntos de fijación respecto a la posición del carril	± 30mm ± 20mm

## 2.4 INSTALACIONES FIJAS

### 2.4.1 INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS

La protección de incendios se realiza con un sistema de extinción en galería dotado de una red de hidrantes dispuestos cada 60 m pareados, de modo que se garantiza la cobertura total con agua en caso de incendio.

El suministro de agua desde la central hídrica de la estación a los hidrantes del túnel se realiza por dos tuberías independientes en cada uno de los hastiales del túnel.

### 2.4.2 INSTALACIONES ELÉCTRICAS BAJA TENSION

#### 2.4.2.1 *Equipamiento*

El túnel está equipado con:

- iluminación normal
- iluminación de emergencia
- tomas de corriente para usos de mantenimiento

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



A su vez, por el túnel discurrirá el cableado de alimentación a los siguientes servicios: 002043

- alimentación eléctrica en baja tensión a los pozos de ventilación
- alimentación eléctrica a los ventiladores ubicados en los pozos de ventilación
- toma de puesta a tierra

Las alimentaciones eléctricas proceden de las estaciones adyacentes a cada tramo de túnel. Cada estación alimentará a los servicios del túnel hasta el pozo de ventilación aguas arriba y a los servicios del túnel hasta el pozo de ventilación aguas abajo.

La alimentación eléctrica, tanto de iluminación normal, emergencia y las tomas de corriente del túnel, proviene de los tableros CANT (cuadro eléctrico andén y túnel) situados en los andenes de las estaciones.

Las alimentaciones a los tableros de ventilación (PV) y a los tableros generales de los pozos (CGBTPV) provienen de los cuadros generales de las estaciones (TGBT). De la misma manera que con el túnel, cada estación alimentará a un ventilador (PV) del pozo de ventilación situado aguas arriba, y al cuadro general del pozo (CGBTPV) situado aguas abajo. Cada pozo de ventilación posee dos ventiladores axiales, cada uno de ellos será alimentado por una estación diferente.

#### 2.4.2.2 Iluminación y tomas de corriente

Se han previsto luminarias para uso normal de tipo fluorescencia estanca con un tubo de 36W. La iluminación en caso de emergencia se resuelve con luminarias de tipo fluorescencia estanca con dos tubos de 36W. Se situarán luminarias en ambos hastiales con una separación de 10m entre ellas, siendo una de cada cuatro (25%) iluminación normal (1x36W).

El control de las luminarias se realizará mediante pulsadores distribuidos a lo largo del túnel, a un nivel accesible sobre la pasarela peatonal de evacuación, en ambos hastiales.

Las tomas de fuerza motriz para usos varios se han proyectado cada 50 m aproximadamente en ambos hastiales. Poseen una toma de fuerza trifásica 3x16A+N+T 380V y una toma de fuerza monofásica 2x16A+T (220V).

Para la iluminación de los pozos, se han utilizado luminarias fluorescentes estancas de 2x36W. Se han previsto para los pozos, tomas de fuerza motriz para usos varios con cuadros con tomas, una de ellas trifásica 3x16A+N+T 380V y una toma de fuerza monofásica 2x16A+T (220V).

#### 2.4.2.3 Cableado de baja tensión y canalizaciones

El cableado utilizado para la alimentación de los receptores del túnel es no propagador del incendio, no propagador de la llama, de baja opacidad en la emisión de humos, libre de halógenos, baja acidez y corrosividad de los gases emitidos, de cobre flexible.

En los receptores de alumbrado alimentados desde la red normal (25% de los aparatos), y en las tomas de fuerza motriz, el cableado será no resistente al fuego, del tipo RZ1-K 0.6/1kV AS.

En los receptores de alumbrado alimentados desde la red estabilizada (SAI), los cuáles serán el 75% del alumbrado, se utilizará cableado resistente al fuego, del tipo RZ1-K 0.6/1kV AS+.

La alimentación a los tableros generales de pozos y a los tableros de los ventiladores se realizará con cableado resistente al fuego tipo RZ1-K 0.6/1 kV AS+

La canalización por donde discurren todo este cableado se compone de dos bandejas de rejilla de 500x100 ubicadas bajo la pasarela de evacuación y situadas en ambos hastiales.

**2.4.2.4 Sistema de puesta a tierra**

Por el túnel discurrirá un cable de 120 mm<sup>2</sup> de cobre desnudo (uno por cada lado) para permitir conectar a tierra todo el equipamiento existente. Este cable se conectará con el mallazo de tierras existente en las estaciones.

**2.4.2.5 Instalación de revelación de incendios**

Para los túneles se ha previsto un sistema de detección de temperatura por cable sensor de fibra óptica insertado en un recubrimiento de acero inoxidable. Se ha previsto una unidad de control de cable sensor de dos canales por estación. El cable sensor discurrirá por el túnel desde cada estación hasta los pozos de ventilación intermedios. El sistema permite programar zonas de detección y niveles de sensibilidad, se programará cada unidad de control para cumplir las necesidades de alarma de incendio y las señales necesarias para cumplir con el protocolo de ventilación y emergencia.

**2.4.3 INSTALACIONES FERROVIARIAS****2.4.3.1 Sistema eléctrico de alimentación**

A lo largo del túnel se han previsto dos canalizaciones de hormigón (una por cada hastial) ubicadas bajo la pasarela de evacuación, por donde discurrirá el cableado de media tensión (20 kV) que alimenta los diferentes centros de transformación ubicados en las estaciones

**2.4.3.2 Sistema eléctrico de tracción**

Se ha previsto la instalación de catenaria rígida con el fin de dar suministro a los trenes, con una altura a la línea de contacto de 4,20 m desde cota carril.

Así mismo existirán en ambos hastiales perchas para la colocación de los feeders a 1500 Vcc para la alimentación de dichas catenarias.

**2.4.3.3 Sistema señalización y comunicaciones**

Para la colocación del cableado necesario para señalización y comunicaciones se ha previsto la ubicación de dos bandejas (una por cada hastial) de 500 x100 con separadores situadas bajo la pasarela de evacuación.

Así mismo se ha dejado un poliducto de 4" situado en percha a una altura de 2,05 metros por encima de la pasarela de evacuación para poder permitir la tirada de cable de las compañías de telecomunicaciones.

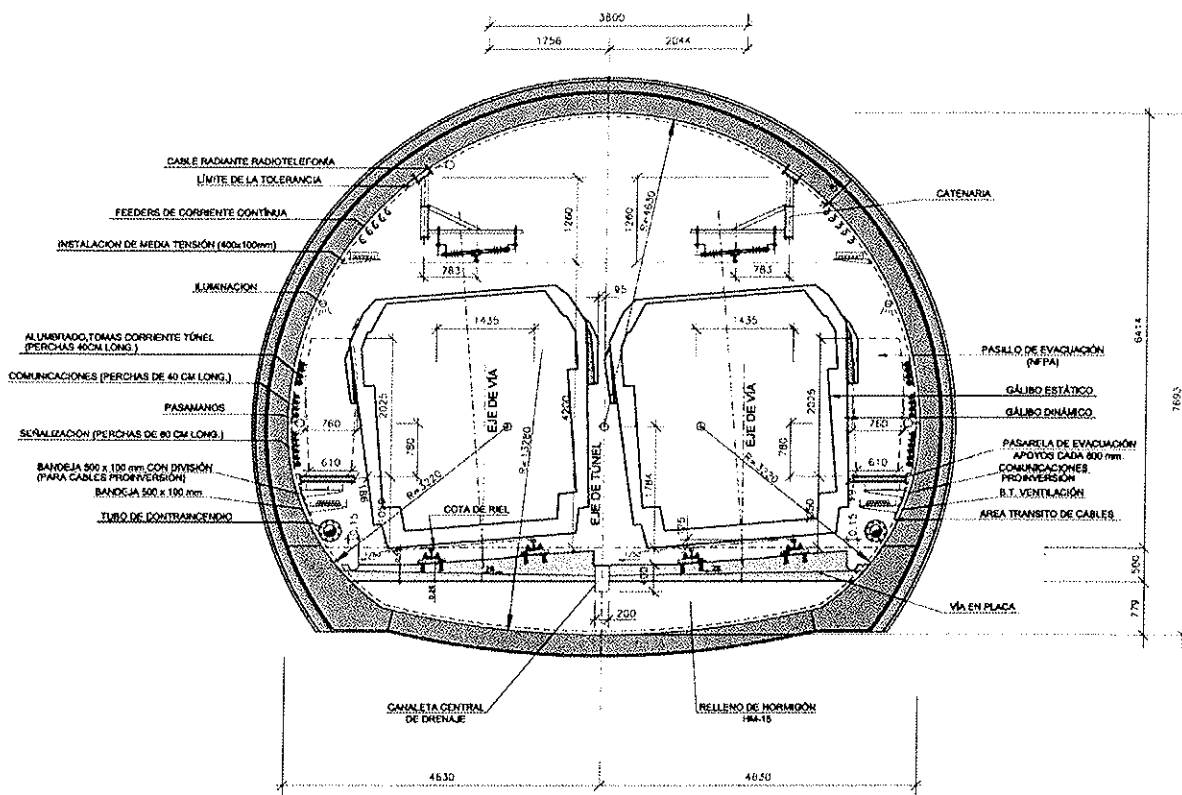
**3 VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UIC 505 – 1 PARA LA DEFINICIÓN DEL DIÁMETRO DEL TÚNEL****3.1 OBJETO.**

En la selección del diámetro del túnel se ha realizado la verificación del cumplimiento de la Norma UIC 505-1 para la definición del diámetro del túnel y los gálibos (estático, dinámico y cinemático) propuestos en las diferentes condiciones de operación indicadas. Si bien el

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

gálibo máximo expuesto por la Norma UIC 505, encaja perfectamente en el túnel previsto, el hecho de que el tren propuesto sea un modelo específicamente metropolitano permite bajar los soportes de la catenaria rígida significativamente, por lo que los soportes y anclajes son más robustos y fiables, como se puede desprender de la figura adjunta, donde se observan dos trenes cruzándose en curva, con sus máximos gálibos cinemáticos y donde se comprueba la inexistencia de interferencias entre sí ni tampoco con las instalaciones fijas

002345



El diámetro de los diferentes túneles y obras subterráneas se ha determinado a partir del estudio de gálibos estático, dinámico y cinemático en vía principal y en estación, que se incluye el **Apéndice 1**. "Memoria de cálculo con la Norma UIC 505-para el diseño del túnel y la determinación de los gálibos correspondiente". Para más detalles sobre el estudio del gálibo del tren consulte la sección D.1.3.

**4 COMPATIBILIDAD DEL DISEÑO DEL TÚNEL CON EL DISEÑO DE MATERIAL RODANTE Y CON LA EXPLOTACIÓN PREVISTA**

**4.1 OBJETO.**

El estudio contempla la compatibilidad del diseño del túnel con el diseño del material rodante propuesto, y con la capacidad de transporte del tren y la capacidad de transporte del sistema ferroviario en horas punta y horas valle a lo largo del periodo de explotación y en condiciones de operación normal, en modo degradado y de emergencia.

Todas las dimensiones consideradas en el diseño (diámetros de túnel, huecos de acceso, anchura de viales, así como todas las obras subterráneas y en exteriores, se han tenido en cuenta y se comprueban para los gálibos en las zonas interiores de túneles, estaciones, accesos a cocheras y terceras vías, por lo que son compatibles con la operativa prevista .



## 5 PLAN DE EMERGENCIAS PARA LA EVACUACIÓN

### 5.1 OBJETO.

El estudio contempla el Plan de Emergencias para la evacuación de los pasajeros en el contexto de una operación completamente sin conductor.

Esquemas de evacuación de emergencia por las puertas laterales del tren y los relacionados pasillos laterales, por las puertas frontales del tren presentando las simulaciones correspondientes en línea con la normatividad internacional de seguridad vigente, que se incluye el **Apéndice 3. Esquemas de evacuación de emergencia.**

### 5.2 PROCEDIMIENTO DE EVACUACIÓN DE EMERGENCIA.

En el caso de evacuación de emergencia se desarrollarán un conjunto de acciones a llevar a cabo, con tareas concretas para los integrantes de la estructura de mando ante la emergencia, tanto en PCO como en el lugar de los hechos, en función del tipo de contingencia o emergencia que ocurra en un tren. Una mejor descripción se encuentra en el apartado D.1.8. con los análisis de riesgos de la explotación y la gestión de eventos de evacuación en la operación sin conductor en un sistema GoA4, incluyendo los tiempos de respuesta ante contingencias.

- PR. AC. ante tren detenido en túnel por avería
- PR. AC. ante alarma de incendio/humo en tren
- PR. AC. ante alarma de calor/temperatura en tren
- PR. AC. ante descarrilamiento
- PR. AC. ante incendio de tren en túnel
- PR. de evacuación supervisada de tren en túnel
- PR. AC. ante autoevacuación de tren en túnel


### 5.3 CONSIDERACIONES ACERCA DEL PROCEDIMIENTO DE EVACUACIÓN DE TREN EN TÚNEL POR EVENTO CRÍTICO

La situación de evento crítico de tren en túnel, sería la más grave de todas, pues contemplaría la necesidad de evacuar de manera autónoma por parte de los viajeros por causa grave debida a condiciones incontroladas (incendio/humo a bordo), en un tren detenido en túnel.

Este procedimiento incluye los siguientes hitos:

- Detección de incendio/ Envío automático de señal de alarma al PCO
- Recepción de alarma en PCO
- Cierre de señales por ambos sentidos de circulación para impedir la entrada de trenes al sector afectado
- Valoración acerca de la maniobra más adecuada sobre los trenes que ya estén en el tramo afectado
- Comprobación de la alarma (CCTV, comunicaciones con viajeros)

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



- Valoración de la gravedad de la incidencia
- Valoración de la posibilidad de poder trasladar el tren a una estación
- Declaración de la emergencia
- Aviso a los Servicios de Emergencia
- Comprobación de la activación automática del sistema de ventilación
- Valoración de la ruta de evacuación más adecuada
- Instrucciones desde PCO a los viajeros del tren a través de la megafonía para que algún pasajero del coche de cabeza o cola por el que se vaya a realizar la evacuación abra la salida de emergencia.
- Indicación de que se va a proceder a la apertura manual de las puertas laterales que dan al pasillo de evacuación.
- Indicación de que se proceda a la evacuación tanto por las puertas laterales como por la puerta frontal del tren (tercero y cuarto principio) en cabeza o cola según las condiciones, en un sentido determinado, hasta la salida de emergencia más próxima que se encontrarán a X metros.
- Todas las acciones a llevar a cabo desde el inicio del siniestro, consumen unos determinados bloques de tiempos según se indica en el siguiente gráfico:

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



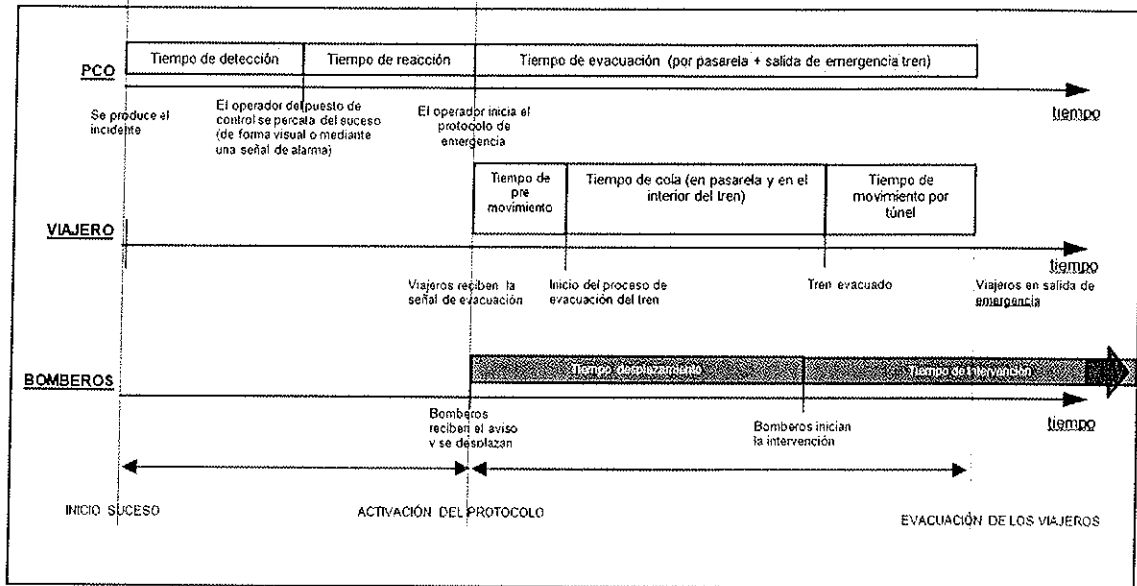


Fig 1. Diagrama general de tiempos sobre las acciones generales a realizar en una emergencia con autoevacuación

#### 5.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EVACUACIÓN DE PERSONAS EN TREN EN TUNEL

A continuación se describen el procedimiento para la evacuación de personas en tren en túnel. Una vez constatada la necesidad de autoevacuación de los viajeros (situación bajo el cuarto principio, es decir presencia de humo a bordo u otro evento crítico) sin asistencia inicial del personal de Metro.

- 1- Transmitir desde PCO a través de la megafonía del tren que se va a proceder a la evacuación del mismo, solicitando en primer lugar que las personas con movilidad reducida permanezcan en los lugares para ellas asignados hasta el final de la evacuación.
- 2- Transmitir desde PCO a través de la megafonía del tren, las instrucciones de apertura de las puertas laterales del lado pasarela, indicando además el sentido a seguir en la evacuación a través de la pasarela (hablar de sentido hacia la derecha o hacia la izquierda) y el destino de la misma, siguiente estación o salida de emergencia e indicar a que distancia se encuentran.
- 3- Reforzar el mensaje de audio de actuación sobre la apertura de puertas, con la emisión de video ilustrativo de la maniobra de apertura de puertas, sobre los dispositivos de video embarcados.
- 4- A partir del minuto 2 transmitir las mismas instrucciones pero esta vez para la apertura del portón frontal más cercano a una salida de emergencia o estación. Como en el

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



*[Firma manuscrita]*

002049

caso anterior, reforzar el mensaje de audio con mensaje de video. Hablar del portón del extremo derecho o izquierdo del tren respecto la pasarela de evacuación, no hablar de parte posterior o anterior del tren, en un tren parado perdemos la orientación.

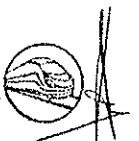
En caso de gravedad extrema podrían abrirse las dos puertas frontales y evacuar en los dos sentidos.

- 5- Evacuar el tren por ambos caminos (tercero y cuarto principio), tanto por la pasarela a la que dan las puertas laterales, como por la puerta frontal y dirigirse a continuación hacia el lugar seguro más próximo (salida de emergencia o estación) o hacia el único sentido utilizable (si uno de los sentidos de la evacuación estuviera bloqueado o nos acercara al foco del siniestro).
- 6- Completar la evacuación del pasaje con la evacuación de las personas con movilidad reducida y silla de ruedas a través de las puertas laterales para facilitar el desplazamiento por la plataforma de vía hasta la salida de emergencia o estación más próxima.

Paralelamente a este conjunto de acciones, desde PCO se realizarán un importante conjunto de acciones, entre las que destacan:

- Suspensión de la circulación en el tramo afectado
- Evacuación de las estaciones colaterales al tramo afectado
- Activación de los sistemas de ventilación
- Comunicación a los servicios de emergencia
- Envío de personal de Metro desde las estaciones más próximas al lugar del siniestro para colaborar en la evacuación
- Envío de personal de Metro y de emergencias a la salida de emergencia o estación donde hayan llegado los viajeros evacuados.
- Envío de personal de Metro al tren para:
  - o identificar el grado de emergencia
  - o facilitar la evacuación de las personas con movilidad reducida y silla de ruedas
  - o controlar el flujo de pasajeros con el fin de evitar accidentes en la vía de escape

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





<b>A.6.2.</b>	<b>A) DISEÑO DE INGENIERÍA</b>
Nº DOCUMENTO	TIPO DE DOCUMENTO

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

## A.6.2. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL TÚNEL

# APÉNDICE 1: MEMORIA DE CÁLCULO CON LA NORMA UIC 505 PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL Y DETERMINACIÓN DE LOS GÁLIBOS CORRESPONDIENTES.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASARE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



**MEMORIA DE CÁLCULO DE DISEÑO DEL TÚNEL CON LA NORMATIVA DE GÁLIBOS UIC 505**

Objeto del presente documento es presentar una memoria de cálculo con las normas de los gálibos del tren (UIC 505 y UNI 7360, ambas aplicables, siendo la UNI 7360:2010 más restrictiva) a fin de definir el ancho de las estructuras en vía principal, estaciones y talleres de manera de definir la posición del borde del andén en vía recta y curva con distintos radios de curvatura.

La Memoria de cálculo y simulación se muestran, mucho más detalladas, también en los documentos incluidos en la lista de la sección D.1.3y en los apéndices.

El estudio del gálibo del vehículo y las verificaciones de la compatibilidad de la infraestructura se han realizado de conformidad con la norma aplicable UNI 7360:2010 que es equivalente a la UIC 505 con el material rodante, como una interfaz de comprobación de las obras civiles para garantizar la envolvente entre el gálibo dinámico y las estructuras).

Comparando ambas normas: UNI 7360:2010 y la UIC 505.

- La UNI 7360:2010 está indicado entre las normas aplicables del Anexo 6, apéndice 3
- La UNI 7360:2010 es específica para los trenes de metro, es capaz de procesar gálibos dinámicos más cortos que los de la UIC 505 (ver figura), lo que le permite optimizar el diámetro del túnel

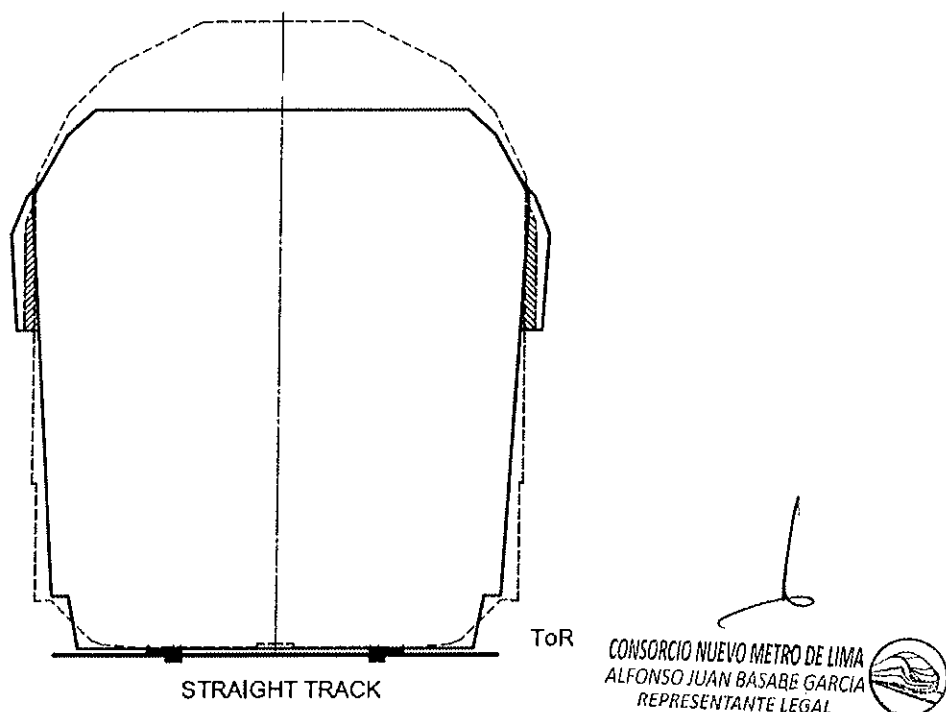


Figura 1 - Comparación entre gálibos según la UIC 505-4 y la UNI 7360:2010

De hecho, la figura anterior muestra que hay todo un espacio por sobre el gálibo dinámico del vehículo que no se utiliza en el caso de UIC 505

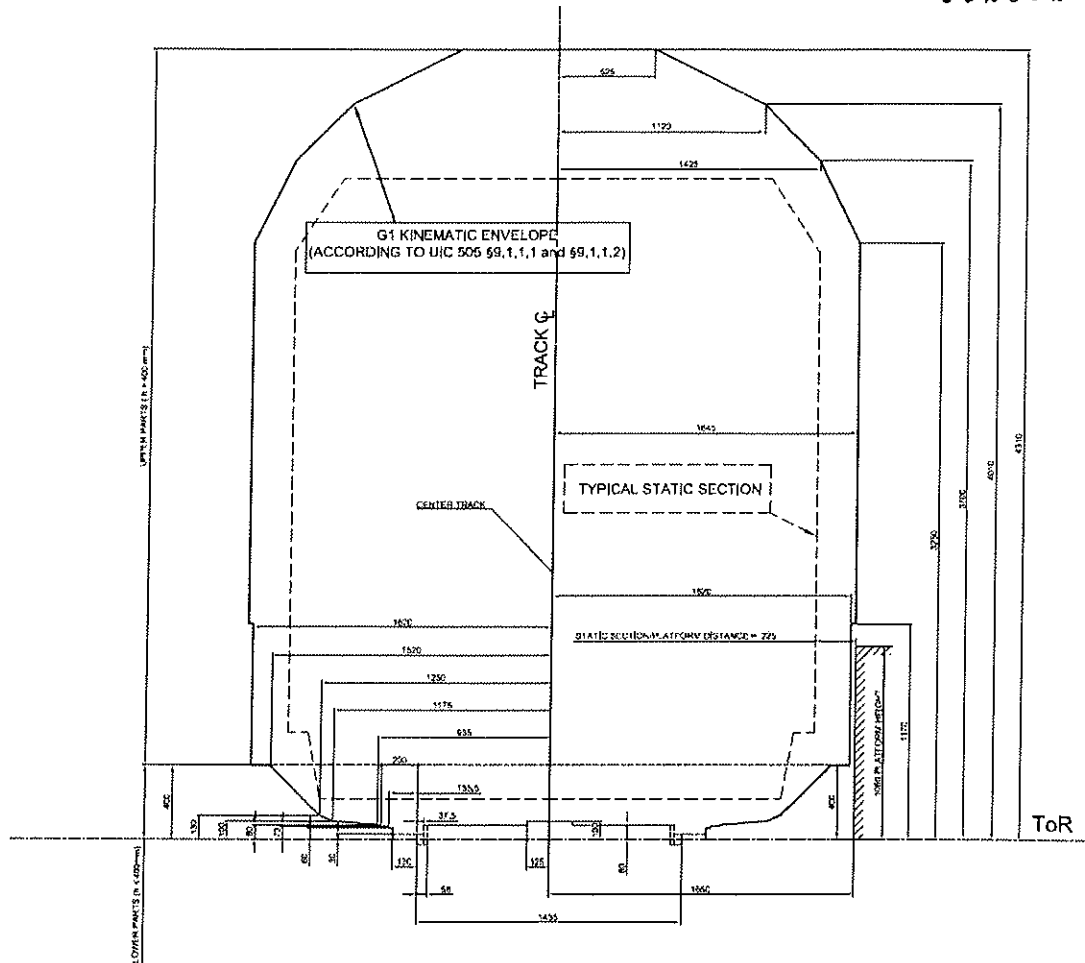


Figura 2 – distancia vehículo andén según la UIC 505-4

### GÁLIBO ESTÁTICO - SECCIONES ESTÁTICAS MÁXIMAS DEL VEHÍCULO

Las secciones estáticas máximas empleadas para el vehículo del proyecto HRV Lima están definidas en la sección D.1.3 de la propuesta técnica.

### GÁLIBO DINÁMICO

El gálibo dinámico de la caja ha sido calculado para una línea recta y distintos radios de curva.

Más concretamente, la sección D.1.3 informa del gálibo dinámico para una vía recta y para un radio de curva de 250 m (hoja 2/5) y da tres ejemplos de vehículos que se cruzan (en una vía recta (hoja 3/5), en una curva de 250 m con un peralte de 150 mm (hoja 4/5) y en una curva de 250 m con un peralte de 150 mm en un túnel (hoja 5/5)) con el fin definir y verificar la distancia mínima entre los ejes de vía.

Los cálculos y los dibujos del gálibo dinámico de la caja del coche tendrán en cuenta los siguientes efectos:

- La carga máxima de pasajeros.
- Los movimientos verticales máximos hacia arriba (con desplazamientos máximos de las suspensiones), incluyendo el cabeceo máximo, el vuelco vertical y las tolerancias del vehículo.





- Los movimientos verticales máximos hacia abajo (con desplazamientos máximos de las suspensiones), incluyendo el desgaste vertical máximo de las ruedas, el desgaste vertical del carril, el cabeceo, el vuelco vertical y las tolerancias del vehículo.
- Los movimientos laterales máximos en servicio (con desplazamientos máximos de las suspensiones), incluyendo el desgaste lateral máximo de las ruedas, la guiñada y las tolerancias del vehículo.
- Los movimientos de balanceo máximos (con las suspensiones contra los topes mecánicos).
- El desgaste vertical y lateral del carril.

Todos los elementos tomados en consideración para el cálculo del gálibo dinámico se reflejan detalladamente en la siguiente tabla:

### 1) MOVIMIENTOS ASCENDENTES

- SUSPENSIÓN PRIMARIA	24 mm
- SUSPENSIÓN SECUNDARIA	27 mm
- TOLERANCIAS VERTICALES	5 mm
<b>TOTAL</b>	<b>56 mm</b>

### 2) MOVIMIENTOS DESCENDENTES

- SUSPENSIÓN PRIMARIA	28,5 mm
- SUSPENSIÓN SECUNDARIA	50 mm
- DESGASTE DE RUEDAS	30 mm
- DESGASTE DE VÍA	15 mm
- DESVIACIÓN DE CAJA	10 mm
- TOLERANCIAS VERTICALES	5 mm
<b>TOTAL</b>	<b>138,5 mm</b>

### 3) MOVIMIENTOS LATERALES

- SUSPENSIÓN PRIMARIA	5 mm
- SUSPENSIÓN SECUNDARIA	35 mm
- DESGASTE DE RUEDAS Y VÍA MÁS HOLGURA LATERAL (ANCHO DE VÍA MÁX.: 1450 mm) (1450-1415)/2	17,5 mm
<b>TOTAL</b>	<b>57,5 mm</b>

### 4) ROLL EFFECTS

-ALTURA DEL CENTRO DEL RODILLO (CON RESPECTO AL NIVEL SUPERIOR DEL CARRIL)	580 mm
- ÁNGULO DE GIRO EN CONDICIONES LÍMITE	3,56°
- ÁNGULO DE GIRO EN CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO NORMALES (UTILIZADO ÚNICAMENTE PARA GALIBO CINEMÁTICO EN ESPEJO)	1,5°

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL





5) RADIO EN CURVA VERTICAL MÍNIMO

1.500 mm

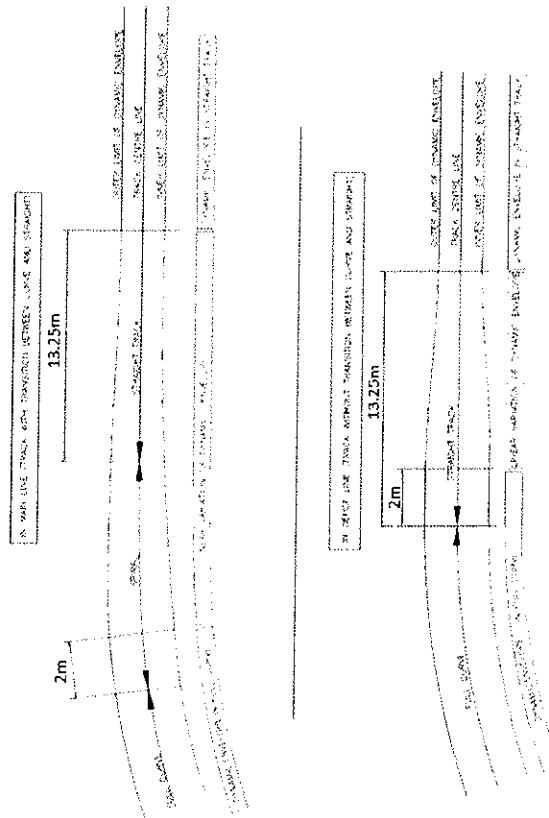
002054

Además, el cálculo del gálibo dinámico también incluye el efecto de un radio de curva vertical de 1.500 m.

Consulte la sección D.1.3 para mas detalles.

**GÁLIBO DINÁMICO EN TRANSICIÓN A CURVA PROLONGADA Y EN VÍA RECTA**

En opinión de AB, el uso correcto de los gálibos dinámicos en transiciones a curva prolongada y en vía recta se muestra en las siguientes figuras:



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL







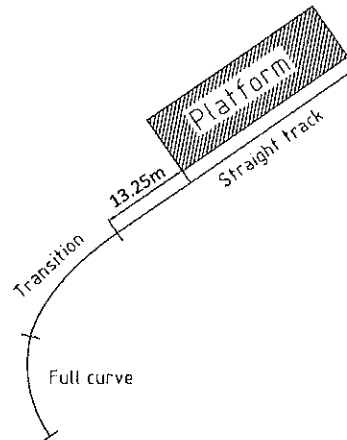
## INTERFAZ VEHICULO-ANDÉN

002055

### DISPOSICIÓN DEL ANDÉN

La totalidad del andén estará dispuesta en un tramo recto de vía.

La distancia mínima entre el final de una curva de transición y el andén es de 13,25 m.



### POSICIÓN DEL ANDÉN

Las dimensiones de andén principales son las siguientes:

- Altura del suelo de la andén desde TOR: 1.050 (0;+5) mm
- Distancia lateral de la andén desde el eje de vía teórico: 1.495 (-5;0) mm

### VELOCIDAD OPERATIVA MÁXIMA DEL VEHÍCULO EN RELACIÓN CON EL ANDÉN

La velocidad operativa máxima del vehículo (velocidad bajo el control del sistema de operación automática del tren -ATO-) en caso de saltarse la andén es de 40 Km/h.

La velocidad máxima del vehículo en caso de rebasar la andén es de 60 Km/h.

### ESTADOS OPERATIVOS DEL VEHÍCULO EN RELACIÓN CON EL ANDÉN

Estas son los estados operativos del vehículo:


- **Funcionamiento normal:** El vehículo está en estado operativo normal.
- **Funcionamiento degradado:** El vehículo tiene una avería técnica que le impide estar al nivel de rendimiento normal.

Además, para ambos tipos de funcionamiento, las condiciones de carga del vehículo a tomar en cuenta son aquéllas entre CC0 y CC2.

### ANÁLISIS VEHÍCULO-ANDÉN

Se llevarán acabo tres tipos de análisis vehículo-andén:

- *Análisis de separaciones*
- *Análisis de espacios libres*
- *Verificación de la apertura de las puertas*

  
**CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA**  
**ALFONSO JUAN BASABE GARCIA**  
 REPRESENTANTE LEGAL




**ANÁLISIS DE LAS SEPARACIONES ENTRE VEHÍCULO Y ANDÉN**

002056

El **análisis de separaciones** evalúa los siguientes requisitos:

La altura del suelo no será inferior a la altura de la andén, nominalmente, 1.050 mm desde la cara del carril (TOR) en estado operativo normal.

La altura de escalón no será superior a 50 mm en estado operativo normal..

La separación entre el borde de la andén y el escalón del vehículo no superará 70 mm en estado operativo normal (tal y como se especifica en el apartado 5.2.3 de la norma UNI 7360:2010).

Todos los requisitos anteriores consideran que el vehículo está en estado operativo normal. El vehículo está en su estado operativo normal en relación con la andén cuando las ruedas dejan de girar y, además:

- Sus dimensiones son las nominales.
- Está quieto.
- Está centrado en la vía.
- Tiene las puertas cerradas (las separaciones no se ven modificadas por la apertura de las puertas analizada en otro párrafo).

las condiciones de carga del vehículo a tomar en cuenta son aquéllas entre CC0 y CC2.

Para comprobar la altura de escalón máxima, el vehículo en estado estático normal está en condición de carga CC0; este estado se denomina **“Estado estático normal alto”**.

Para comprobar la altura de escalón máxima, el vehículo en estado estático normal está en condición de carga CC2; este estado se denomina **“Estado estático normal bajo”**. Además, también se tiene en cuenta el desplazamiento vertical hacia abajo.

<b>Desplazamiento vertical</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor [mm]</b>	<b>Símbolo</b>
Deformación de la suspensión primaria bajo la condición de carga CC2 (carga estática)	-25	V1
Deformación vertical de la caja	-10	V5
Desgaste de rueda con ajuste	-5	U1

(\*) Para recuperar la altura del vehículo provocada por el reperfilado de las ruedas, se proporcionan cuñas debajo de la suspensión secundaria.

Las dimensiones de la andén y de las vías son nominales.

El análisis se ha realizado en la sección D.1.3 y sus resultados son los siguientes:

- La separación vertical máxima en estado normal es de 50 mm
- La separación vertical mínima en estado normal es de 10 mm
- La separación horizontal en estado normal es de 70 mm

Consulte la sección D.1.3 para mas detalles.

**ANÁLISIS DE ESPACIOS LIBRES**

El **análisis de espacios libres** evalúa los siguientes requisitos:

  
 CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



En las zonas de andén (vía recta), los vehículos permanecerán apartados del borde de la andén bajo cualquier estado y velocidad operativos y durante la apertura y el cierre de las puertas, incluso en modos degradados tales como el fallo de la suspensión.

Por consiguiente, los estados operativos que hay que analizar son los siguientes:

- Estático y en marcha
- Normal y degradado

Por otra parte, en el análisis de espacios libres se estudia la envolvente cinemática del vehículo en relación con la andén (por tanto, para vía recta y una velocidad máxima de 40 Km/h) y, por consiguiente, también se toman en consideración las siguientes contribuciones:

- Tolerancias del vehículo
- Tolerancias de la andén
- Desgaste de la vía

Este análisis (véase la sección D.1.3) se realiza para comprobar que el vehículo puede moverse a lo largo de la andén, incluso en estados degradados y límite; por lo tanto, se tienen en cuenta todos los movimientos hacia la andén y las tolerancias con el fin de maximizar las dimensiones del vehículo y de la andén.

#### “Estados normales de marcha”

- Vehículo en condición de carga plena CC2 (8 pasajeros/m<sup>2</sup>, ruedas desgastadas, dimensiones con tolerancias).
- Carril desgastado.
- Dimensiones de la andén con tolerancias.
- Vehículo en marcha en relación con la andén a la máxima velocidad ATO de 40 Km/h.

El desplazamiento lateral máximo en estado normal de marcha hacia la andén es debido a la suma de los siguientes elementos:

<b>Desplazamiento lateral</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor [mm]</b>	<b>Símbolo</b>
Movimiento máximo de la suspensión primaria en estado normal de marcha	2	L1
Movimiento máximo de la suspensión secundaria en estado normal de marcha	10	L2
Separación máxima entre las ruedas y el carril (*)	15	L3
Tolerancia lateral máxima	3	T

(\*) La separación rueda-carril máxima es igual a:

$$L3 = \frac{S - d}{2}$$

Donde:

S es el calibre de vía máximo, incluyendo el desgaste, en relación con la andén. S es un valor reducido con respecto al valor S<sub>ke</sub> empleado en la sección 4 para el estudio de la envolvente cinemática, pero tiene en cuenta que la andén está en un tramo recto de vía. S = 1.445 mm es un valor fiable (S = 1.435 mm es el calibre de vía nominal).

d es el calibre de vía mínimo, incluyendo el desgaste. Considerando el radio nominal de rueda, un valor fiable es 1.415 mm.

Además, también se tiene en cuenta el balanceo del vehículo hacia la andén:

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL





002058

<b>Efecto de balanceo</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Símbolo</b>
Movimiento de balanceo máximo en estado normal de marcha	0,5 [°]	R2
Altura del centro de balanceo	580 [mm]	Hrc

El desplazamiento vertical hacia abajo máximo en estado normal de marcha es debido a la suma de los siguientes elementos:

<b>Desplazamiento vertical</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor [mm]</b>	<b>Símbolo</b>
Deformación de la suspensión primaria bajo la condición de carga CC2 (carga dinámica)	-28,5	V2
Deformación vertical de la caja	-10	V5
Desgaste de rueda con ajuste	-5	U1
Desgaste del carril (**)	-5	U2

(\*\*) El desgaste vertical máximo del carril en relación con la andén es de 5 mm, que es un valor fiable.

**“Estados normales de marcha con fallo de la suspensión secundaria”**

El vehículo está en estado normal de marcha, pero un bogie tiene el muelle neumático desinflado. Por lo tanto, se realizará la siguiente modificación con respecto al estado anterior.

Desplazamiento vertical

Se añade la siguiente contribución:

<b>Descripción</b>	<b>Valor [mm]</b>	<b>Símbolo</b>
Deformación de la suspensión secundaria en estado de fallo bajo la condición de carga CC2 (carga dinámica)	-40	V4

Efecto de balanceo

El efecto de balanceo se omite dado que se considera que ambas suspensiones secundarias están en movimiento dinámico vertical hacia abajo máximo.

**“Apertura indebida de las puertas durante la marcha”**

Cuando se produce este fallo, el ATC parará el tren inmediatamente.

Por lo tanto, con este análisis se estudia el caso de que se produzca este fallo durante la marcha del vehículo en relación con las andén.

Los movimientos en todas las direcciones son los mismos que en el caso del estado normal de marcha, pero las puertas están abiertas.

**“Estado límite de marcha” (Rebasamiento en relación con la andén)**

El rebasamiento en relación con la andén se estudia como parte de unos estados graves llamados **“Estados límite de marcha”**. En este caso, la velocidad máxima del vehículo (velocidad ATP) en relación con una andén es de 60 Km/h.

Los movimientos laterales en estados normales de marcha se modifican a fin de considerar los estados límite de marcha (60 Km/h).

<b>Desplazamiento lateral y efectos de balanceo</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Símbolo</b>
Rotación de balanceo máxima estimada a 60 Km/h	0,75 [°]	R1
Movimiento máximo estimado de la suspensión primaria a 60 Km/h	3	L4
Movimiento máximo estimado de la suspensión secundaria a 60 Km/h	18	L5

El máximo valor de balanceo es igual a los debidos a una aceleración lateral desequilibrada de  $1 \text{ m/s}^2$ .





A partir de la verificación realizada en la sección D.1.3 es posible afirmar que: <sup>002059</sup>

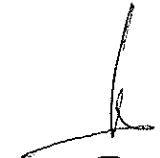
- En estado normal de marcha existe un espacio libre entre el vehículo y el borde de la andén.
- En estado de marcha con fallo de la suspensión secundaria existe un espacio libre entre el vehículo y el borde de la andén.
- Cuando se produce una apertura indebida de las puertas en marcha en relación con una andén (cuando se produce este fallo, el ATC parará el tren inmediatamente), existe un espacio libre entre el vehículo y el borde de la andén, pero existe una interferencia entre la junta de estanqueidad de la puerta y la andén de 21,25 mm.
- En estado límite de marcha, existe un espacio libre entre el vehículo y el borde de la andén.

En resumen:

- En todos los estados operativos existe un espacio libre entre el vehículo y el borde de la andén.
- Cuando se produce una apertura indebida de las puertas en marcha en relación con una andén (cuando se produce este fallo, el ATC parará el tren inmediatamente), existe un espacio libre entre el vehículo y el borde de la andén, pero existe una interferencia máxima entre la junta de estanqueidad de la puerta y la andén de 21,25 mm.
- En estado límite de marcha, existe un espacio libre entre el vehículo y el borde de la andén.

La interferencia de 21,25 mm entre la junta de estanqueidad de la puerta y la andén es admisible teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los desplazamientos del vehículo se traducen en el peor estado posible hacia la andén.
- Las tolerancias de vehículo, de andén y de carril se traducen en el peor estado posible.
- Las juntas de estanqueidad de las puertas son deformables.
- Cuando el vehículo está en estado de fallo (apertura indebida de las puertas durante la marcha) será detenido inmediatamente por el ATC.

  
 CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



<b>A.6.2.</b>	<b>A) DISEÑO DE INGENIERÍA</b>
Nº DOCUMENTO	TIPO DE DOCUMENTO

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

## A.6.2. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL TÚNEL

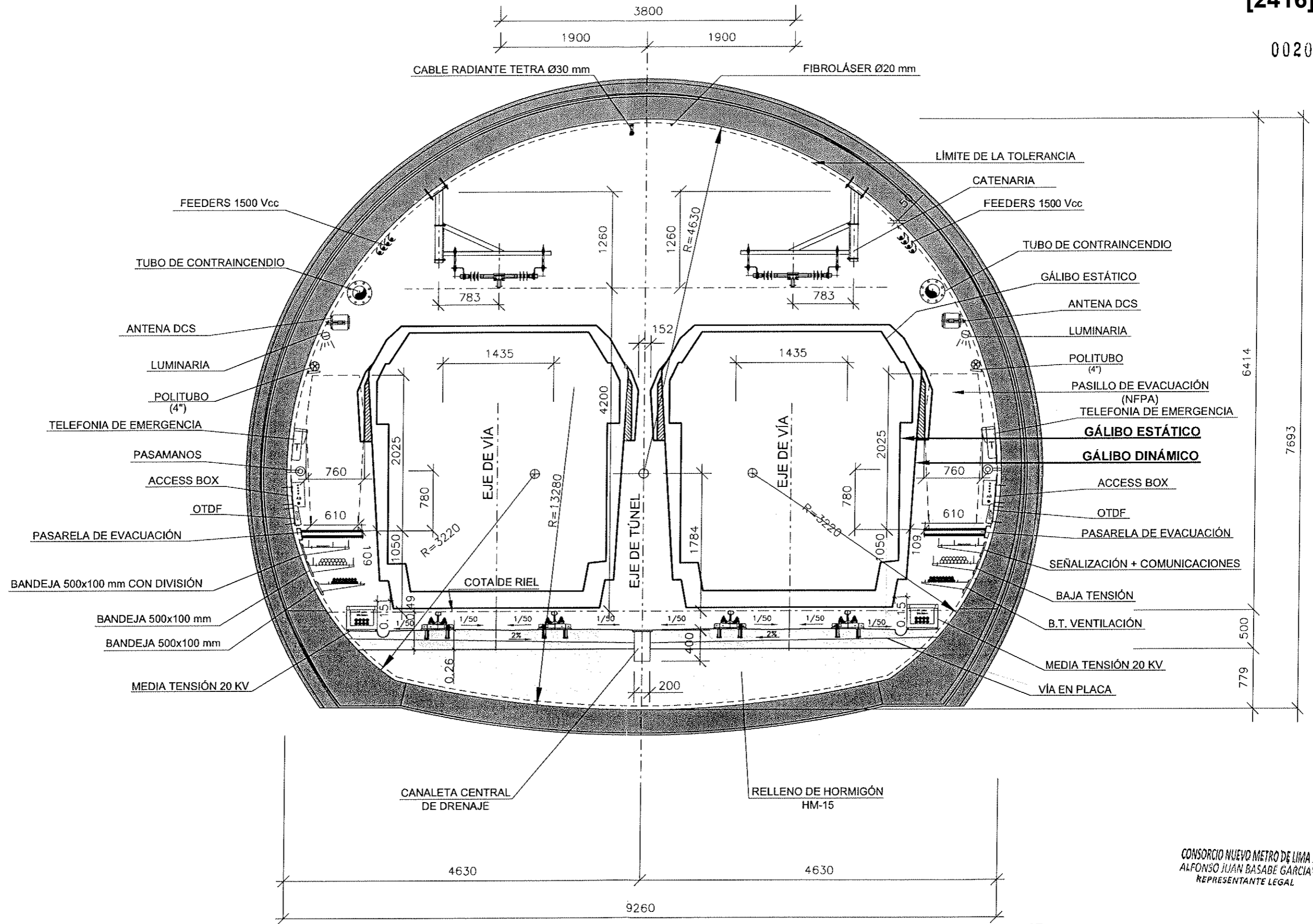
### APÉNDICE 2. PLANOS DE SECCIONES TIPO

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCÍA  
REPRESENTANTE LEGAL 

CODIGO	ÍNDICE DE PLANOS	ESCALA A1	Nº PLANOS
PLOC-TUN-FUN-LN	DEFINICIÓN GEOMÉTRICA. SECCIÓN TIPO TÚNEL DE LÍNEA	VARIAS	10

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





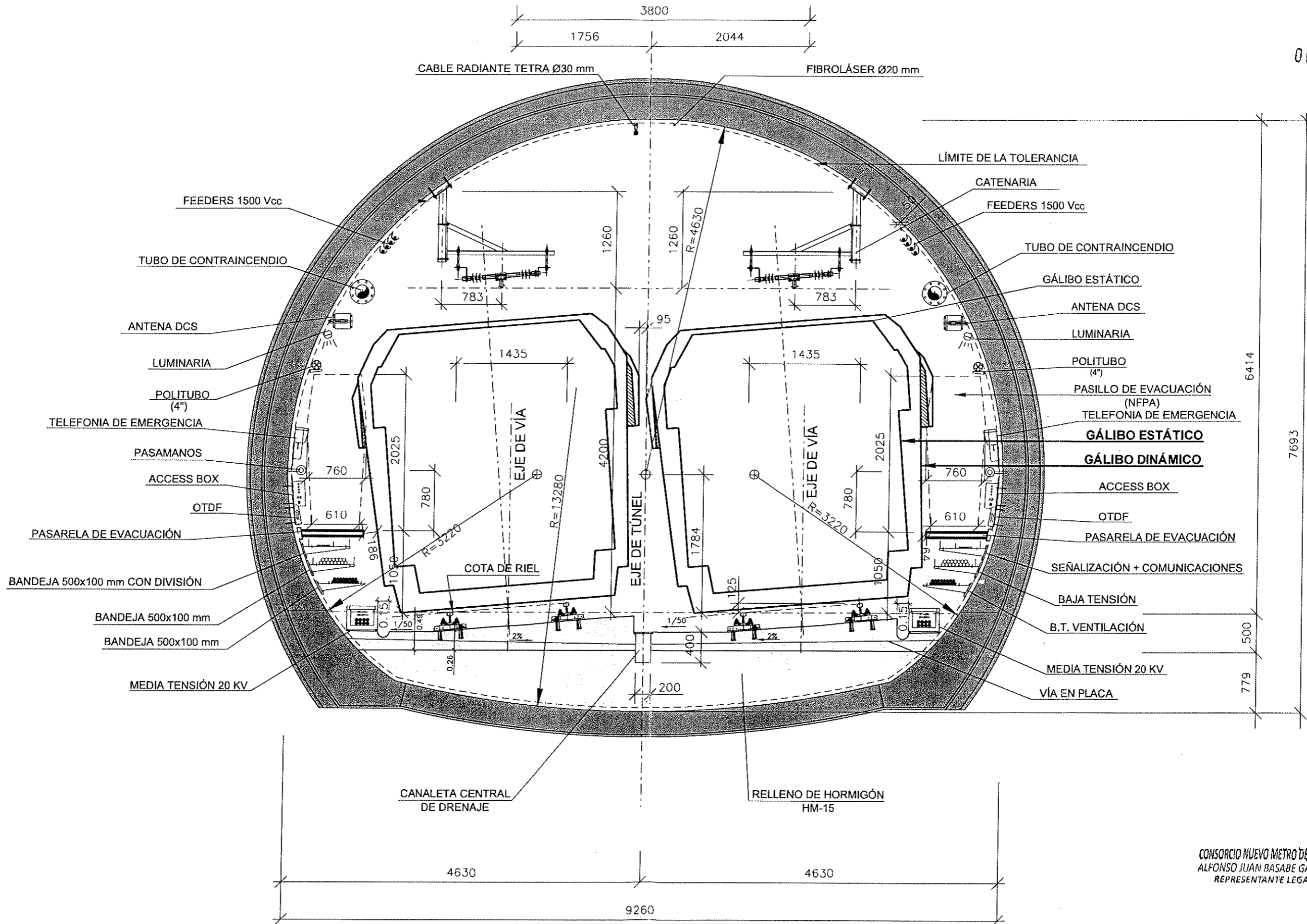
SECCIÓN TIPO TÚNEL CONVENCIONAL EN RECTA

NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETILLES, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFF/ADH

- NOTAS:
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN mm.
  - PERALTE MÁXIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 125 mm.
  - PERALTE MÍNIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 10 mm.
  - LA ANCHURA DE LA PASARELA ES ORIENTATIVA, SU DIMENSIÓN FINAL DEPENDERÁ DE LA MODULACIÓN COMERCIAL Y REPLANTEO FINAL
  - PARA DETALLES DE VÍA CONSULTAR PLANOS DE SUPERESTRUCTURA

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL





SECCIÓN TIPO TÚNEL CONVENCIONAL EN CURVA (R= 350 m)

NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETILLES, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFF/ADH

- NOTAS:
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN mm.
  - PERALTE MÁXIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 125 mm.
  - PERALTE MÍNIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 10 mm.
  - LA ANCHURA DE LA PASARELA ES ORIENTATIVA, SU DIMENSIÓN FINAL DEPENDERÁ DE LA MODULACIÓN COMERCIAL Y REPLANTEO FINAL
  - PARA DETALLES DE VÍA CONSULTAR PLANOS DE SUPERESTRUCTURA

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

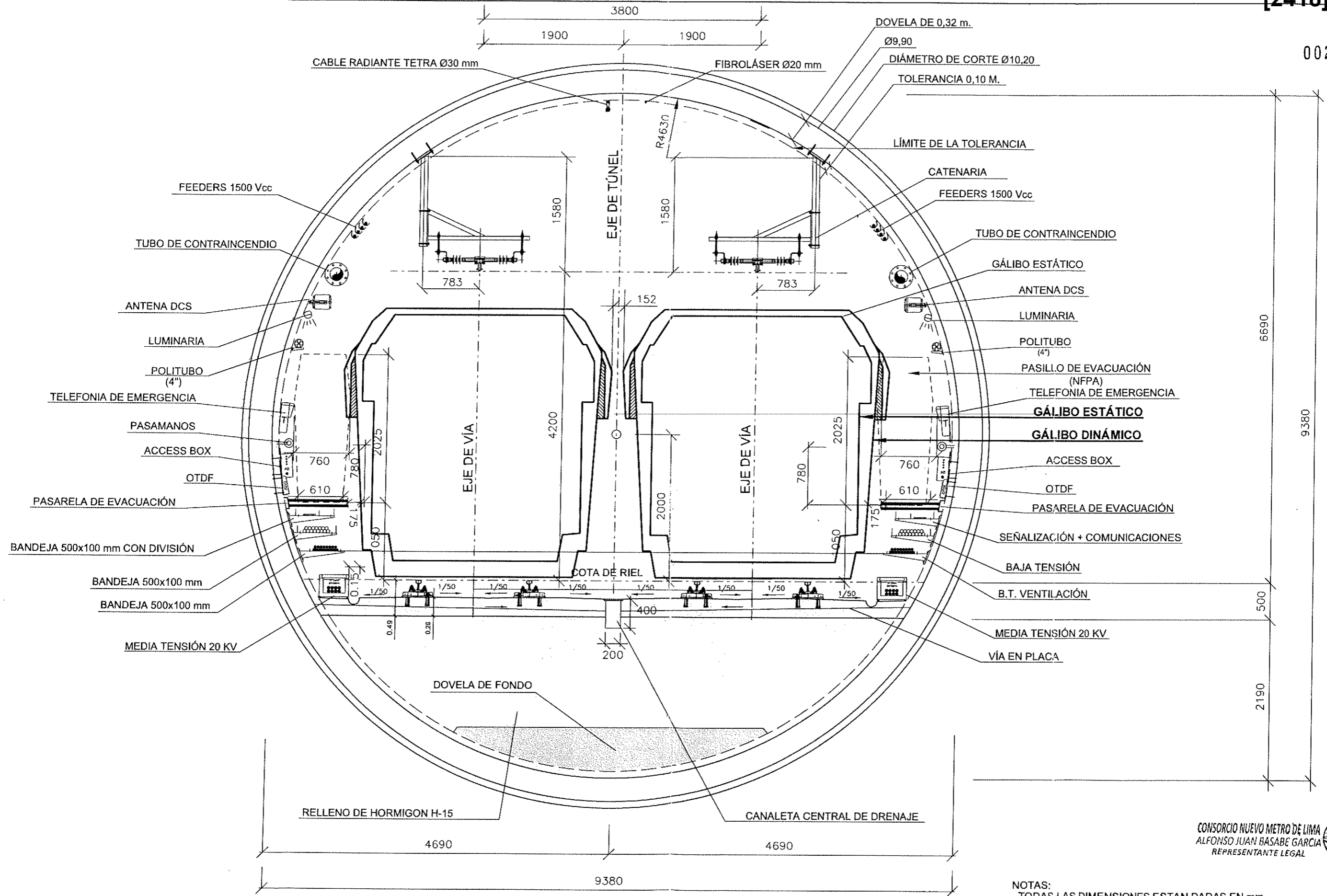


CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (M): 1/25  
 FECHA: FEBRERO 2014



DEFINICIÓN GEOMÉTRICA SECCIÓN TIPO TÚNEL DE LÍNEA	
PLANO N°	PLOC-TUN-FUN-LN-P-002
H.O.M.	2 de 10
REVISIÓN	2

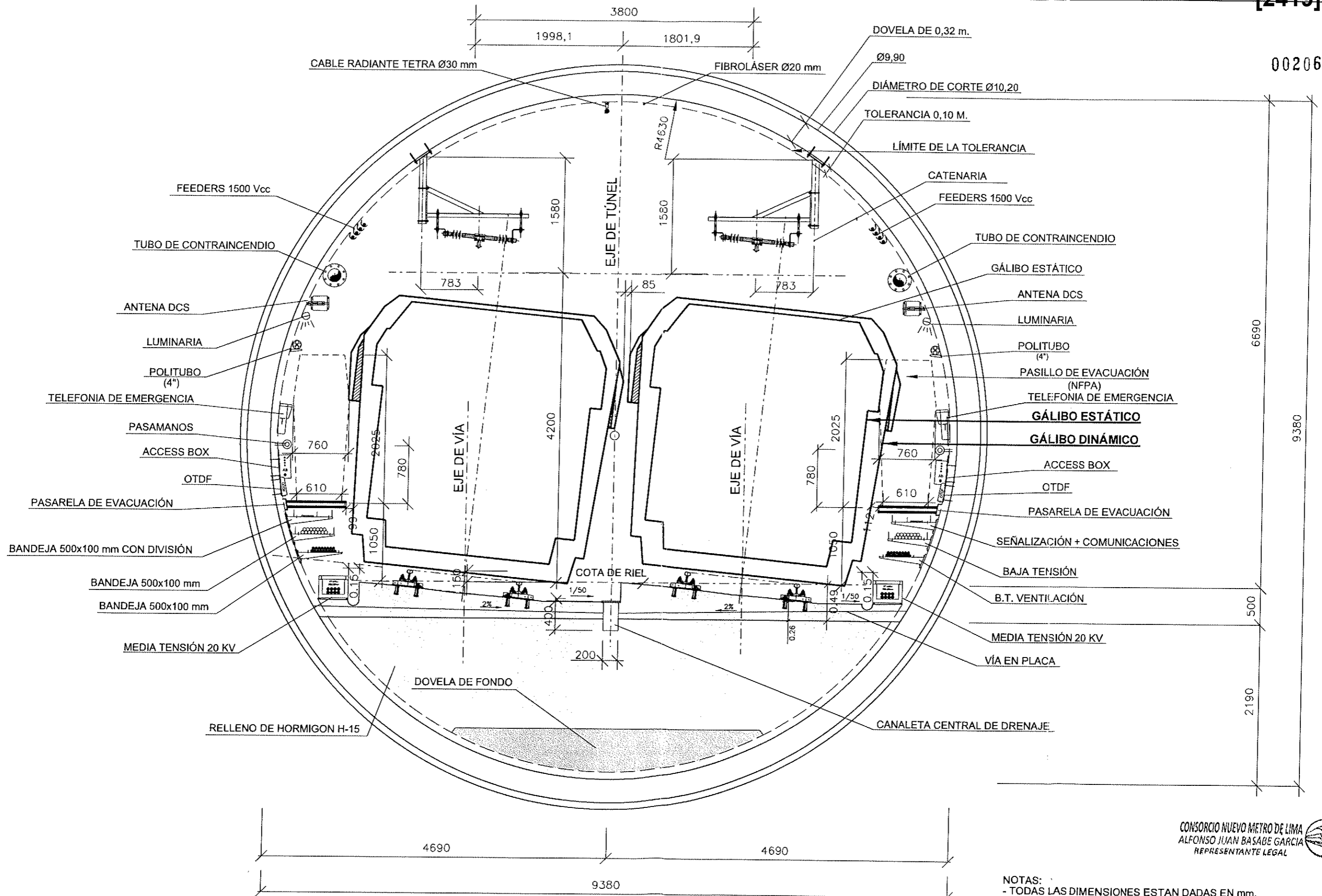


SECCIÓN TIPO TÚNEL TBM EN RECTA

NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETILLES, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFF/ADH

- NOTAS:
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN mm.
  - PERALTE MÁXIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 150 mm.
  - PERALTE MÍNIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 10 mm.
  - LA ANCHURA DE LA PASARELA ES ORIENTATIVA, SU DIMENSIÓN FINAL DEPENDERÁ DE LA MODULACIÓN COMERCIAL Y REPLANTEO FINAL
  - PARA DETALLES DE VÍA CONSULTAR PLANOS DE SUPERESTRUCTURA
  - PARA DETALLES DE LA DOVELA DE FONDO CONSULTAR PLANOS DE TÚNEL

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



SECCIÓN TIPO TÚNEL TBM EN CURVA (R= 280 m)

NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETILLES, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFF/ADH

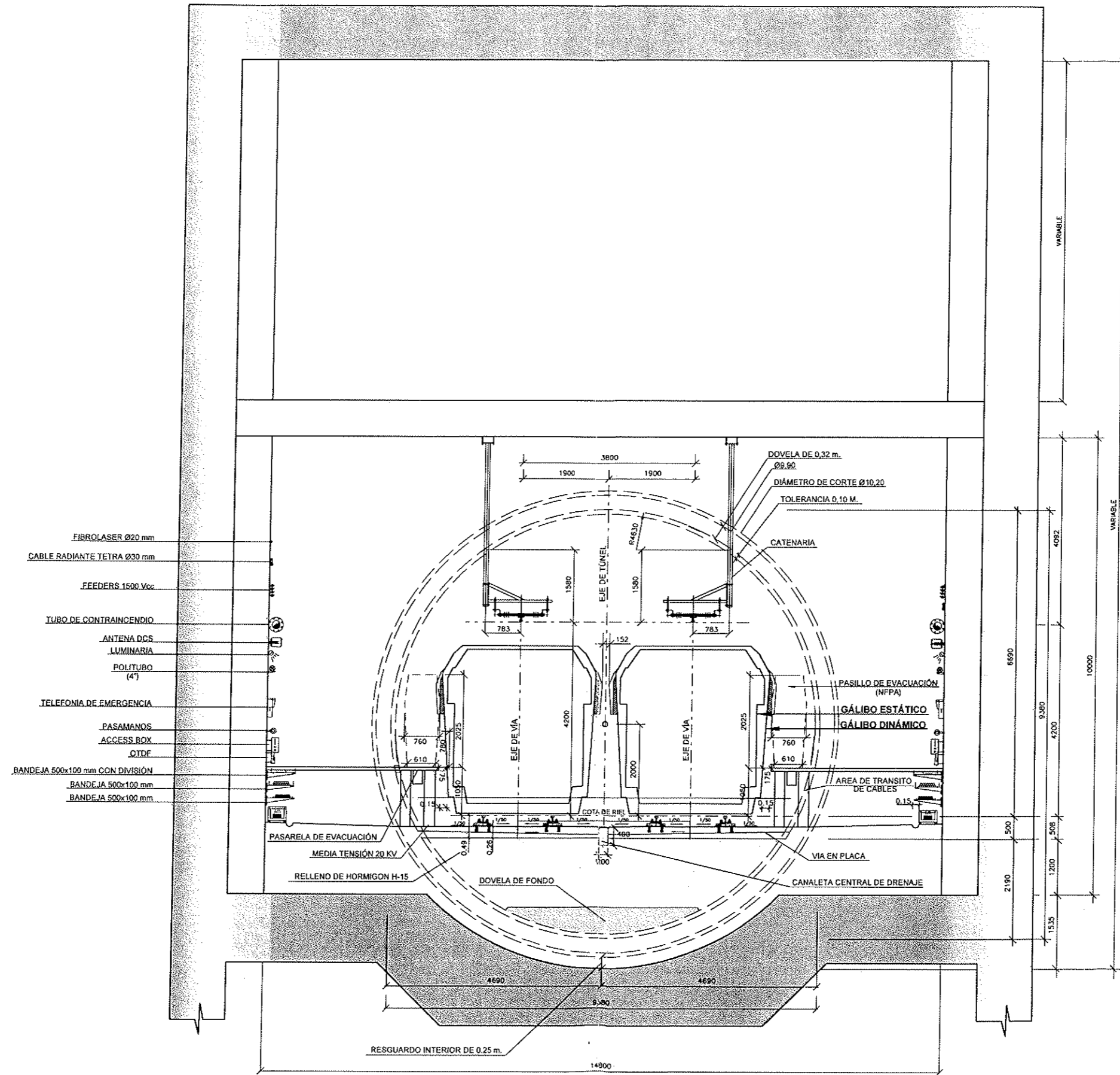
- NOTAS:
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN mm.
  - PERALTE MÁXIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 150 mm.
  - PERALTE MÍNIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 10 mm.
  - LA ANCHURA DE LA PASARELA ES ORIENTATIVA, SU DIMENSIÓN FINAL DEPENDERÁ DE LA MODULACIÓN COMERCIAL Y REPLANTEO FINAL
  - PARA DETALLES DE VÍA CONSULTAR PLANOS DE SUPERESTRUCTURA
  - PARA DETALLES DE LA DOVELA DE FONDO CONSULTAR PLANOS DE TÚNEL

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A1):	DEFINICIÓN GEOMÉTRICA SECCIÓN TIPO TÚNEL DE LÍNEA
FECHA: FEBRERO 2014	PLANO N° PLOC-TUN-FUN-LN-P-004
HOJA: 4 de 10	REVISIÓN: 2



NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETILLES, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFF/ADH

SECCIÓN TIPO EN POZO CENTAL

- NOTAS:
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN mm.
  - LA ANCHURA DE LA PASARELA ES ORIENTATIVA, SU DIMENSIÓN FINAL DEPENDERÁ DE LA MODULACIÓN COMERCIAL Y REPLANTEO FINAL
  - PARA DETALLES DE VIA CONSULTAR PLANOS DE SUPERESTRUCTURA.
  - PARA DETALLES DE LA DOVELA DE FONDO CONSULTAR PLANOS DE TUNEL

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO ILIAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

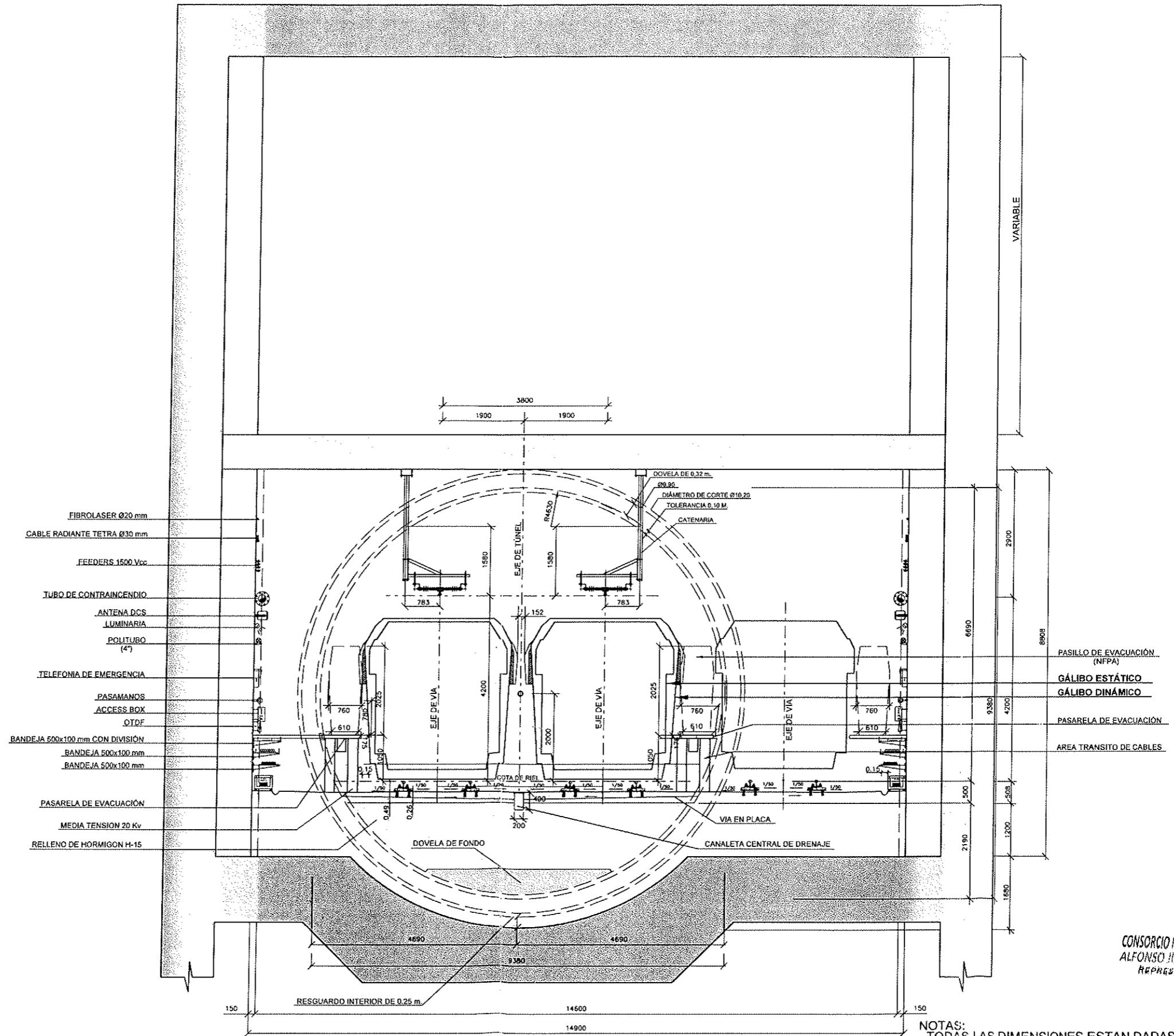


CONSULTORES  
 CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA: (A1): 1/50  
 FECHA: FEBRERO 2014



PLANO N°	DEFINICIÓN GEOMÉTRICA SECCIÓN TIPO TUNEL DE LÍNEA	REVISIÓN
PLOC-TUN-FUN-LN-P-005		5 de 10
		2



- FIBROLASER Ø20 mm
- CABLE RADIANTE TETRA Ø30 mm
- FEEDERS 1500 Vcc
- TUBO DE CONTRAINCENDIO
- ANTENA DCS
- LUMINARIA
- POLITUBO (4")
- TELEFONIA DE EMERGENCIA
- PASAMANOS
- ACCESS BOX
- OTDF
- BANDEJA 500x100 mm CON DIVISIÓN
- BANDEJA 500x100 mm
- BANDEJA 500x100 mm
- PASARELA DE EVACUACIÓN
- MEDIA TENSION 20 Kv
- RELLENO DE HORMIGÓN H-15

- PASILLO DE EVACUACIÓN (NFPA)
- GÁLIBO ESTÁTICO
- GÁLIBO DINÁMICO
- PASARELA DE EVACUACIÓN
- AREA TRANSITO DE CABLES

SECCIÓN TIPO 3ª VÍA ENTRE PANTALLAS EN ZONA TÚNEL TBM

NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETILLES, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFF/ADH

NOTAS:  
 - TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN mm.  
 - PERALTE MÁXIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 150 mm.  
 - PERALTE MÍNIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 10 mm.  
 - LA ANCHURA DE LA PASARELA ES ORIENTATIVA, SU DIMENSIÓN FINAL DEPENDERÁ DE LA MODULACIÓN COMERCIAL Y REPLANTEO FINAL.  
 - PARA DETALLES DE VÍA CONSULTAR PLANOS DE SUPERESTRUCTURA.  
 - PARA DETALLES DE LA DOVELA DE FONDO CONSULTAR PLANOS DE TÚNEL.

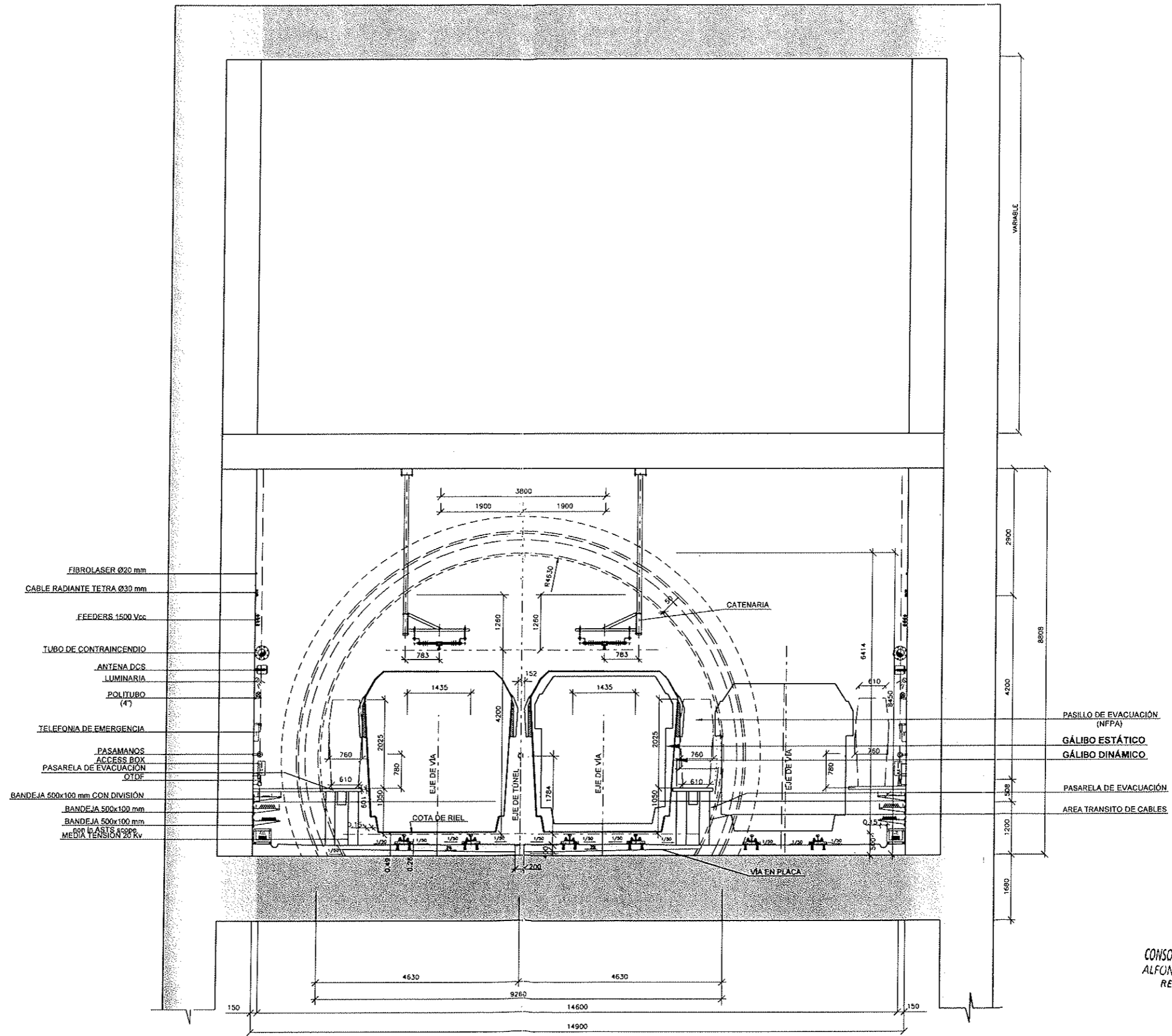
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO HUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A1): 1/50  
 FECHA: FEBRERO 2014

DEFINICIÓN GEOMÉTRICA SECCIÓN TIPO TÚNEL DE LÍNEA	PLANO N°	PLOC-TUN-FUN-LN-P-006	HOJA	6 de 10	REVISIÓN	2
--	----------	-----------------------	------	---------	----------	---



NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETLES, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFFIADH

SECCIÓN TIPO 3ª VÍA ENTRE PANTALLAS EN ZONA TÚNEL CONVENCIONAL

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

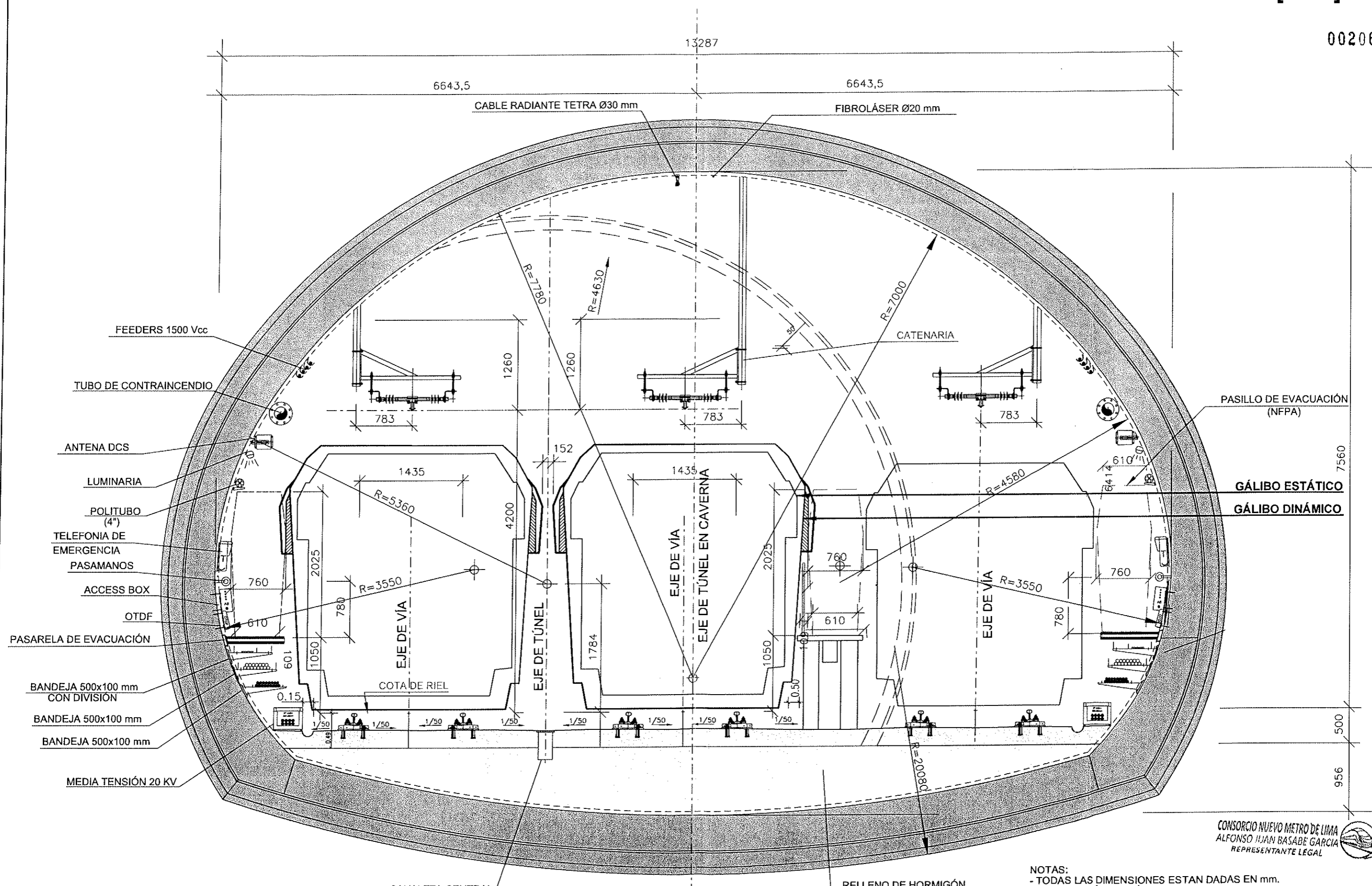
I:\proyectos\metro lima (2010)\version 02\...  
I:\proyectos\metro lima (2010)\version 02\...



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

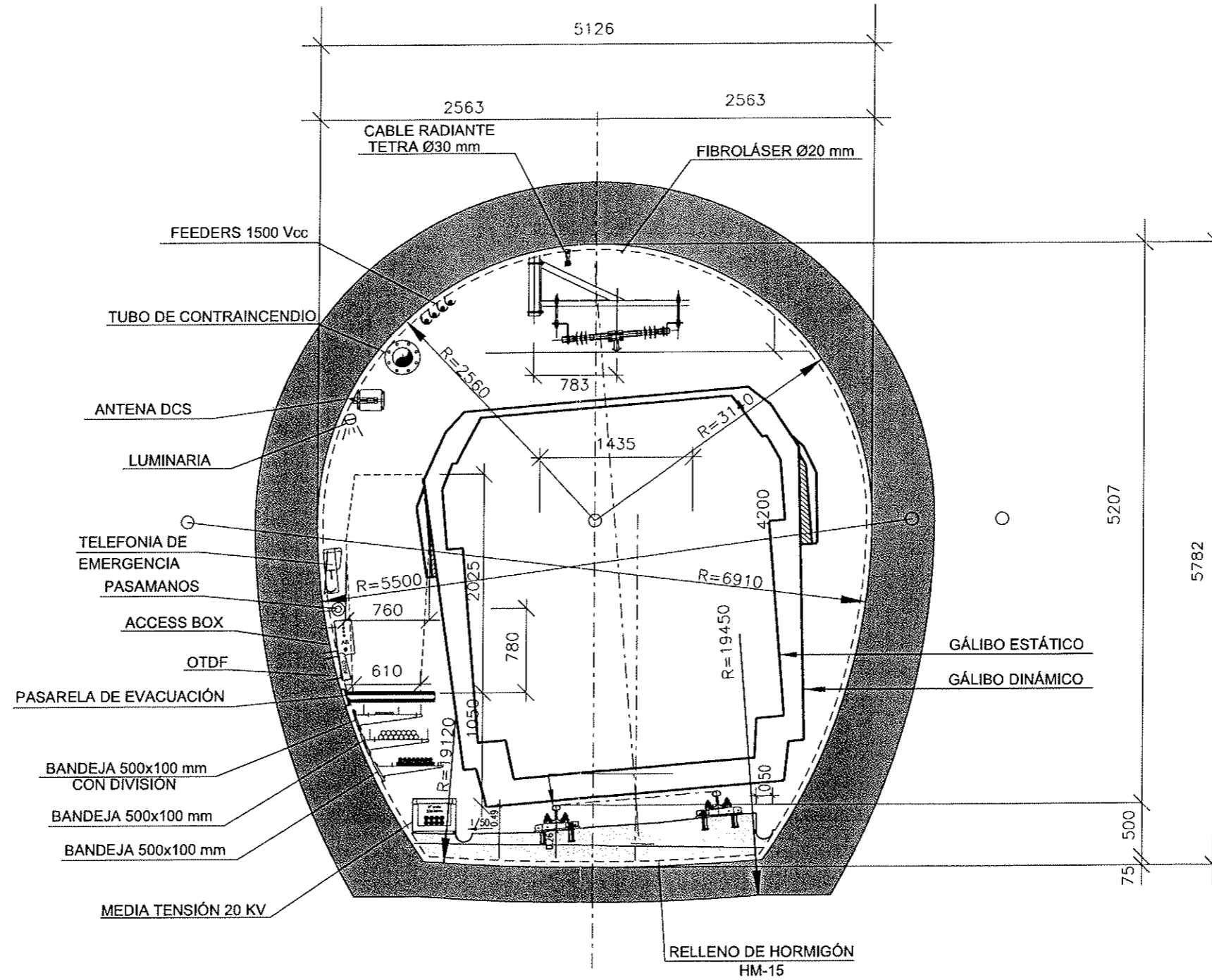
ESCALA (A1): 1/50  
FECHA: FEBRERO 2014

DEFINICIÓN GEOMÉTRICA SECCIÓN TIPO TÚNEL DE LÍNEA		PLANO N°	PLOC-TUN-FUN-LN-P-007	HOJA:	7 de 10	REVISIÓN:	2
---	--	----------	-----------------------	-------	---------	-----------	---



NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETELLES, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFF/ADH

NOTAS:  
 - TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN mm.  
 - PERALTE MÁXIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 125 mm.  
 - PERALTE MÍNIMO TÚNEL CONVENCIONAL ES 10 mm.  
 - LA ANCHURA DE LA PASARELA ES ORIENTATIVA, SU DIMENSIÓN FINAL DEPENDERÁ DE LA MODULACIÓN COMERCIAL Y REPLANTEO FINAL  
 - PARA DETALLES DE VÍA CONSULTAR PLANOS DE SUPERESTRUCTURA



SECCIÓN TIPO EN CAVERNA EN ACCESO A TALLERES

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

NOTAS:  
 - TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN mm.  
 - LA ANCHURA DE LA PASARELA ES ORIENTATIVA, SU DIMENSIÓN FINAL DEPENDERÁ DE LA MODULACIÓN COMERCIAL Y REPLANTEO FINAL  
 - PARA DETALLES DE VÍA CONSULTAR PLANOS DE SUPERESTRUCTURA

NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETelles, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFF/ADH

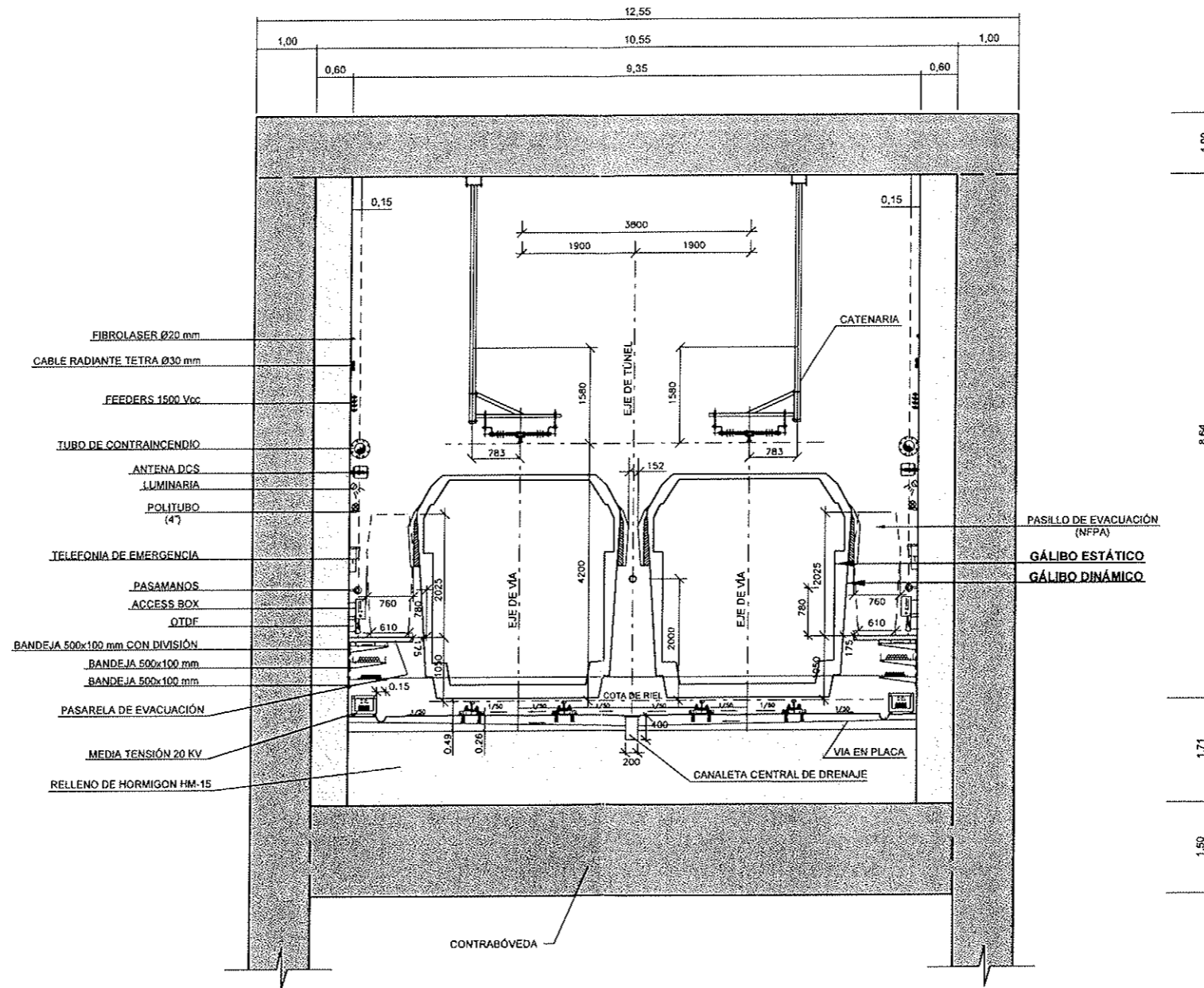


CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A1): 1/25  
 FECHA: FEBRERO 2014

DEFINICIÓN GEOMÉTRICA SECCIÓN TIPO TÚNEL DE LÍNEA  
 PLANO N° PLOC-TUN-FUN-LN-P-009  
 HOJA: 9 de 10  
 REVISIÓN: 2





SECCIÓN TIPO CUT & COVER EN ACCESO A TALLERES

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

- NOTAS:
- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN mm.
  - LA ANCHURA DE LA PASARELA ES ORIENTATIVA, SU DIMENSIÓN FINAL DEPENDERÁ DE LA MODULACIÓN COMERCIAL Y REPLANTEO FINAL
  - PARA DETALLES DE VÍA CONSULTAR PLANOS DE SUPERESTRUCTURA

NOTA: TODAS LAS ESTACIONES, BRETLES, DIAGONALES Y DESVÍOS ESTÁN EN ZONA CON SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTIVIBRATORIA DFF/ADH



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (M): 1:50  
 FECHA: FEBRERO 2014

DEFINICIÓN GEOMÉTRICA SECCIÓN TIPO TÚNEL DE LÍNEA		HOJA: 10 de 10	REVISIÓN: 2
PLANO Nº	PLOC-TUN-FUN-LN-P-010		

002072

<b>A.6.2.</b> Nº DOCUMENTO	<b>A) DISEÑO DE INGENIERÍA</b> TIPO DE DOCUMENTO
-------------------------------	---

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

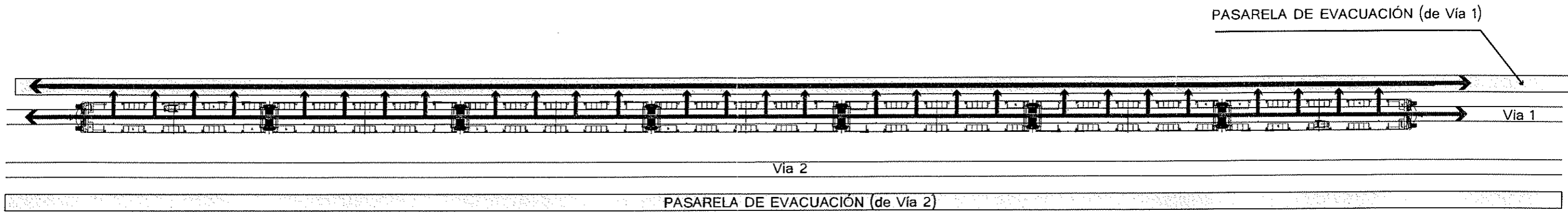
## A.6.2. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL TÚNEL

# APÉNDICE 3: ESQUEMA DE EVACUACIÓN DE EMERGENCIA

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



# GRAFICO DE EVACUACIÓN DE UN TREN EN TÚNEL EN EXPLOTACIÓN U.T.O.



- Camino de Evacuación
- ➔ Sentido de Evacuación (lo establecerá el PCO según se indica en el documento -PROCEDIMIENTO DE EVACUACIÓN DE PERSONAS EN TREN EN TUNEL- y lo comunicará a los viajeros)

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO HUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





**A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM  
en Línea Principal**

002074

A.6.3.  Nº DOCUMENTO	A) DISEÑO DE INGENIERÍA  TIPO DE DOCUMENTO
----------------------------	--

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

**A.6.3. EXCAVACIÓN MÉTODOS TBM Y NATM  
EN LÍNEA PRINCIPAL**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



**A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM  
en Línea Principal**

Índice

002075

0	CONTENIDO MÍNIMO .....	4
1	INTRODUCCIÓN .....	7
1.1	GENERALIDADES .....	7
1.2	CRITERIO DE DISEÑO .....	8
1.3	NORMATIVA Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA .....	8
2	TÚNEL EXCAVADO CON TBM .....	10
2.1	GENERALIDADES .....	10
2.2	CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD EN EL FRENTE .....	10
2.2.1	Introducción .....	10
2.2.2	Caso de EPB modificada con "slurry box" .....	11
2.2.2.1	Metodología de cálculo .....	11
2.2.2.1.1	Criterio de rotura de Horn & Terzaghi .....	11
2.2.2.1.2	Criterio de rotura de G. Anagnostou & K. Kovári (1997) .....	13
2.2.3	Caso de tuneladoras tipo EPB .....	14
2.2.3.1	Metodología de cálculo .....	15
2.2.3.1.1	Estimación S.Kanayasu, Tokio Metropolitan Subway y Yamamoto .	15
2.2.3.1.2	Criterio de rotura de G. Anagnostou y K. Kovári (1997) .....	15
2.2.4	Análisis de resultados .....	18
2.3	TRAMIFICACIÓN DE TÚNELES CON TBM. JUSTIFICACIÓN Y VENTAJAS .....	19
2.3.1	Tuneles de línea principal .....	19
2.3.2	colas de maniobra .....	20
2.4	LOGISTICA DE EXCAVACION, DESCRIPCION DE ENTRADA Y SALIDA DE TBMS 22	
2.4.1	Instalaciones específicas .....	24
2.5	CONTROL DE LA ESTABILIDAD DE LOS FRENTE DE EXCAVACIÓN CON TBM 30	
2.5.1	Parámetros para el acondicionamiento del terreno .....	30
2.6	RENDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN PARA TUNELADORAS .....	31
2.6.1	Rendimiento de producción para la tuneladora tipo EPB convencional .....	32
2.6.2	Rendimiento de producción para la tuneladora tipo EPB modificada .....	32
2.7	DIMENSIONAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE DOVELAS .....	32
2.7.1	Descripción del proceso productivo .....	33
2.7.2	Datos de producción .....	35
2.7.3	Medios para el desarrollo de la actividad .....	36
2.7.4	Productividad de la tuneladora vs producción de la planta de dovelas .....	39
3	TÚNEL EXCAVADO CON MÉTODOS CONVENCIONALES .....	41
3.1	MÉTODO CONSTRUCTIVO .....	41
3.1.1	Generalidades .....	41
3.1.2	Excavación .....	42
3.1.2.1	Introducción .....	42
3.1.2.2	Secuenciación de la excavación .....	43
3.1.2.3	Excavación mecánica .....	43
3.1.3	Ciclos de Trabajo .....	44

**A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM  
en Línea Principal**

002076

3.1.4	<i>Equipos y maquinaria a emplear</i> .....	45
3.1.4.1	<i>Generalidades</i> .....	45
3.1.4.2	<i>Equipos y maquinaria de excavación y desescombro</i> .....	45
3.1.4.3	<i>Equipos y maquinaria de colocación de revestimiento primario</i> .....	46
3.2	<b>REVESTIMIENTO PRIMARIO</b> .....	48
3.2.1	<i>Pre-dimensionamiento inicial revestimiento primario</i> .....	48
3.2.2	<i>Secciones tipo de revestimiento primario propuestas</i> .....	48
3.2.3	<i>Criterio de aplicación</i> .....	48
3.2.4	<i>Comprobaciones Numéricas</i> .....	49
3.2.5	<i>Emboquilles</i> .....	50
3.2.6	<i>Estabilidad del Frente</i> .....	50
3.2.7	<i>Tratamientos Especiales</i> .....	51
3.3	<b>IMPERMEABILIZACIÓN</b> .....	51
3.4	<b>AUSCULTACIÓN Y CONTROL</b> .....	52
3.4.1	<i>Generalidades</i> .....	52
3.4.2	<i>Control geométrico y topográfico</i> .....	52
3.4.2.1	<i>Triangulación exterior</i> .....	52
3.4.2.2	<i>Topografía interior</i> .....	53
3.4.2.3	<i>Comprobación de secciones transversales</i> .....	53
3.4.3	<i>Auscultación</i> .....	53
3.4.3.1	<i>Generalidades</i> .....	53
3.4.3.2	<i>Auscultación a lo largo del túnel</i> .....	53
3.4.3.3	<i>Auscultación en secciones de control</i> .....	54
3.4.3.4	<i>Niveles de alerta</i> .....	54
4	<b>TRANSPORTE DEL MATERIAL EXCAVADO A LOS BOTADEROS</b> .....	55
5	<b>PLAN DE CONTINGENCIAS</b> .....	57
5.1	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	57
5.2	<b>SITUACIONES DE RIESGO PREVISIBLES</b> .....	58
5.3	<b>PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES ANTE EMERGENCIAS</b> .....	58
5.4	<b>EMERGENCIA DURANTE LA EJECUCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS</b> .....	59
5.5	<b>PROCEDIMIENTOS DE ACTUACIÓN FRENTE A EMERGENCIAS</b> .....	59
5.6	<b>EQUIPAMIENTOS DE PRIMEROS AUXILIOS</b> .....	68
5.7	<b>SIMULACROS DE EMERGENCIA</b> .....	69
	<b>APÉNDICE 1. PLANOS</b> .....	70

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL 





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

#### 0 CONTENIDO MÍNIMO

002077

El contenido mínimo del Punto A.6.3 *Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal* es el siguiente:

- Justificación y ventajas del método propuesto para los diferentes tramos, de acuerdo a propuesta del Interesado Calificado:

Se desarrolla en el *Apartado 1.1 Generalidades* (páginas 7 y 8) y en el *Apartado 2.3 Tramificación de túneles con TBM. Justificación y ventajas* (páginas 19 a 22) donde se justifica que se prevé realizar la mayor parte del túnel mediante una excavación mecanizada con TBM (Tunnel Boring Machine), tanto en la L2 como en el ramal Av. Faucett-Av. Gambetta. Complementariamente se prevé la ejecución de túnel mediante medios convencionales en los siguientes tramos:

- Tramo 5 (L2): entre las estaciones Evitamiento y Mercado Santa Anita (Primera Etapa A)
- Final del Tramo 4 (L2), entre las estaciones de Nicolás Arriola y Evitamiento.
- Tramo 6 (L2): entre las estaciones Mercado Santa Anita y Municipalidad de Ate.

Y en los tramos a ejecutar con TBM, se justifica que los tramos con el nivel freático por debajo de la clave se ejecutarán con una EPB y los tramos con el nivel freático por encima de la clave se ejecutarán con una EPB modificada.

- Descripción del método de excavación propuesto en línea principal:

Se desarrolla, para los tramos en TBM, en el *Apartado 2.1 Generalidades* (página 10) y para los tramos ejecutados mediante métodos convencionales en el *Apartado 3.1.1 Generalidades* (página 41).

- Descripción y cálculos que demuestren la profundidad del túnel compatible con el perfil del diseño geométrico y verificación de asentamientos:

Se desarrolla, para los tramos en TBM, en el *Apartado 2.2.4 Análisis de resultados* (páginas 18 y 19) y para los tramos ejecutados mediante métodos convencionales en el *Apartado 3.2.4 Comprobaciones numéricas* (páginas 48 y 49), donde se confirma, para ambas tipologías que la profundidad del túnel es compatible con el perfil del diseño geométrico verificación de asientos.

- Definición de la logística de excavación, descripción de entrada y salida de TBM/NATM y el estudio de tráfico para el transporte del material excavado a los botaderos con las consideraciones técnicas en cuanto al manejo del impacto en las zonas urbanas y los accidentes:

Se desarrolla en el *Apartado 2.4 logística de excavación, descripción de entrada y salida de TBMs* (páginas 22 a 29), en el *Apartado 4 Transporte del material excavado a los botaderos* (páginas 54 a 56) y *Apartado 5. Plan de contingencias* (páginas 56 a 67). En estos apartados se desarrollan en detalle la logística, incluso se definen los caminos y horarios para realizar el transporte y por último se muestra el Plan de Contingencias que considera todas las situaciones de riesgo más probables y cómo afrontarlas.

- Para la excavación mecanizada: Cálculo para definir los parámetros y cantidades de acondicionamiento del terreno:

Se desarrolla, para los tramos en TBM, en el *Apartado 2.5.1 Parámetros para el acondicionamiento del terreno* (páginas 30 y 31) y para los tramos ejecutados mediante métodos convencionales en el *Apartado 3.2.4 Comprobaciones numéricas* (páginas 48 y 49).



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BÉAZER GARCÍA  
 REPRESENTANTE LEGAL





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002078

- Descripción del método propuesto para la construcción de las colas de maniobra:  
Se desarrolla en el *Apartado 2.3.2 Cola de maniobra* (página 20 a 22), donde se especifica que la cola de maniobras de la L2 y L4 se ejecutarán con EPB modificada, la del final de la L4 con EPB y la del final de la L2 con métodos convencionales.
- El control de la estabilidad del (de los) frente (s) de excavación:  
Se desarrolla, para los tramos en TBM, en el *Apartado 2.5 control de la estabilidad de los frentes de excavación con TBM* (páginas 30 y 31) y para los tramos ejecutados mediante métodos convencionales en el *Apartado 3.2.6 Estabilidad del Frente* (página 50).
- Rendimientos de producción TBM / NATM , producción de planta de dovelas:  
Se desarrolla, para los tramos en TBM, en el *Apartado 2.6 Rendimientos de producción para tuneladoras* (páginas 31 a 32) y para los tramos ejecutados mediante métodos convencionales en el *Apartado 3.1.1 Generalidades* (página 41). En cuanto a la producción de la planta de dovelas se desarrolla en el *Apartado 2.7.2 Datos de Producción* (página 35).
- Dimensionamiento de la planta de dovelas:  
Se desarrolla en el *Apartado 2.7 Dimensionamiento planta dovelas* (página 32 a 41)
- Productividad de la tuneladora vs la producción de la planta dovelas, garantizando la no interrupción de la excavación mecanizada:  
Se desarrolla en el *Apartado 2.7.4 Productividad de la tuneladora vs producción de la planta de dovelas* (página 39 a 41).
- Plan de monitoreo continuo de los asentamientos de las estructuras o edificaciones contiguas al (a los) frente (s) de trabajo que pudiera (n) ser afectados por las excavaciones, el avance de las Obras y/o poner en riesgo la seguridad de los trabajadores y de terceros.  
Se desarrolla en el *Apartado 3.4 Auscultación y Control* (página 51 a 54) y en los capítulos desarrollados específicamente como son el A.6.7. MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE EDIFICIOS Y SERVICIOS PÚBLICOS y el A.6.8. SISTEMA DE MONITOREO Y AUSCULTACIÓN.
- Plan de contingencias, donde entre otros, se mencione una correcta evacuación de emergencia de los trabajadores y terceros involucrados en una posible escena de accidente por colapso del frente de excavación.  
Se desarrolla en el *Apartado 5 Plan de Contingencias* (página 56 a 67), que es el elemento de gestión que define los objetivos, estrategias y programas que orientan las actividades de prevención, la reducción de riesgos, la atención de emergencias y la rehabilitación en caso de desastres; de manera que se permita reducir o minimizar los daños, víctimas y pérdidas que podrían ocurrir a consecuencia de fenómenos naturales, antrópicos o de las actividades propias de construcción potencialmente peligrosas.
- Proponer en base a su experiencia en obras similares a las del Proyecto y a igualdad de condiciones en cuanto a suelos se refiere, los parámetros o valores requeridos para el monitoreo y evaluación del comportamiento de la construcción del túnel.  
Se desarrolla en el *Apartado 3.4.3.4 Niveles de Alerta* (página 54) para el interior del túnel y en el *Punto A.6.7 Medidas de protección de edificios y servicios públicos*, concretamente en el *Apartado 6.6 Niveles de Alerta*, se definen los niveles de alerta de los movimientos detectados en el exterior del túnel, es decir, edificios y estructuras cercanas.
- Plan de control de calidad de: los materiales seleccionados, los procesos durante la ejecución de las Obras y la inclusión de la cantidad, la ubicación, análisis e



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

interpretación de los ensayos, protocolos y/o pruebas que resulten necesarias para garantizar la seguridad, la productividad de las obras y el cuidado con el medio ambiente.

002079

Se desarrolla íntegramente en el *Documento J PLAN DE CALIDAD*.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002080

#### 1 INTRODUCCIÓN

##### 1.1 GENERALIDADES

La Línea 2 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao, que conecta los distritos del Este de Lima (Ate, Santa Anita) con los del centro de Lima y Callao (eje Este-Oeste), sirve de complemento y se integra a la Línea 1 del Metro de Lima (Villa El Salvador - San Juan de Lurigancho) y Línea 1 del Metropolitano (Chorrillos - Independencia) que tiene recorridos Sur-Norte.

El Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta conecta la zona de los barrios adyacentes al Aeropuerto Internacional Jorge Chávez con el sistema masivo de transporte de la ciudad, por la Av. Elmer Faucett, desde la Av. Néstor Gambetta hasta el distrito de Bellavista en la Provincia de Callao.

Este documento presenta el diseño del túnel de línea excavado mediante métodos convencionales o mediante TBM.

De acuerdo con las especificaciones del Contrato de Concesión, se prevé realizar la mayor parte del túnel mediante una excavación mecanizada con TBM (Tunnel Boring Machine), tanto en la L2 como en el ramal Av. Faucett-Av. Gambetta. Complementariamente se prevé la ejecución de túnel mediante medios convencionales en los siguientes tramos:

- Tramo 5 (L2): entre las estaciones Evitamiento y Mercado Santa Anita (Primera Etapa A)
- Final del Tramo 4 (L2), entre las estaciones de Nicolás Arriola y Evitamiento.
- Tramo 6 (L2): entre las estaciones Mercado Santa Anita y Municipalidad de Ate.

La elección de método de excavación tradicional en el tramo comprendido entre Evitamiento y Mercado Santa Anita (Tramo 5), responde a una mejor adecuación a los plazos de obra previstos para la puesta en servicio de la Primera Etapa A y cumple con las provisiones del Contrato de Concesión. Además y de acuerdo con los datos proporcionados por Proinversión para la Ingeniería de Detalle de la Primera Etapa A.

En el tramo de túnel comprendido entre las estaciones de Nicolás Arriola y Evitamiento se ha constatado también, mediante la campaña geotécnica, la presencia del substrato rocoso entre las progresivas 18+250 y 18+630. Por la razón indicada anteriormente se propone también la excavación mediante métodos convencionales en este tramo, adyacente al tramo 5.

Por lo que respecta al tramo 6, comprendido entre las estaciones Mercado Santa Anita y Municipalidad de Ate, estaba previsto en el contrato de Concesión como tramo a ejecutar mediante TBM, a excepción del túnel terminal de Municipalidad de Ate, que se planteaba mediante métodos convencionales. Sin embargo, durante los trabajos geotécnicos complementarios realizados por la Concesionaria se han detectado afloramientos de roca localizados en la proximidad de este tramo (PK 26+330 a 26+420) y en el sondeo P-17, facilitado por Proinversión y situado en el PK 26+460, se ha encontrado roca a 25 m de profundidad. Por esta razón se propone también el empleo de excavación por métodos convencionales en esta zona.

Por tanto, los mangos de maniobra ubicados al final de la línea se ejecutarán mediante tuneladora, excepto el del final de la Línea 2 que se ejecutará mediante NATM. Para los finales de línea que se ejecutan mediante tuneladora, está prevista la ejecución de pozos de ataque (inicio L2 y L4) y un pozo de extracción (final L4).

Para la excavación de los túneles se ha realizado un detallado análisis de los condicionantes geológico-geotécnicos para elegir el tipo de TBM más adecuado y se ha contado con la participación de expertos en el manejo y mantenimiento de tuneladoras y de fabricantes

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002081

#### 1.2 CRITERIO DE DISEÑO

El diseño del túnel se ha desarrollado teniendo en cuenta las principales normativas, códigos y recomendaciones existentes, así como bibliografía técnica.

En general, las guías y recomendaciones están basadas en la identificación y análisis de aspectos clave, ordenándose por temas que representen los diferentes aspectos sucesivos del problema a analizar y cuantificar durante las diferentes fases del proyecto, es decir, diseño, licitación y construcción. El grado de detalle de cada uno de los aspectos clave depende de las particularidades del proyecto y de la etapa de diseño.

El proceso implica las siguientes fases clave:

- A. Parámetros generales de la obra subterránea.
- B. Estudio geológico-estructural.
- C. Estudios geotécnico-geomecánicos.
- D. Predicción del comportamiento mecánico del terreno.
- E. Opciones de diseño.
- F. Diseño de trabajos auxiliares y de los documentos de licitación.
- G. Instrumentación y Auscultación en fase de construcción y en fase de explotación.
- H. Seguimiento durante la fase de construcción.

#### 1.3 NORMATIVA Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA

El diseño del túnel de línea se ha realizado considerando los siguientes documentos:

- I. Especificaciones Técnicas Básicas del Contrato de Concesión del Proyecto "Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao", elaborado por Proinversión, noviembre de 2013.
- J. Estudio de Proinversión a Nivel de Factibilidad del Proyecto: "Construcción de la Línea 2 y Ramal Av. Faucett-Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao", Provincias de Lima y Callao, Región Lima, elaborado por el Consorcio GEODATA-ESAN-SERCONSULT por encargo de Proinversión, julio de 2013.

Y teniendo en cuenta la siguiente normativa y bibliografía técnica, entre otras:

- República del Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente.
- República del Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. EG-2013.
- Lambe, T.W., Whitman, R.V., (1997). Mecánica de Suelos. México.
- Peck, R.B., (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. Proceedings Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, State-of-the-Art Volume, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Mexico City, Mexico, pp. 225–290.
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.
- International Tunnelling Association (ITA), Working Group No. 2, 2000. Guidelines for the Design of Shield Tunnel Lining, Tunnelling and Underground Space Technology, 15 (3), pp. 303–331.



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

- Dr.-Ing. A. Haack (1991), "Water Leakages in Subsurface Facilities: Requirements for Watertightness, Contractual Matters, and Methods of Redevelopment. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 6, No. 3, pp. 273-282.
- ITA Working Group on General Approaches to the Design of Tunnels (1988), "Guidelines for the Design of Tunnels", Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.3, No. 3. pp. 237-249.
- EFNARC (1996), "European Specification for Sprayed Concrete", ISBN 0 9522483 1 X, Farnham, UK.
- AFTES (1997), "Grouting for rehabilitation of man-entry Underground structures", Tunnels et Ouvrages Souterrains – Hors-Serie N° 3 – 2005,
- AFTES - Working Group n.7, (1993). "Considerations on the usual methods of tunnel lining design".
- AFTES - Working Group n°18 (1998). Recommandations relatives a la conception, le dimensionnement et l'exécution des revêtements en voussoirs préfabriqués en béton armé installés à l'arrière d'un tunnelier.
- AFTES - Working Group n°7 - Temporary Supports and Permanent Lining 1988. Considerations on the usual methods of tunnel lining design. Tunnel et Ouvrages Souterrains, n°90, p.337-357.
- AFTES, (1993). Les Joints d'étanchéité entre voussoirs. Tunnels et Ouvrages Souterrains, Suppl. N°.155 pp 164-166.
- Anagnostou, G. & Kovári, K. (1996), "Face stability conditions with Earth Pressure Balanced shields", Tunnelling and Underground Space Technology, 11 (2), 165-173.
- NHI, (2009). Technical manual for Design and construction of Road Tunnels – Civil Elements. Report No. FHWA-NHI-10-034.
- FHWA, (2004). Road Tunnel Design Guidelines. Report No. FHWA-IF-05-023.
- US Army Corps of Engineers, 1997. Tunnel and Shafts in Rock. Manual No. 1110-2-2901.
- Carranza-Torres, C. & Fairhurst, C. (2000). Application of convergence-confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. Tunnel. Underground Space Technol; 15: 187-213.
- Terzaghi, K. (1946). Rock defects and load on tunnel supports. In: Proctor, R.V., White, T.C. (Eds.). Introduction to Rock Tunnelling with Steel Support. Youngstava, OH, USA.
- Wittke, W. (2007). Stability analysis and design for mechanized tunneling. Edited by WBI. Aachen. Germany. 581p.
- Wang, J.N. (1993). Seismic Design of Tunnels, Professional Associate Parsons Brinckeroff Quade & Douglas, Inc., Chapter 2-3-4.
- Bobet, A. (2003). Effect of pore water pressure on tunnel support during static and seismic loading. Tunnelling and Underground Space Technology Volume 18, Issue 4, August 2003, Pages 377–393.
- Pescara, M., Gaspari, G.M. & Repetto, L. (2011). Design of underground structures under seismic conditions: a long deep tunnel and a metro tunnel. ETH Zurich – 15 dec. 2011 Colloquium on seismic design of tunnels.

  
 CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

- Dr.-Ing. A. Haack (1991), "Water Leakages in Subsurface Facilities: Required Watertightness, Contractual Matters, and Methods of Redevelopment. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 6, No. 3, pp. 273-282.
- ITA Working Group on General Approaches to the Design of Tunnels (1988), "Guidelines for the Design of Tunnels", Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.3 , No. 3. pp. 237-249.
- EFNARC (1996), "European Specification for Sprayed Concrete", ISBN 0 9522483 1 X, Farnham, UK.
- AFTES (1997), "Grouting for rehabilitation of man-entry Underground structures", Tunnels et Ouvrages Souterrains – Hors-Serie N° 3 – 2005,
- AFTES - Working Group n.7, (1993). "Considerations on the usual methods of tunnel lining design".
- AFTES - Working Group n°18 (1998). Recommandations relatives a la conception, le dimensionnement et l'exécution des revêtements en voussoirs préfabriqués en béton armé installés à l'arrière d'un tunnelier.
- AFTES - Working Group n°7 - Temporary Supports and Permanent Lining 1988. Considerations on the usual methods of tunnel lining design. Tunnel et Ouvrages Souterrains, n°90, p.337-357.
- AFTES, (1993). Les Joints d'étanchéité entre voussoirs. Tunnels et Ouvrages Souterrains, Suppl. N°.155 pp 164-166.
- Anagnostou, G. & Kovári, K. (1996), "Face stability conditions with Earth Pressure Balanced shields", Tunnelling and Underground Space Technology, 11 (2), 165-173.
- NHI, (2009). Technical manual for Design and construction of Road Tunnels – Civil Elements. Report No. FHWA-NHI-10-034.
- FHWA, (2004). Road Tunnel Design Guidelines. Report No. FHWA-IF-05-023.
- US Army Corps of Engineers, 1997. Tunnel and Shafts in Rock. Manual No. 1110-2-2901.
- Carranza-Torres, C. & Fairhurst, C. (2000). Application of convergence-confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. Tunnel. Underground Space Technol; 15: 187-213.
- Terzaghi, K. (1946). Rock defects and load on tunnel supports. In: Proctor, R.V., White, T.C. (Eds.). Introduction to Rock Tunnelling with Steel Support. Youngstava, OH, USA.
- Wittke, W. (2007). Stability analysis and design for mechanized tunneling. Edited by WBI. Aachen. Germany. 581p.
- Wang, J.N. (1993). Seismic Design of Tunnels, Professional Associate Parsons Brinckeroff Quade & Douglas, Inc., Chapter 2-3-4.
- Bobet, A. (2003). Effect of pore water pressure on tunnel support during static and seismic loading. Tunnelling and Underground Space Technology Volume 18, Issue 4, August 2003, Pages 377–393.
- Pescara, M., Gaspari, G.M. & Repetto, L. (2011). Design of underground structures under seismic conditions: a long deep tunnel and a metro tunnel. ETH Zurich – 15 dec. 2011 Colloquium on seismic design of tunnels.



## A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

### 2 TÚNEL EXCAVADO CON TBM

002084

#### 2.1 GENERALIDADES

La excavación mediante tuneladora presenta una serie de ventajas respecto a los métodos convencionales en tanto en cuanto permite la construcción del túnel con unos rendimientos adecuados y manteniendo la estabilidad general del entorno.

Al excavar con una tuneladora en un entorno urbano, la principal preocupación es reducir, tanto como sea posible, la pérdida de volumen de terreno, de modo que los asentamientos que se puedan producir se mantengan dentro de unos límites aceptables. Para ello es fundamental operar la máquina de acuerdo a un plan de avance con valores de referencia y rangos de operación de los siguientes parámetros básicos:

- Presión de sostenimiento del frente.
- Densidad del material en la cámara/ volumen y presión de los lodos bentoníticos.
- Peso del material que se debe extraer en el avance de cada anillo.
- Presión y volumen en la inyección de mortero para el relleno del "gap".

Teniendo en cuenta que la profundidad máxima por la que discurre el trazado no supera los 29 m sobre clave respecto al terreno natural, tanto en el tramo previsto a ejecutar con TBM como el previsto con NATM y que el trazado próximo a la costa (Línea 4, excepto el final y tramo inicial de la Línea 2); previsto excavar con TBM, el nivel del agua está por encima de la clave del túnel, siendo la columna máxima de agua del orden de los 15 m.

Se ha estimado un rendimiento medio de excavación de 11,5 m/día para la tuneladora EPB convencional y 13,5 m/día para la tuneladora tipo EPB modificada con circuito de lodos, en función de la presencia o no de agua y otros condicionantes, estimando que un 45% de total del tiempo la máquinas estarán excavando y el 55% del tiempo restante se empleará en labores de mantenimiento, reparaciones, etc.

En este Punto A.6.3, se aborda el aspecto de la estabilidad del frente.

En el Punto A.6.5 Selección TBM se realiza una exposición de los criterios geotécnicos para la selección del tipo de tuneladora más adecuado, las condiciones hidrogeológicas del tramo en estudio y las recomendaciones correspondientes.

#### 2.2 CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD EN EL FRENTE

##### 2.2.1 Introducción

La construcción de los túneles de las Líneas 2 y 4 del Metro de Lima está prevista mediante dos procedimientos constructivos: método secuencial y mediante el empleo de dos tuneladoras, cuya tipología se engloba dentro de dos tipos de escudos, los tipo EPBS (Earth Pressure Balanced Shield) y los hidroescudos con presión de lodos (Bentonite Slurry Shields). El manejo de este tipo de tuneladoras es complejo ya que, al contrarrestar la presión exterior mediante la que se ejerce en la cámara, es importante estudiar con precisión el valor de dicha presión (ya que, como se verá, tanto un exceso como un defecto de ésta pueden tener un efecto desestabilizador) en función de las características de los materiales existentes.

La presurización del frente es necesaria en terrenos inestables y/o situados bajo el nivel freático, siendo sus objetivos principales el sostener el frente y minimizar las deformaciones en superficie. Para ello es necesario, en ocasiones, sostener suelos blandos y no (o muy poco) cohesivos desde el momento en que se excavan hasta que se instala el revestimiento

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

final. Si existe, como es el caso, nivel freático, es, además, necesario impedir un flujo hacia el túnel ya que, no solamente tendría un efecto erosivo en el frente, sino que también produciría asentamientos en el entorno, al rebajar el nivel freático. Por ello, y salvo casos particulares, la presión de trabajo debe de ser, como mínimo, igual a la carga de agua.

En este documento se desarrollan las metodologías empleadas y los resultados obtenidos al analizar la presión requerida en el frente de la tuneladora de cara a garantizar la estabilidad del mismo. Se han analizado las situaciones más críticas tanto para la Línea 2 como para la Línea 4, empleándose dos métodos para cada una de ellas en base al tipo de máquina tuneladora que se utilice:

- Horn & Terzaghi y G. Anagnostou & K. Kovari para el caso de hidroescudo con presión de lodos.
- S.Kanayasu y G. Anagnostou & K. Kovari para el caso de máquina tipo EPB.

#### 2.2.2 Caso de EPB modificada con "slurry box".

En este apartado se explica la metodología empleada para la estimación de la presión necesaria en el frente para el caso de que emplean lodos bentoníticos o espumas. La TBM tipo EPB modificada con "slurry box" es el tipo de máquina escudada con aplicación de presión en el frente con el control en la aplicación de dicha presión más preciso.

Este tipo de máquina se suele emplear cuando se perfora en suelos inestables por debajo del nivel freático y hay unos condicionantes importantes en cuanto a control de asentamientos en superficie, como puede ser nuestro caso, al realizarse las excavaciones en un medio urbano.

La excavación en modo EPB modificada con "slurry box" consiste en rellenar la cámara de amasado con una mezcla formada por el terreno excavado y lodo bentonítico o espumas hasta alcanzar la presión de trabajo. Durante el ciclo de excavación, si se trabaja con lodos bentoníticos la presión de la mezcla en la cámara de amasado se regula mediante una burbuja de aire comprimido generada en la parte superior de dicha cámara y que actúa a modo de colchón sobre la mezcla, controlando la presión de aire comprimido inyectado. Las suspensiones de bentonita se preparan normalmente con una dispersión del 4 al 7% de bentonita en agua.

El material excavado es mezclado con la suspensión y expulsado fuera del circuito a través del circuito de lodos.

Las fluctuaciones de volumen en el circuito de lodos son de este modo fácilmente compensadas sin cambios significativos en la presión del frente. Esta presión en el frente del túnel tiene que contrarrestar la presión de tierras y la presión de agua del frente.

#### 2.2.2.1 Metodología de cálculo

##### 2.2.2.1.1 CRITERIO DE ROTURA DE HORN & TERZAGHI

Para los cálculos de presiones en el frente hay que considerar dos criterios de estado límite, los cuales representan una cota superior e inferior, definiendo de este modo el rango de aplicación de la presión durante la ejecución del túnel, utilizándose una comprendida en este rango, dependiendo del nivel de asentamientos que se quiera asumir.

Aunque, en teoría, es posible trabajar dentro del rango definido por estos valores máximos y mínimos, es evidente que el valor máximo producirá menores asentamientos pero mayor desgaste de la máquina y una severa caída de rendimientos, por lo que deben de tenerse en cuenta ambos factores a la hora de tomar una elección. Así, si no existen en superficie edificaciones, es evidente que se tendrá interés en trabajar con la mínima presión posible.

Si el lugar donde tienen lugar las obras es un medio urbano con especial susceptibilidad al desarrollo de asentamientos, como es nuestro caso, la presión aplicada debería mantenerse por encima del valor medio de este rango, ya que durante las obras se pueden producir variaciones en la presión aplicada en el orden de +0,2 bar, debido a variaciones en la



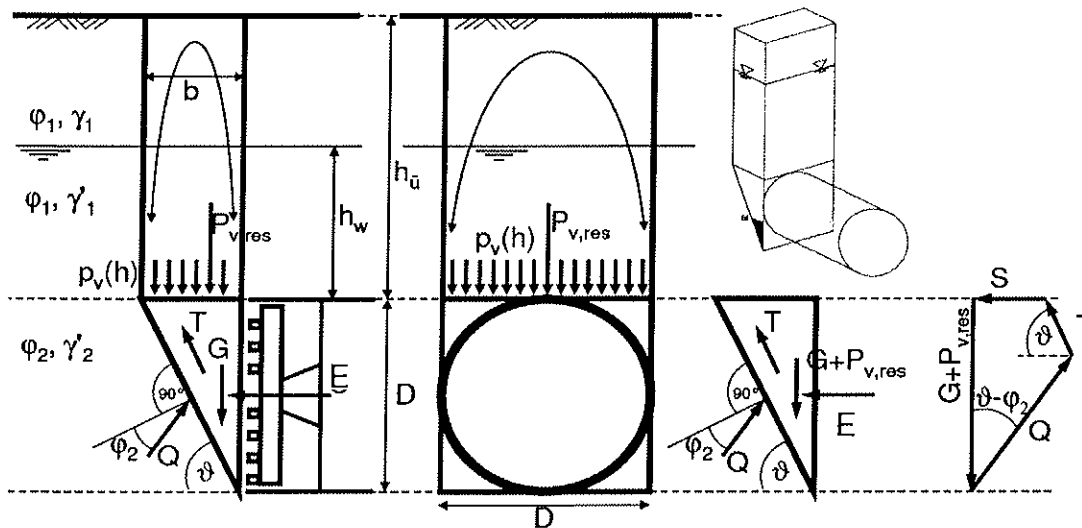


### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

bentonita o espumas de la cámara de trabajo, fallos humanos y regulación del sistema de control de la presión de aire.

El límite superior, que representa la máxima presión aplicable, se calcula de cara a tener un cierto margen de seguridad frente a la rotura del terreno que pudiera ocasionar una pérdida de presión del fluido a la superficie y una pérdida de la capacidad del sostenimiento, fenómeno que se conoce como "blow up".

El límite inferior, que representa la mínima presión aplicable para evitar inestabilidades en el frente se calcula mediante el método cinemático de Horn en combinación con la teoría de Terzaghi, la cual sirve para determinar la carga que llega a la cuña que desliza enfrente de la máquina. La siguiente **Figura 3** refleja los elementos más importantes de este modelo de presión en el frente.



**Figura 1:** Modelo aplicado para la estimación de la presión necesaria en el frente.

Este método asume que la cuña existente en el frente del túnel desliza a través de un plano inclinado (un ángulo  $\theta$ ) conduciendo a un estado límite activo. La base de este método es el criterio de rotura de Mohr Coulomb, el cual describe el estado límite cuando el plano de rotura empieza a desarrollarse. Las fuerzas tangenciales de contacto con el terreno en los laterales de la cuña ( $T$ ) se oponen al movimiento de la cuña y por tanto ayudan a reducir la presión necesaria en el frente del túnel.

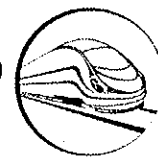
De acuerdo con Terzaghi, las tensiones verticales efectivas,  $p_v(h)$ , debidas a las cargas en superficie y a la carga del terreno por encima de la clave deben reducirse cuando la cobertera sobre clave supere el doble del diámetro de excavación, es decir, cuando  $h_u > 2xD$ . Esto se fundamenta en la hipótesis de que en el caso de una altura de terreno considerable, el efecto arco se desarrollará por encima de la clave del túnel, reduciendo por tanto la carga transmitida a la cuña.

Para encontrar la máxima presión necesaria en el frente, el ángulo de deslizamiento de la cuña se deberá ir variando en un proceso iterativo de sucesivos cálculos. De las ecuaciones resultantes de la condición de equilibrio de la cuña se puede calcular el empuje de tierras ( $E$ ).

La estabilidad global del frente se verificará cuando la suma de las cargas debidas al empuje de tierras ( $E$ ) y a la presión de agua ( $W$ ) individualmente multiplicadas por sus respectivos factores de seguridad parciales sea menor que la presión aplicada en el frente.

$$S_{total} = (\eta_e \cdot E + \eta_w \cdot W)$$

Durante las labores de ejecución del túnel, no se monitoriza la presión en el frente de la máquina a partir de la fuerza total a aplicar sino a partir de la presión existente en la clave del



**A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

frente del mismo, donde normalmente se suele instalar un sensor de presión. El valor a controlar de la presión en la clave viene definido por:

$$s_{crown} = \frac{S_{total}}{\pi \cdot D^2/4} - \gamma_b \cdot \frac{D}{2} ;$$

donde  $\gamma_b$  es la densidad de la suspensión de bentonita.

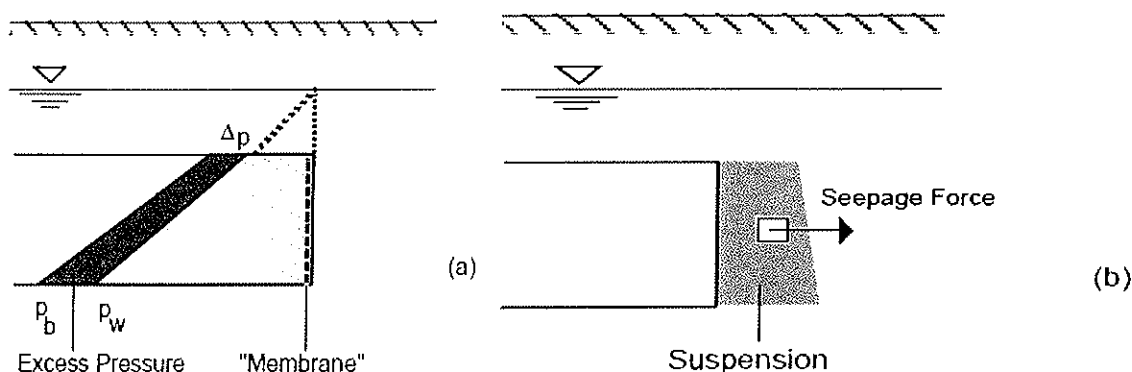
El límite superior en la presión se calcula por medio de la seguridad requerida frente a la rotura del terreno situado por delante del escudo, fenómeno que se conoce como "blow up". Esta simple comprobación se hace en base al factor de seguridad requerido en el equilibrio entre la tensión total existente en la clave del túnel frente a esta presión límite.

$$\eta_b \geq \frac{\sigma_z + w}{P_{max, slurry}}, \text{ with } \eta_b \geq 1,1 \text{ to } 1,2$$

**2.2.2.1.2 CRITERIO DE ROTURA DE G. ANAGNOSTOU & K. KOVÁRI (1997)**

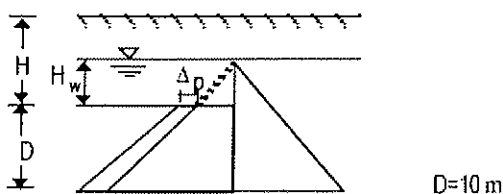
Para prevenir el flujo hacia la excavación, la presión del lodo bentonítico  $p_b$  debe superar ( $\Delta p$ ) la presión o carga de agua en el terreno  $p_w$ . La (sobre) presión en la cámara no será constante sino que variará desde un mínimo en clave hasta un valor máximo en la base de la cámara de excavación dado que la densidad del lodo es superior a la del agua.

Como es sabido, la capacidad de estabilización del lodo dependerá del grado de penetración en el terreno, resultando máximo cuando esta penetración es mínima. En el caso de que esta penetración sea mínima el lodo aplicará en el frente una presión que seguirá prácticamente una ley hidrostática, favorecida por la formación de una membrana impermeable en el frente.



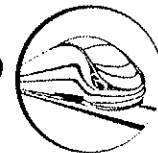
**Figura 2:** Efecto estabilizados del lodo para los casos de no penetración (a) en el terreno y con penetración (b) en el terreno (Agnanostou&Kovari, 1997).

Para el caso de comportamiento del frente tipo 'membrana', los autores llevaron a cabo diversas modelizaciones, considerando distintos tipos de terreno, cargas de agua y monteras. Los resultados de estos cálculos se muestran en la **Figura 10**.



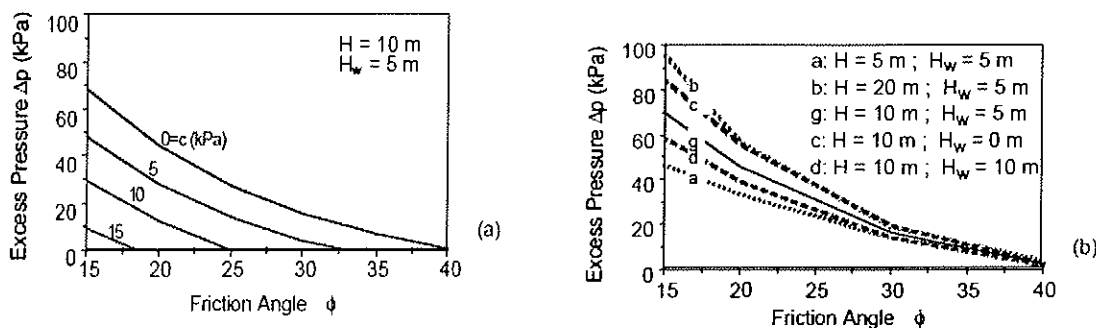
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002088



**Figura 10:** Condiciones de equilibrio límite (FS=1) para el modelo ‘membrana’ (Agnanostou&Kovari, 1997).

De las comprobaciones de estos autores puede deducirse que para un material granular suficientemente denso, sin cohesión, con una permeabilidad o granulometría que permitiera la formación de un cake con penetración mínima en el frente, la presión requerida en la cámara para garantizar un factor de seguridad de uno (FS=1) bastaría con que fuera la hidrostática más una sobrepresión de, aproximadamente, 20 kPa; con independencia de la montera existente sobre el túnel.

Es decir, bastaría con  $p_b = p_w + 20 \text{ kPa}$

Por otro lado, los mismos autores estudiaron la influencia de la caída de la efectividad de la presión aplicada en el frente por la penetración del lodo bentonítico.

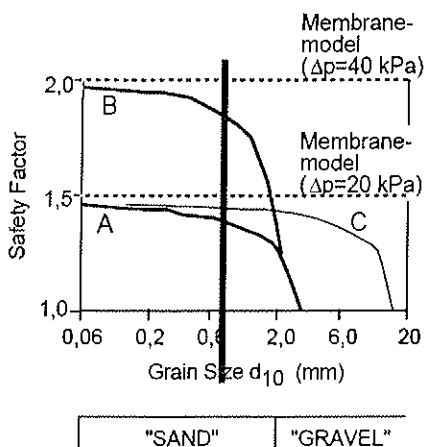
Tal y como se demuestra con la **Figura 11**, las condiciones tipo ‘membrana’ pueden quedar aseguradas para valores de  $d_{10}$  inferiores a 0,6 mm; lo cual a priori se garantizaría en la grava de lima.

#### 2.2.3 Caso de tuneladoras tipo EPB.

Una estimación de los límites de las presiones del sostenimiento puede deducirse a partir de experiencias reales. Los valores así obtenidos no dan exactamente los valores máximos y mínimos de las presiones de sostenimiento pero sí pueden proporcionar una presión de trabajo razonable.

Hay que tener en cuenta también que existe una tendencia a trabajar con una presión lo más baja posible con objeto de minimizar la fricción y el desgaste de las herramientas, así como de aumentar la velocidad de excavación. Por este motivo, se tiende a dar valores próximos de los mínimos, aun siendo conscientes de que esta práctica lleva aparejada una mayor producción de asientos y un incremento del riesgo de colapso. Un valor muy utilizado es:

$$P'_{\min} \text{ (KPa) } = K_a * p'_v + p_w + 20 ;$$



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO LILIAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

**Figura 11:** Variación del factor de seguridad en función del tamaño d10 ( $\alpha = 37.5^\circ$ ; Curva A:  $\sigma_p = 20$  kPa, 4% bentonita; Curva B:  $\sigma_p = 40$  kPa, 4% bentonita; Curva C:  $\sigma_p = 20$  kPa, 7% bentonita). En rojo d10 de la grava de Lima. 002089

donde:

$K_a$ : coeficiente de empuje activo.

$p'_v$ : presión efectiva vertical

$p_w$ : presión intersticial, debida a la carga de agua

#### 2.2.3.1 Metodología de cálculo

##### 2.2.3.1.1 ESTIMACIÓN S.KANAYASU, TOKIO METROPOLITAN SUBWAY Y YAMAMOTO

Este método de estimación fue presentado en el Symposium "Underground Construction in Soft Ground" celebrado en New Delhi en enero de 1994. El autor indica que, en general, la presión ideal en el frente del túnel es la que no afecta el estado tensional del terreno, es decir, en teoría esta presión ideal debería ser muy próxima a la del estado tensional del terreno en reposo (incluyendo, naturalmente, la presión debida al agua). Los métodos prácticos o empíricos más utilizados en Japón, según el autor, estiman la presión de trabajo de la tuneladora de acuerdo con las recomendaciones siguientes:

A. Para el caso de suelos cohesivos

La presión de trabajo en el frente ( $P_T$ ) debe ser mayor que la correspondiente al empuje activo ( $P_a$ ) más la presión intersticial ( $P_w$ ) y menor que la correspondiente al empuje al reposo ( $P_0$ ) más la presión intersticial.

$$P_a + P_w \leq P_T \leq P_0 + P_w$$

B. Para el caso de suelos no cohesivos

La presión de trabajo en el frente ( $P_T$ ) debe ser mayor que la correspondiente al empuje activo ( $P_a$ ) más la presión intersticial ( $P_w$ ). El material presente en el frente de excavación para el caso del Metro de Lima se correspondería con esta formulación.

$$P_a + P_w \leq P_T$$

De aquí parece deducirse que el valor de la presión de trabajo debe de estar comprendida entre la presión horizontal al nivel del eje utilizando el empuje al reposo (límite máximo) y la misma magnitud utilizando el empuje activo (límite mínimo).

##### 2.2.3.1.2 CRITERIO DE ROTURA DE G. ANAGNOSTOU Y K. KOVÁRI (1997)

Anagnostou y Kovári (1997), basándose en los modelos de equilibrio límite, desarrollaron modelos computacionales que proporcionan un marco útil para cuantificar los mecanismos de colapso del frente del túnel en suelos no cohesivos situados bajo el nivel freático. Simplificadamente, este método considera que la superficie de rotura corresponde a una cuña inferior de altura el diámetro del túnel y desde la clave del túnel a la superficie se supone un prisma de colapso vertical, tal y como se recoge en la **Figura 12**, mostrada a continuación.

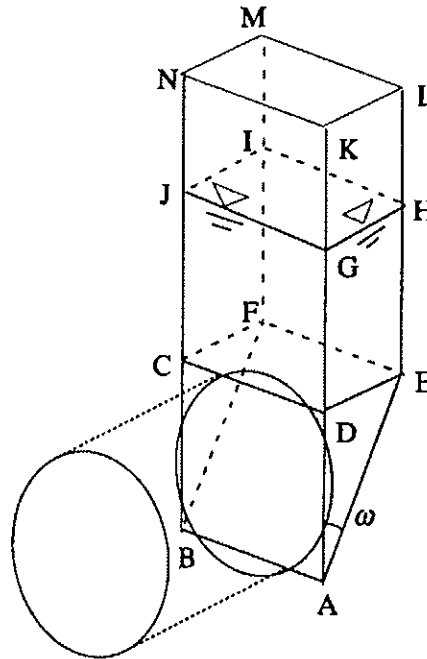
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





**A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

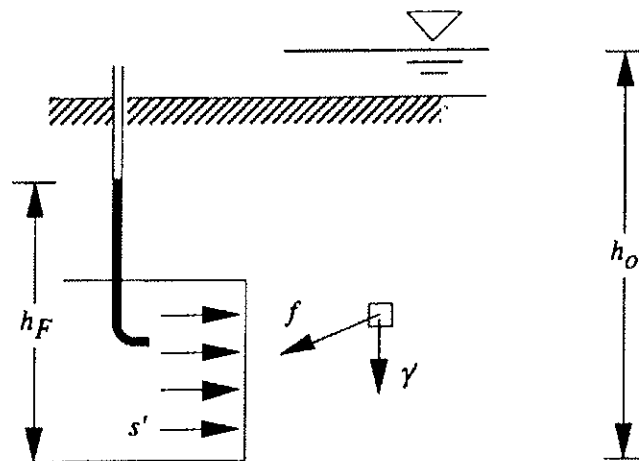
002090



**Figura 12:** Esquema de colapso de Anagnostou y Kovári (tomado de Horn, 1961)

Anagnostou y Kovári establecieron el equilibrio límite entre las diferentes fuerzas aplicadas, para distintas inclinaciones de la cara de la cuña con el plano vertical ( $\omega$ ). De este modo se obtiene el ángulo crítico de la cuña de rotura, determinado iterativamente, a base de maximizar la presión en el frente o reduciendo el coeficiente de seguridad.

Si la carga piezométrica en el interior de la cámara ( $h_F$ ) es inferior a la carga piezométrica del terreno ( $h_0$ ), las fuerzas de filtración ( $f$ ) actuarán contra el túnel y pondrán en peligro la estabilidad del frente, según se puede ver en la **Figura 13**.



**Figura 13:** Esquema de esfuerzos en el frente de excavación.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

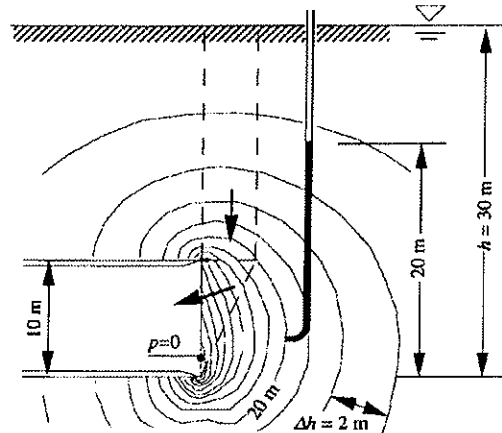


Para determinar estas fuerzas de filtración ( $f$ ) se requiere un análisis numérico de flujo tridimensional. Los autores obtuvieron resultados como el mostrado en la **Figura 14**, proporcionando las isólinas piezométricas en un plano de simetría. La densidad creciente de las líneas potenciales en las cercanías del frente indica un incremento de las fuerzas de filtración.



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002091



**Figura 14:** Cálculo de flujo en las proximidades del frente del túnel (Anagnostou y Kovári, 1997).

Tras el análisis de equilibrio límite aplicado a la superficie de colapso propuesta, Anagnostou y Kovári propusieron la siguiente expresión para el cálculo de la presión efectiva necesaria en la cámara para equilibrar el frente del túnel ( $s'$ ):

$$s' = F_0 \cdot \gamma' \cdot D - F_1 \cdot c + F_2 \cdot \gamma' \cdot \Delta h - F_3 \cdot c \cdot \frac{\Delta h}{D}$$

Donde,

$\gamma'$ : densidad sumergida del terreno

D: diámetro del túnel

c: cohesión

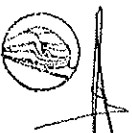
$\phi$ : ángulo de rozamiento interno del terreno

$\Delta h$ : diferencia entre la altura del nivel freático entre el frente del túnel ( $h_0$ ) y la altura piezométrica en la cámara ( $h_F$ ), de acuerdo con la Figura 50.

$F_0, F_1, F_2, F_3$ : coeficientes adimensionales que se obtienen a partir de los ábacos aportados por los autores tras un estudio paramétrico realizado por los mismos que se muestran en la Figura 15.

A las presiones efectivas que se deducen de la formulación anterior deben añadirse las presiones hidrostáticas del agua en el interior de la cámara, obteniendo de este modo la presión en el frente. Para la determinación de la presión en el frente, se han considerado distintas hipótesis de altura piezométrica en el interior de la cámara.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





**A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

002092

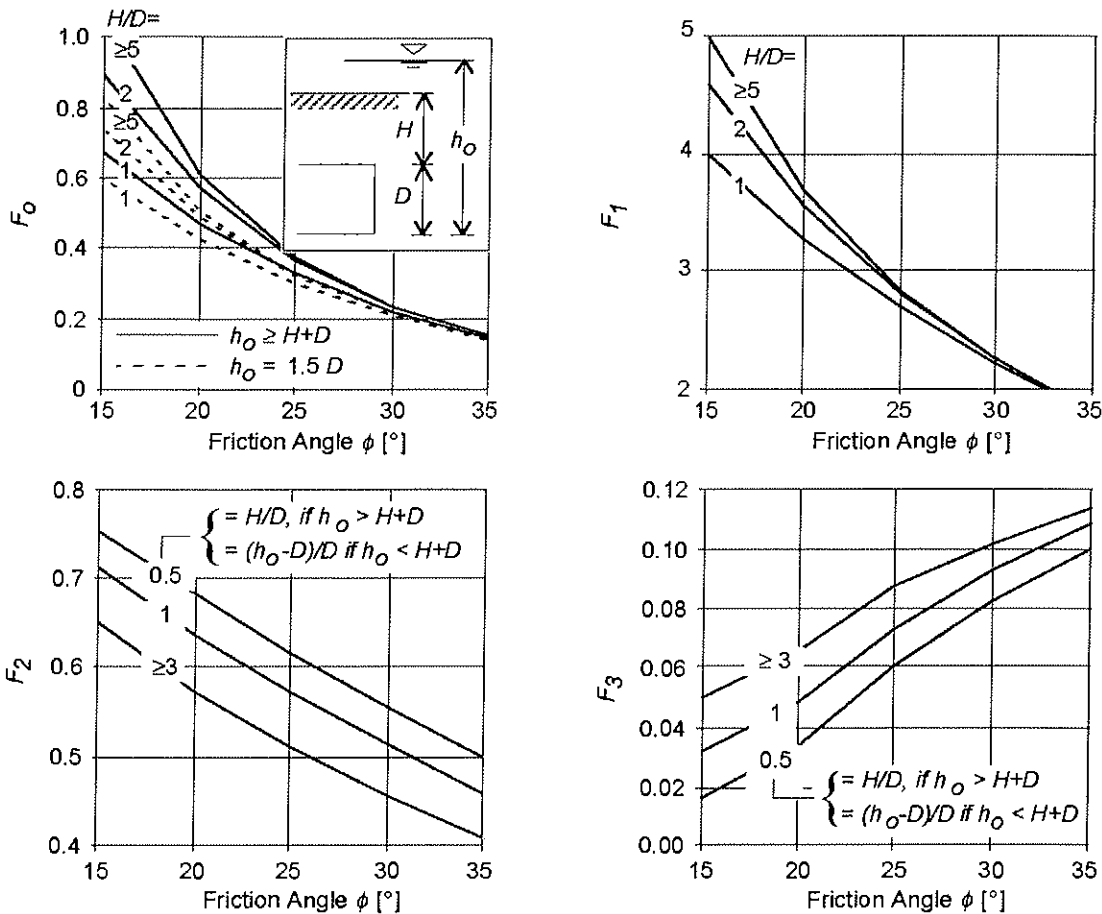


Figura 15: Ábacos para la estimación de los coeficientes F0, F1, F2 y F3.

**2.2.4 Análisis de resultados**

Seguidamente, se presenta en la **Tabla 3**, la totalidad de los resultados obtenidos para las distintas secciones de cálculo analizadas y en base a las distintas metodologías propuestas en los puntos anteriores.

Como conclusión se recomienda la aplicación de una presión máxima en CLAVE de 2,5 bares para el caso de la Línea 4 y de 1,5 bares para el caso de la Línea 2.

P.K. de estudio	Material presente en el frente de excavación	Cobertera respecto a rasante (m)	Presión en la CLAVE (KPa)					
			Línea 2	Hidroescudo con presión de lodos		Tuneladora EPB		
				Altura de la lámina de agua respecto a rasante (m)	Método de cálculo de Horn & Terzaghi	Método de cálculo de G. Anagnostou & K. Kovári	$K_a \cdot p'_v + p_w + 20$	Método de S.Kanayasu
0+450	GPS-s/GPS-f	18,19	16,09	150	110	145	125	70
2+100	GPS-f	19,83	12,61	135	75	126	106	55
6+150	GPS-f	25,33	0	-	-	111	91	40
12+575	GPS-f	27,05	0	-	-	120	100	40

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BARRABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002093

P.K. de estudio	Presión en la CLAVE (KPa)							
	Línea 4			Hidroescudo con presión de lodos		Tuneladora EPB		
	Material presente en el frente de excavación	Cobertera respecto a rasante (m)	Altura de la lámina de agua respecto a rasante (m)	Método de cálculo de Horn & Terzaghi	Método de cálculo de G. Anagnostou & K. Kovári	$K_a \cdot p'_v + p_w + 20$	Método de S. Kanayasu	Método de cálculo de G. Anagnostou & K. Kovári
7+350	GPS-f	41,96	29,25	380	241	365	345	190

Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos para las distintas metodologías aplicadas

## 2.3 TRAMIFICACIÓN DE TÚNELES CON TBM. JUSTIFICACIÓN Y VENTAJAS

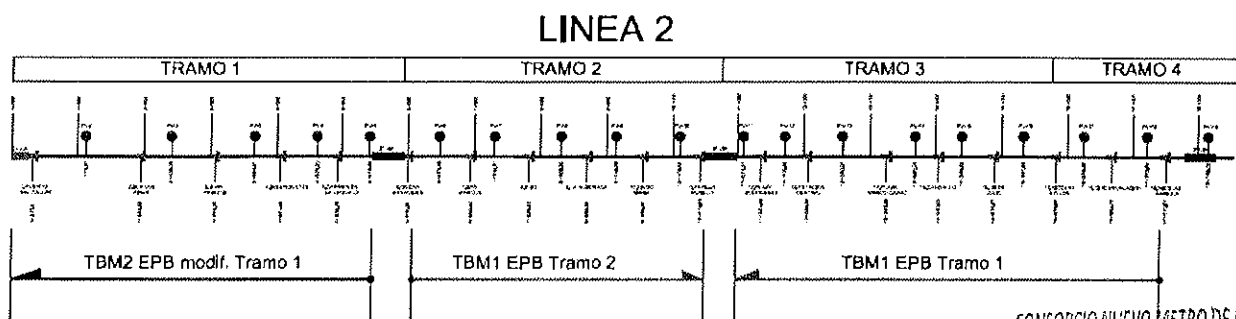
### 2.3.1 Tuneles de línea principal

#### Línea 2.

Tramo Nicolás Arriola – 3ª vía de P. Murillo ejecutado con TBM tipo EPB: El túnel a ejecutar entre la estación de Nicolás Arriola y la 3ª vía junto a Parque Murillo consta de 5.370 metros de excavación y 1.082 metros de tránsito en vacío. No se ha detectado afección freática en todo el trazado. La traza del túnel discurre dentro del estrato más firme de las gravas (identificado por los ensayos de sismica de refacción).

Tramo Oscar Benavides – Estación P. Murillo ejecutado con TBM tipo EPB: El túnel a ejecutar entre las estaciones de Oscar Benavides y Parque Murillo consta de 3.635 metros de excavación y 616 metros de tránsito en vacío. No se ha detectado afección freática en todo el trazado. La traza del túnel discurre dentro del estrato más firme de las gravas salvo los últimos 400 metros de túnel que requerirán una mayor presión para sostenimiento en previsión de una grava más alterada.

Tramo Oscar Benavides – Cola de maniobras Pto del Callao ejecutado con TBM tipo EPB modificada: El túnel a ejecutar entre las estaciones de Oscar Benavides y el pozo de extracción previsto al final de la cola de maniobras (inicio del tramo de la línea 2) consta de 4.542 metros de excavación y 769 metros de tránsito en vacío. Este tramo combina las condiciones geológicas más exigentes del trazado en cuanto a excavación de túnel. El nivel freático es relevante a cota de excavación a partir de la estación Carmen de la Legua, llegando a ser casi superficial en la zona final del tramo. Esto permite ir acomodando los parámetros de trabajo de la TBM de menor a mayor carga freática. Además en ese tramo se han detectado sobre la cota de excavación la presencia de niveles arenosos que pueden requerir mayor control en la estabilidad del frente.



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASADE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

#### Línea 4.

Tramo cola de maniobras Gambetta – El Quilca ejecutado con TBM tipo EPB modificada: El túnel a ejecutar entre el pozo de ataque ubicado en el inicio del tramo y la estación El Quilca

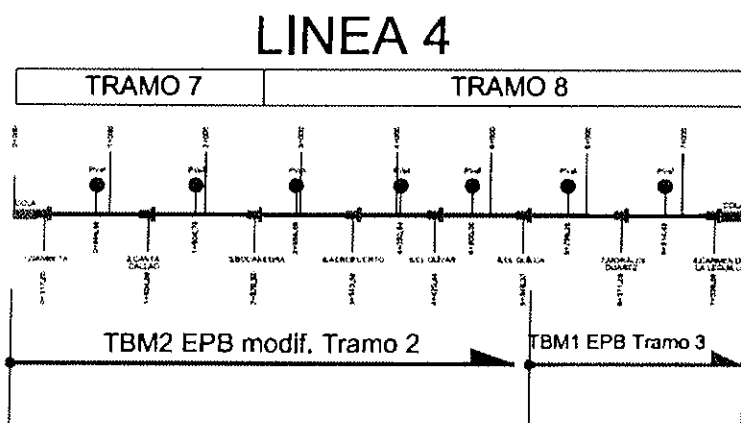




### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

consta de 3.977 metros de excavación y 1.054 metros de tránsito en vacío. La totalidad de este tramo se excava bajo el nivel freático y con el frente de excavación a altura del contacto de cambio de densidad en el conglomerado de gravas. La ejecución de este tramo se plantea con la EPB modificada, una vez terminado el túnel de la línea 2 entre Oscar Benavides y Puerto El Callao. Los cinco pozos de ventilación de este tramo se proyectan "cenitales" para poder realizar las revisiones de la rueda de corte en un recinto estanco.

Tramo El Quilca – Cola de maniobras Carmen de la Legua ejecutado con TBM tipo EPB: El túnel a ejecutar entre la estación de El Quilca y el final de la cola de maniobras prevista en Carmen de la Legua consta de 1.885 metros de excavación y 299 metros de tránsito en vacío. En esta parte del trazado la cota superior del nivel freático oscila alrededor de la cota de túnel. Toda la sección de túnel se encuentra dentro del estrato de gravas firmes. Se propone la excavación de este tramo con la EPB convencional, ya que las presiones de agua previstas y la naturaleza del frente están en el rango de trabajo de esta tuneladora. Con esta división de la línea 4 en dos tramos de túnel se pretende mejorar la planificación de los trabajos a ejecutar en esa línea. Una vez acabada la excavación del tramo entre Gambetta y El Quilca, se pueden llevar a cabo en ese tramo la terminación de las estaciones y toda la infraestructura de túnel mientras que se sigue excavando el túnel entre El Quilca y Carmen de la Legua.



### 2.3.2 colas de maniobra

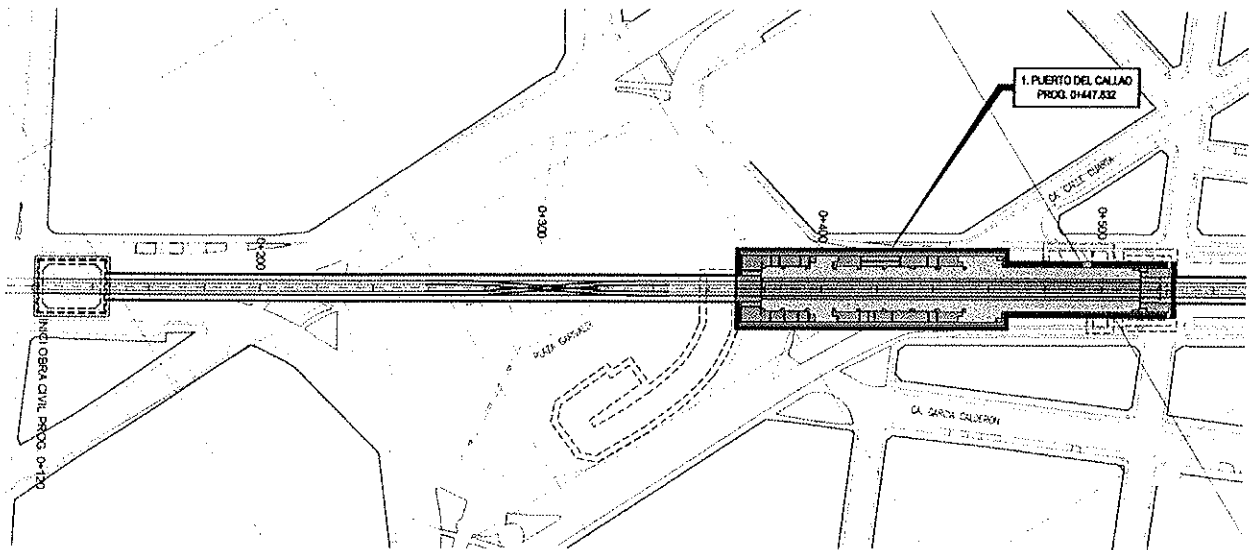
Las colas de maniobra contempladas en el Estudio de factibilidad se integran según la metodología elegida para los túneles de línea contiguos.

La cola de maniobras prevista al inicio de la línea 2 junto a la estación de Puerto del callao se ejecutará con la tuneladora tipo EPB modificada que inicia la excavación en el pozo de ataque de Oscar Benavides. El pozo de extracción se prevé al final de la cola de maniobras.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

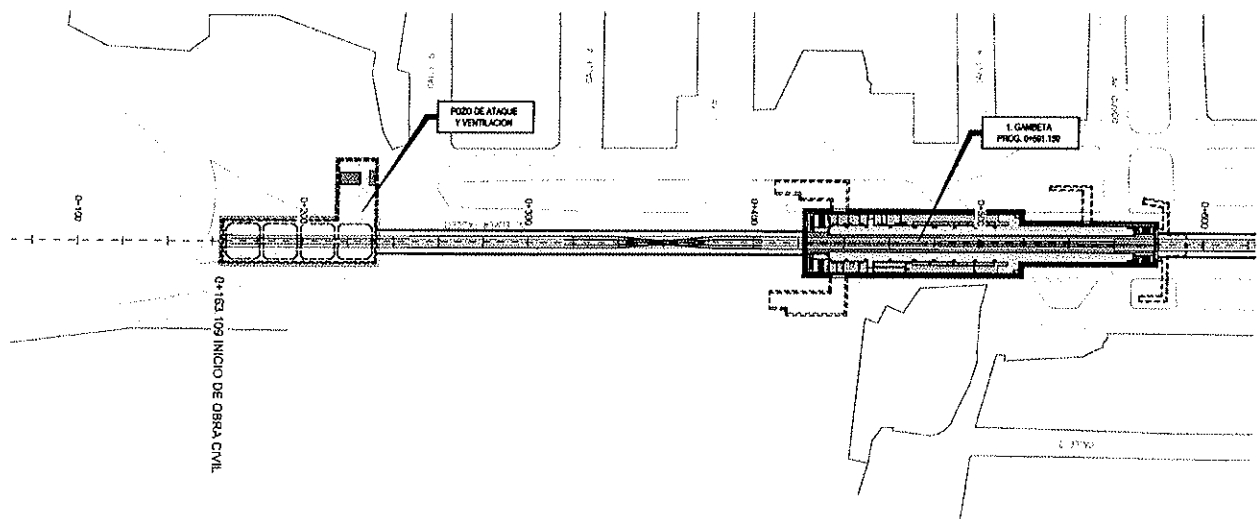


### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Cola de maniobras Inicio línea 2 con pozo extracción TBM

Para la cola de maniobras prevista en el inicio de la línea 4, junto a la estación de Gambetta, su ejecución también se realiza con la EPB modificada. El pozo de ataque se ubica en el extremo de la cola de maniobras, integrando dicho tramo en el túnel a ejecutar con TBM hasta El Quilca.



Cola de maniobras inicio Linea 4 con pozo de ataque TBM

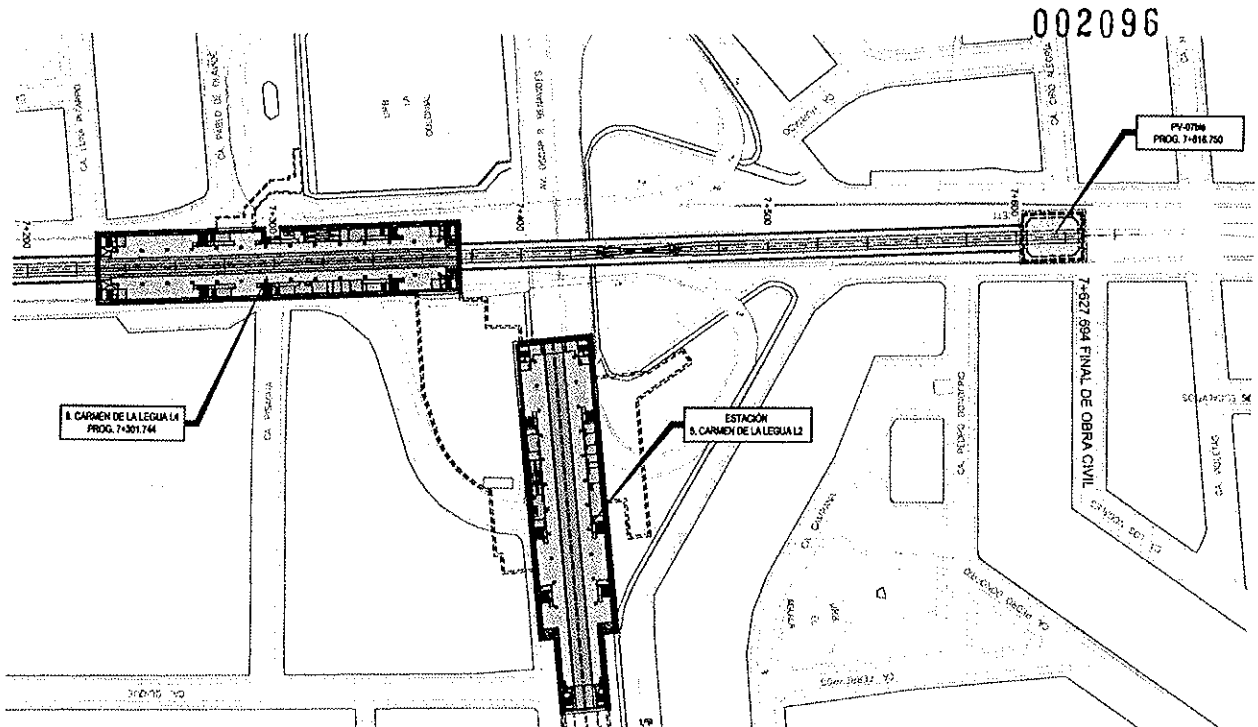
De este modo estas dos colas de maniobras ubicadas en la geología más compleja del trazado cara a la excavación de túneles se afrontan con las mayores garantías.

La cola de maniobras prevista al final de la línea 4 en final de línea se realizará con la EPB convencional dentro de la ejecución del túnel de línea que parte de la estación del Quilca. El pozo de extracción de la TBM se ubica al final de la cola de maniobras.





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Cola de maniobras Final Línea 4 con pozo extracción TBM

#### 2.4 LOGISTICA DE EXCAVACION, DESCRIPCION DE ENTRADA Y SALIDA DE TBMS

Los túneles proyectados con tuneladora se ejecutan con 2 TBM: Una del tipo EPB y otra del tipo EPB modificada con "slurry box" para tramos con alta carga freática.

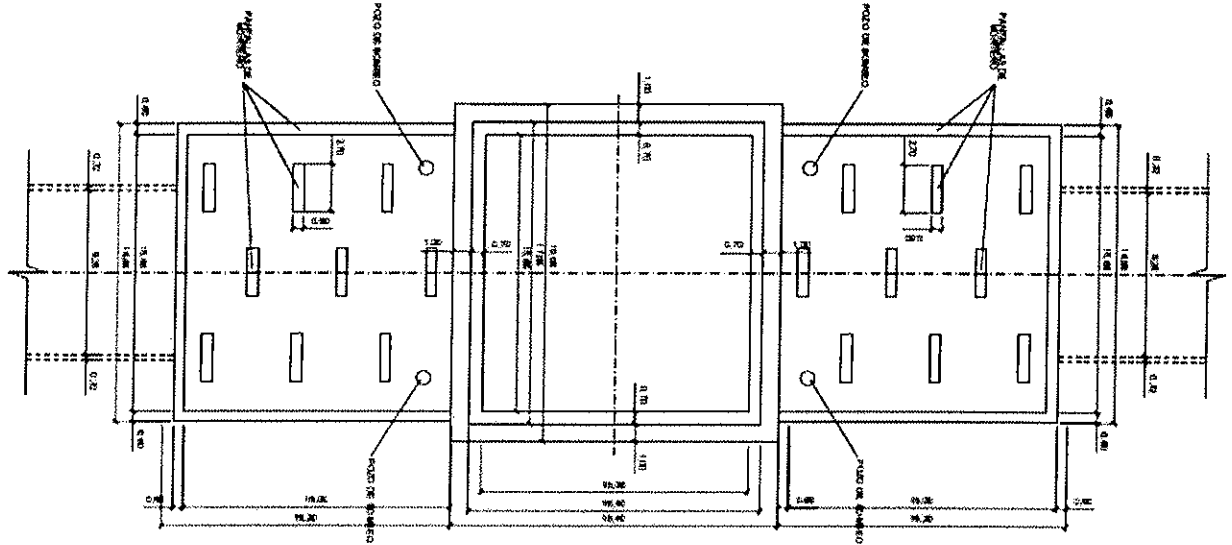
En primer lugar se desarrolla la logística para emboquillar e iniciar la perforación así como la llegada y cale al recinto de extracción similar para los dos tipos de EPB.

En los emboquilles de entrada y salida de los túneles a excavar con TBM que se encuentran, según los datos geotécnicos, bajo el nivel freático se ejecuta un recinto rectangular de pantallas de mortero adosado a la estructura principal (del pozo de ataque o pozo de extracción según el caso) de dimensiones suficientes para contener el escudo y así limitar las posibles afecciones debidas a la entrada o salida de la TBM a ese recinto. Se disponen en dichos recintos unas perforaciones para controlar el nivel freático una vez que penetra la tuneladora en él.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

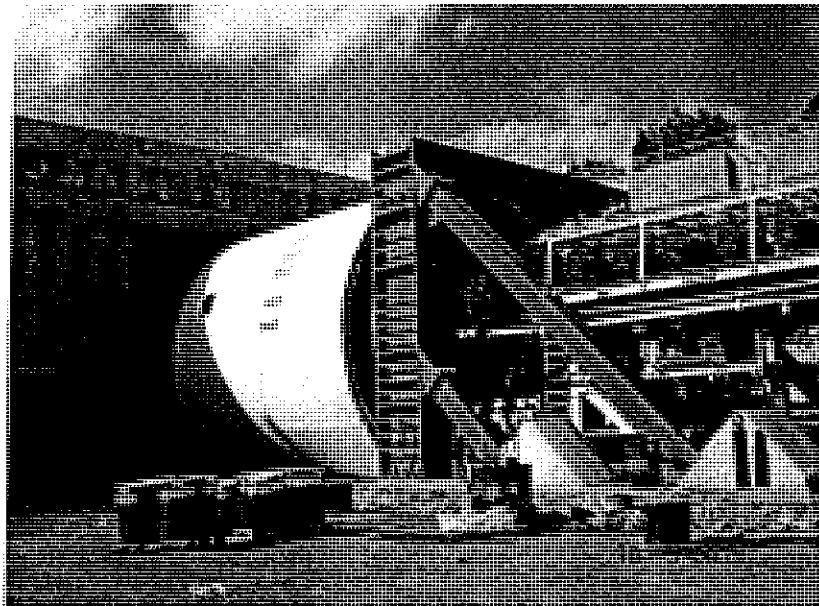


### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Recinto estanco para paso de TBM

Para iniciar el avance de la TBM y atacar la pantalla de entrada, la tuneladora se apoya en la estructura de empuje, diseñada al efecto, que absorbe el empuje generado para vencer el frente y los diferentes rozamientos generados por el avance de la máquina por la cuna de montaje. Durante el avance de los primeros metros, el trabajo consistirá en excavación y colocación de dovelas que apoyan contra la estructura, hasta que la cola del escudo penetre en el terreno. En este punto se realiza una parada para sellado del emboquille de entrada. Una vez sellado el emboquille, la EPB puede iniciar la excavación, saliendo del recinto estanco si procede, y trabajar en presión de tierras. La estructura de empuje se desmonta una vez que la transmisión de esfuerzos generados por el avance de la tuneladora se absorbe a lo largo del túnel ejecutado y la estructura de empuje deja de recibir solicitaciones.



Estructura de empuje y EPB

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL




### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

Para el caso de llegada a un pozo de extracción o estación en tránsito, la velocidad de avance se disminuye cuando la TBM está a unos 20 metros de dicho punto, para no transmitir excesivas presiones y afinar el guiado en este tramo final. En caso de existir recinto estanco previo a la salida de la TBM, se achica el nivel freático previamente a la entrada de la TBM. Estos últimos metros se realizan con presencia de personal en el pozo de extracción en contacto permanente con la TBM.

En los tramos a realizar con TBM y bajo el nivel freático se proyectan los pozos de ventilación previstos en el trazado para que intercepten el túnel con tuneladora (en línea 2 del PV1 al PV4 y en línea 4 del PV1 al PV6). Se disponen esos recintos estancos para realizar las revisiones de la rueda de corte a presión atmosférica sin posibles afecciones a la estabilidad de los terrenos circundantes.

En conjunto se prevé el paso en vacío de las TBMs por estaciones en una longitud que suma 3,82 kms. La obra civil necesaria para el paso de la tuneladora se hará con antelación al paso de ésta última. La losa de fondo de las estaciones de paso se hará con forma de cuna (el radio será el del exterior del escudo) para conectar el emboquille de salida con el del siguiente tramo a excavar. Para transitar hasta posicionarse frente al siguiente emboquille, la TBM se empuja con los cilindros de avance (solo los del sector inferior que apoyan sobre dos dovelas montadas al efecto sobre la cuna). Se aprovechará dicho tránsito para revisar la rueda de corte y subsanar los desperfectos detectados.

Con la tuneladora tipo EPB la logística durante la excavación se basa en un ciclo de perforación y desescombro, manteniendo en cámara las presiones establecidas en el correspondiente estudio mediante unos aditivos para facilitar la excavación y mantener la estabilidad del frente en todo momento. El desescombro está previsto mediante un sistema de cintas de alta capacidad (desde la descarga del sinfín, a lo largo del túnel hasta llegar al pozo de ataque donde se transfiere a la cinta vertical y finalmente a la cinta pivotante) hasta un foso de acopio del material excavado. Desde ese pozo se realiza la carga de camiones que evacúan el material hasta el vertedero previsto.

Con la tuneladora tipo EPB modificada la logística durante la excavación se basa en un ciclo de perforación y desescombro, manteniendo en cámara las presiones establecidas en el correspondiente estudio mediante la adición de aditivos (lodos bentoníticos o espumas). El desescombro está previsto mediante tubería de 16" a lo largo del túnel con sus correspondientes bombes intermedios hasta la superficie del pozo de ataque donde se ubica la planta de tratamiento de lodos. En esta planta se realiza un cribado del escombro más grueso que termina en un foso y una separación de los finos en caso de emplear bentonita para poder regenerar un lodo con las debidas propiedades hacia la EPB.

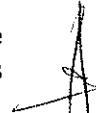
#### **2.4.1 Instalaciones específicas**

##### **ENERGÍA ELÉCTRICA**

Tenemos que alimentar la tuneladora y los equipos que constituyen las llamadas instalaciones auxiliares: sistema de bombeo, ventiladores, compresores, planta de mortero, cintas transportadoras, pórtico, casetas de obra, etc. Para la tuneladora se estima una potencia a contratar de aproximadamente 5.000kW y 3.500 kW para las instalaciones. La alimentación eléctrica a la tuneladora se hará en media tensión a 20 kv.

Para hacer el reparto a los distintos equipos de trabajo, el transformador de cada centro de transformación alimenta a un cuadro general, el cual tiene todos los componentes necesarios para la protección y control de la alimentación.

##### **AGUA INDUSTRIAL**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Con una acometida de agua por parte del suministrador local alimentamos un depósito exterior de regulación, y con un equipo de bombeo alimentamos al resto de los equipos instalados.

Del equipo de bombeo se diseña una red interna de suministro para alimentar el túnel y el pozo de ataque. Dentro del túnel la red se compone de tubería metálica de 8". La alimentación al exterior del pozo de ataque la realizamos con mangueras que alimentan a: cintas, planta de mortero, foso reparación locomotoras, etc.

#### TRENES DE TRABAJO

Un elemento fundamental dentro de la ejecución de un túnel con tuneladora es la composición de trenes que abastecen la tuneladora. Estos trenes son los encargados de suministrar el material necesario a la tuneladora para que pueda llevar a cabo la perforación del túnel en cuestión.

El dimensionamiento de estas composiciones debe ser el adecuado, tanto en número como distribución de plataformas, para que la tuneladora no sufra paradas por falta de material.

A continuación se explica todo lo relacionado con los trenes de trabajo, es decir:

- playa de vías y su distribución
- composiciones de trenes
- ciclos de trabajo
- estudio de tracción y frenado

#### PLAYA DE VÍAS

Se denomina playa de vías a la disposición de las vías en el pozo de ataque. El pozo de ataque es el punto de partida para la ejecución del túnel y la disposición de la playa de vías debe estar dimensionada para poder albergar a las composiciones de trenes necesarias durante la perforación, y que puedan realizar todos los movimientos necesarios para la carga y descarga de los materiales.

A modo de resumen, diremos que los movimientos que realizan las composiciones de trenes en la playa de vías son los siguientes:

- carga y descarga de todos los materiales necesarios para que la tuneladora pueda ejecutar el túnel: 1 anillo completo, material diverso para las instalaciones del túnel (carriles, tubos, etc.).
- cambiarse de vía gracias a los desvíos dispuestos en la playa de vías
- acceder al foso de reparación para proceder a su revisión o reparación
- distribución y organización de composiciones en función del trabajo a realizar: servicio para la tuneladora, traslado de personal, mantenimiento de túnel, etc.

#### COMPOSICIONES

Tal y como hemos planteado anteriormente, un elemento fundamental en la perforación de túneles con tuneladora es el dimensionamiento de las composiciones de trenes.

Para el dimensionamiento de las composiciones de trenes se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- material a transportar a la tuneladora
- disposición del back-up de la tuneladora
- pendientes del trazado del túnel: para pendientes elevadas puede ser necesario el acoplamiento de un tándem para mejorar la tracción de la composición.

Para la ejecución de nuestro túnel, una vez tenido en cuenta los factores anteriormente descritos, hemos optado por la siguiente composición tipo:



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002100

- 1 vagón de personal para el traslado del personal
- 1 locomotora
- 1 plataforma para transporte de materiales (tubos, carriles, bidones, etc.)
- 2 mesillas para el traslado del anillo de dovelas

#### CICLOS DE FUNCIONAMIENTO Y CIRCULACIÓN

Además de dimensionar los elementos que componen la composición de trenes, debemos dimensionar correctamente el número de composiciones a utilizar durante la perforación del túnel. Lógicamente, el número de composiciones irá en función del tiempo que necesiten dichas composiciones en hacer un ciclo completo.

El tiempo invertido por las composiciones en realizar un ciclo completo será la suma de los siguientes tiempos parciales:

- tiempo de carga de la composición en el pozo de ataque
- tiempo empleado en recorrer la distancia hasta la tuneladora; es decir, la longitud del túnel perforado
- tiempo de descarga en el back-up de la tuneladora
- tiempo empleado en recorrer la distancia de vuelta hasta el pozo de ataque.

#### SISTEMA DE EVACUACIÓN DEL ESCOMBRO

##### CINTA TRANSPORTADORA

El sistema más comúnmente utilizado últimamente para extraer los escombros de la tuneladora son las *cintas transportadoras*.

En nuestro túnel vamos a distinguir dos tipos de cintas:

- Cinta stacker: es el último tramo de cinta pivotante que descarga el escombros al foso de desescombros semicircular; tiene una longitud de 24 metros y dos motores de 22 kW cada uno, tiene además un motor de 2,5 kW al principio de la cinta donde está el punto pivotante, es decir, debido a que el foso de desescombros tiene forma de media luna, esta cinta se mueve por toda la longitud de la media luna, pero como a su vez en esta cinta descarga otra cinta, el punto pivotante tiene que ser fijo. El ancho de la banda transportadora es de 1200 mm.
- Cinta túnel: denominamos así al resto de cinta que transcurre por el túnel y la playa de vías hasta llegar a la cinta stacker; la peculiaridad de esta cinta es que va creciendo a medida que excavamos el túnel. Partimos de un motor de cabeza de 355 kW y un acumulador, que es donde se va metiendo, cada 300 metros de avance, 600 metros de banda transportadora, la cual va saliendo de este acumulador a medida que avanza la tuneladora de manera que siempre estamos alimentando de banda al túnel. Una vez consumidos los 600 m de banda (unos 300 m de túnel), hay que realizar una parada para volver a rellenar el acumulador de otros 600 m de banda; en la tuneladora a medida que vamos avanzando se va montando la estructura metálica de la cinta. Con solo un motor en cabeza no es suficiente para mover la cinta en toda la longitud a excavar, por lo que hay que montar más motores (los llamados *boosters*) a medida que avanzamos.

#### FOSO DE DESESCOMBRO

Por último, en esta obra se ha decidido que el acopio de escombros, es decir, foso de desescombros tenga forma de media luna, de manera que mientras la cinta stacker está en un

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002101

lado del foso echando material (que al estar tratado con cal se va secando), por el otro lado están las máquinas sacando el escombros y vertiéndolo en camiones.

Dependiendo de la configuración de los pozos de ataque, se pretende disponer de la mayor capacidad de acopio posible en cada caso.

#### PÓRTICO-GRÚA

En cualquier instalación de obra para la ejecución de túnel con tuneladora, necesita de algún medio de elevación en el pozo de ataque para dar servicio a los trenes que circulan por las vías. Como ya hemos comentado, estos trenes transportan desde el interior hasta la tuneladora, todo el material necesario para la perforación del túnel (tubos, carriles, dovelas, mortero, etc).

El pórtico será el encargado de dar servicio a los trenes que van a circular por la playa de vías, así como a las instalaciones que abarque en su recorrido. Las funciones fundamentales que va a realizar son:

- cargar a los trenes que dan servicio a la tuneladora con los elementos necesarios para la perforación del túnel:
  - anillos de dovelas
  - carriles para el montaje de vía auxiliar y su tornillería
  - tubería para las instalaciones del túnel
  - cables eléctricos para instalaciones
  - consumibles de la tuneladora: grasas, aceites, espumas...
  - material diverso necesario para la perforación
- realización de los movimientos necesarios del material rodante (vagones, plataformas, locomotoras, etc) para su cambio y/o sustitución según necesidades de ejecución
- dar servicio a todas las instalaciones que se encuentren bajo este pórtico: foso reparación locomotoras, compresores, bombas de agua, etc.
- carga y/o descarga de cualquier otro transporte que sea necesario

#### ACOPIO DE ANILLOS

Uno de los aspectos fundamentales a la hora de dimensionar las instalaciones para la perforación del túnel, es el acopio de anillos a pie de obra. Es decir, el número de anillos que están al alcance del pórtico en disposición de cargarlos en los trenes de servicio de la tuneladora.

Tal y como hemos indicado anteriormente, el espacio del que disponemos en los pozos de ataque no es muy grande, se dispondrán acopios de regulación en parcelas puestas a disposición de la obra.


#### REDES DEL TÚNEL

##### VENTILACIÓN

Debido al polvo que puede aportar el escombros y a los gases emitidos por las locomotoras y maquinaria menor en el túnel tenemos que montar un sistema de ventilación que pueda evacuar esta pequeña acumulación de gases y polvo, y dejar un ambiente limpio; para ello se tiene que cumplir un mínimo en caudal y velocidad del aire a su salida del túnel y en puntos intermedios de éste.

Se monta un ventilador en el emboquille del túnel y para unir estos con la tuneladora se van montando cartuchos de 100 metros de conducto de ventilación en la tuneladora, a medida que aumentamos la longitud del túnel el conducto de ventilación va saliendo del cartucho hasta que este se acaba y se sustituye por uno lleno. De esa manera queda toda la longitud

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO LILIAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

002102

del túnel con una línea de conducto de ventilación uniendo en todo momento los ventiladores con la tuneladora. Luego, por depresión, todo ese aire sale al exterior limpiando el túnel.

#### **AIRE COMPRIMIDO**

En el pozo de ataque se instalan dos compresores de aire, los cuales dan servicio de aire comprimido a distintos puntos:

- En el pozo de ataque alimentan de agua a todas las instalaciones exteriores como: planta de cal, planta de mortero, foso de reparación de locomotoras y varias tomas a lo largo del pozo de ataque.
- Túnel en línea: a lo largo del túnel es necesario una línea de aire a presión para distintos trabajos: reparar vía, pasarela, limpieza, etc. Para ello se instala una tubería metálica de 8" a lo largo del túnel.
- Tuneladora: alimentamos de aire comprimido la tuneladora para que no falte aire en el supuesto caso de que se averíen los compresores propios de la máquina. Además por el lado de la seguridad, gracias a esta línea de aire comprimido, si el sistema de aire respirable se agota podemos tener la posibilidad de coger aire de la calle (gracias a un filtro de carbono el aire de la línea se hace respirable).

Por otro lado la tuneladora tiene tres compresores para los trabajos a realizar en la propia tuneladora y para el sistema de aire respirable y presurización de la cámara de escombros.

#### **SISTEMA DE COMUNICACIONES**

Una de las cosas más importantes de la obra es el sistema de comunicación, primero y ante todo por la seguridad y luego para la producción. Tenemos que montar un sistema fiable que en todo momento esté operativo.

#### **PLANTA DE MORTERO**

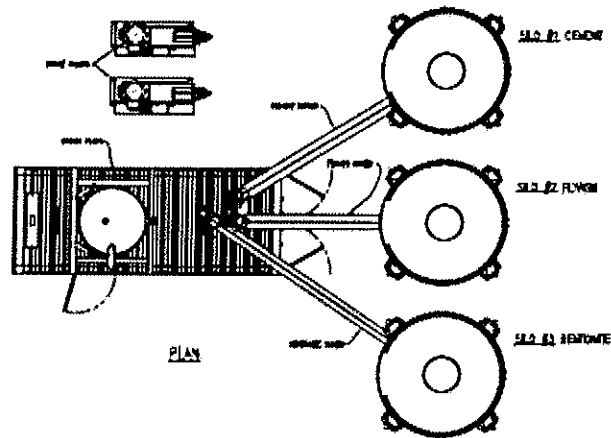
Para el suministro de mortero que utilizamos para la inyección del trasdós de las dovelas, se monta una planta de fabricación en el pozo de ataque. El mortero propuesto para la inyección del trasdós del anillo es del tipo bicomponente. La planta se compone de unos silos para acopio del material conglomerante (cemento, cenizas, bentonita), un depósito de agua, silos para acopio del reactivo, 1 mezclador coloidal, 1 agitador y un sistema de bombas de impulsión hacia la tuneladora. Mediante alimentadores de tipo sinfín se incorpora la correspondiente dosificación en conglomerante y agua (=componente A) al mezclador coloidal. Esta mezcla se bombea a los tanques de la tuneladora. Por otra conducción se bombea también a la tuneladora el reactivo (=componente B) que determina el tiempo de fraguado de la mezcla. Las dos mezclas se acopian por separado en la TBM donde se dosifican las cantidades de componente A y B que fijen el tiempo de fraguado en función de la geología atravesada en cada momento.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002103



Planta de mortero tipo

#### RESTO DE INSTALACIONES (Almacenes, Talleres, Vestuarios, etc.)

Se instalará una oficina de obra con una superficie cubierta de que estará totalmente equipada con su correspondiente mobiliario y equipos informáticos y de reprografía, teléfono y fax, etc. En esta oficina estarán los despachos del jefe de tajo, maquinaria, instalaciones.

El taller tendrá tres zonas perfectamente diferenciadas: taller mecánico, taller eléctrico y taller hidráulico. Se prevé también el montaje de un almacén ubicado en las proximidades del taller electromecánico.

Por otra parte, y con el fin de atender las necesidades sanitarias y de vestuarios en las mejores condiciones higiénicas, se prevé la instalación de una edificación prefabricada para botiquín y vestuarios que estarán debidamente equipados con sus correspondientes duchas, lavabos, wc, termo eléctrico, calefacción, etc.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALEXIS HUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002104

#### 2.5 CONTROL DE LA ESTABILIDAD DE LOS FRENTES DE EXCAVACIÓN CON TBM

Según los dos tipos de TBM ofertados el tratamiento de la estabilidad del frente es el siguiente:

**TBM tipo “EPB”:** Según la información geotécnica de los 3 tramos de túnel a ejecutar con EPB solo afecta el nivel freático a la sección de excavación en el correspondiente a la línea 4 al paso bajo el río Rimac y llegando a la estación de Carmen de la Legua. La máxima carga freática en ese tramo es de 0,4-0,5 bares sobre clave. La geología en toda la traza excavada por EPB se corresponde con un material cohesivo con bajo contenido en finos. Se establece una presión en cámara que equilibre la presión hidrostática del frente, controlándose mediante una serie de sensores repartidos en el perímetro del mamparo. El control de la presión de tierras junto con el control del peso del material excavado, es fundamental para evitar posibles sobre excavaciones y minimizar las subsidencias en superficie. El rango de presiones en cámara (para los sensores ubicados en clave) contemplado para la EPB es 0,5-1,5 bares.

La mezcla de terreno excavado con agua y aditivos es la que debe actuar directamente sobre el frente para su contención. El ratio de apertura de la rueda de corte es del orden del 30%, para no perder capacidad del sostenimiento, al incrementar los rozamientos contra el terreno de la estructura de la rueda de corte contra el frente.

**TBM tipo “EPB modificada”:** En los tramos a excavar donde la carga freática no permite garantizar un correcto acondicionamiento del material excavado y la correspondiente estabilidad del frente, se cambiará a modo de trabajo con suspensión de lodo bentonítico en la cámara. El control de las presiones y la estabilidad del frente se controlan a través de la burbuja de aire comprimido generada para controlar las fluctuaciones de presiones en el proceso de excavación y bombeo de la mezcla terreno-lodo. En la EPB modificada propuesta el desescombro de la cámara se sigue realizando mediante sinfín, pero con el sistema “slurry box” que evita la salida incontrolada de material.

-Para asegurar la estabilidad del frente es fundamental mantener las propiedades del lodo empleado. Para ello, dependiendo de las características del terreno excavado (fundamentalmente su permeabilidad), se define la penetración del lodo bentonítico en los poros del terreno. Según la concentración en bentonita hay que conseguir limitar dicha penetración para crear una membrana estanca que es la encargada de “sujetar” el frente.


El rango de presiones en cámara (para los sensores ubicados en clave) contemplado para la EPB modificada es 1,0-2,5 bares.

#### 2.5.1 Parámetros para el acondicionamiento del terreno

Los parámetros que definen la cantidad y calidad del tratamiento de acondicionamiento del terreno excavado en una TBM tipo EPB son:

- FER: Tasa de expansión de la espuma  $FER = \frac{V_{\text{aire comprimido}}}{V_{\text{solución espumante}}}$ . Representa el volumen de

espuma generado a partir de un volumen dado de solución (agua+agente espumante). Cuanto más alto es el FER, la espuma generada es tanto más seca. Cuanto más húmedo sea el suelo la espuma deberá ser muy seca y viceversa.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

- FIR: Tasa de inyección de espuma  $FIR = \frac{100 \times V_{\text{espuma}}}{V_{\text{material excavado}}}$ . Este ratio relaciona el volumen de espuma inyectada con el volumen de terreno excavado. Dado el bajo contenido en finos de los terrenos excavados con EPB, este estará entre 30-50%

El equipo para generación de espuma instalado en la EPB consta de 14 generadores de espuma con un caudal máximo de 534m<sup>3</sup>/h. El volumen de material a tratar es directamente proporcional a la velocidad de avance de la tuneladora. Según el agua aportada por el frente hay necesidad o no de aportar una cantidad adicional para la trabajabilidad de la mezcla. Según el rendimiento previsto para la EPB se prevé una dotación en agentes espumantes comprendidos entre 100 y 150 L/m<sup>3</sup> de material excavado y una concentración del 2-3%. Las tasas de tratamiento teóricas siempre se contrastan y ajustan durante la excavación con tuneladora. El equipo de inyección de espuma permite una corrección instantánea de los parámetros de fabricación para adaptarse al terreno excavado.

Según la naturaleza de los terrenos excavados con la EPB el acondicionamiento del terreno se plantea con los siguientes aditivos:

- Agentes espumantes adaptados a la geología, en tramos sin afección freática. Estos productos reducen la permeabilidad e incrementan el sellado de la cara expuesta del frente. Crean propiedades de deformación plástica en el suelo proporcionando una presión de soporte controlada y uniforme y una mayor estabilidad de la superficie expuesta.
- Polímeros estabilizantes, en tramos con afección freática se emplean mezclado junto al anterior agente espumante. Se trata de polímeros aglutinantes que en el caso de terrenos granulares saturados, con pocos finos, dotan al terreno junto al agua que lo satura de una viscosidad que facilita su desalojo controlado. Además generan en la cámara de amasado una mezcla impermeable al posible flujo de agua procedente del terreno.

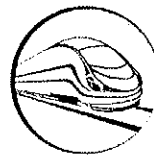
En el caso de la EPB modificada, cuando esta máquina tenga que pasar a modo de excavación mediante lodos, el acondicionamiento del terreno se caracteriza por la formulación del lodo bentonítico a emplear para garantizar la estanqueidad del frente. La calidad del lodo depende fundamentalmente de las propiedades inherentes a la bentonita usada para su fabricación, conductividad y ph del agua de dilución. La calidad del agua empleada puede incrementar la concentración necesaria de bentonita a emplear u obligar a incluir polímeros estabilizadores. La densidad de la suspensión suele estar en el rango 1,04 a 1,07 t/m<sup>3</sup>. La calidad del lodo se corrige en la planta de recirculación de bentonita donde se controlan los parámetros del lodo procedente de la excavación antes de su recirculación hacia la TBM.

### 2.6 RENDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN PARA TUNELADORAS

Dentro de la programación general de la obra a realizar, para la excavación con tuneladora se establece un rendimiento medio de excavación expresado por metro lineal de túnel excavado y revestido por día de trabajo elaborado en base a:

- Parámetros teóricos de excavación para la TBM (velocidad de giro de la rueda de corte, penetración por revolución) para estimar el tiempo de un ciclo de excavación en función del terreno excavado.
- Determinación de la duración media de un ciclo de excavación y montaje de anillo.
- Estimación de tiempos improductivos a sumar al ciclo de producción (revisiones y cambios de herramienta de corte, averías en la TBM e instalaciones, trabajos de mantenimiento).
- Se incluye un periodo inicial de aprendizaje y puesta a punto de los equipos de trabajo.

### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**



002106

- En las estaciones que interceptan el túnel a excavar se definen las operaciones de traslado de la TBM, prolongación de instalaciones, revisiones, montaje de la estructura de empuje, montaje del falso túnel, hasta reiniciar la excavación.
- Los trabajos de excavación y revestimiento de dovelas se organizan en turnos para trabajar las 24 horas del día, los 7 días de la semana. La organización de los turnos de trabajo garantiza los periodos de descanso para el personal.
- Experiencias similares de las empresas que forman el Consorcio.

#### **2.6.1 Rendimiento de producción para la tuneladora tipo EPB convencional**

En base a las premisas expuestas en el apartado anterior, el reparto de tiempos considerado es del 45% productivo frente a un 55% improductivo. El rendimiento medio resultante para la tuneladora tipo EPB convencional es de 13,50 metros lineales por día trabajado.

#### **2.6.2 Rendimiento de producción para la tuneladora tipo EPB modificada**

En base a las premisas expuestas en el apartado 2.6, el reparto de tiempos considerado es del 45% productivo frente a un 55% improductivo. El rendimiento medio resultante para la tuneladora tipo EPB modificada es de 11,50 metros lineales por día trabajado.

### **2.7 DIMENSIONAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE DOVELAS**

Las instalaciones para la fabricación de dovelas para revestimiento del túnel excavado con tuneladora se ubican en los terrenos que ocupan los talleres de Bocanegra. La extensión de los terrenos permite plantear la producción y acopio de dovelas sin interferir en la ejecución de los talleres. La programación de los trabajos de excavación de túneles con las 2 tuneladoras previstas nos proporciona el ritmo de fabricación necesario en la fábrica de dovelas para generar el suficiente acopio a lo largo de la obra. El número total de anillos a fabricar supera las 12.000 unidades. En áreas cercanas a los pozos de ataque se ubican acopios de regulación para suplir posibles interferencias en el suministro desde la fábrica.

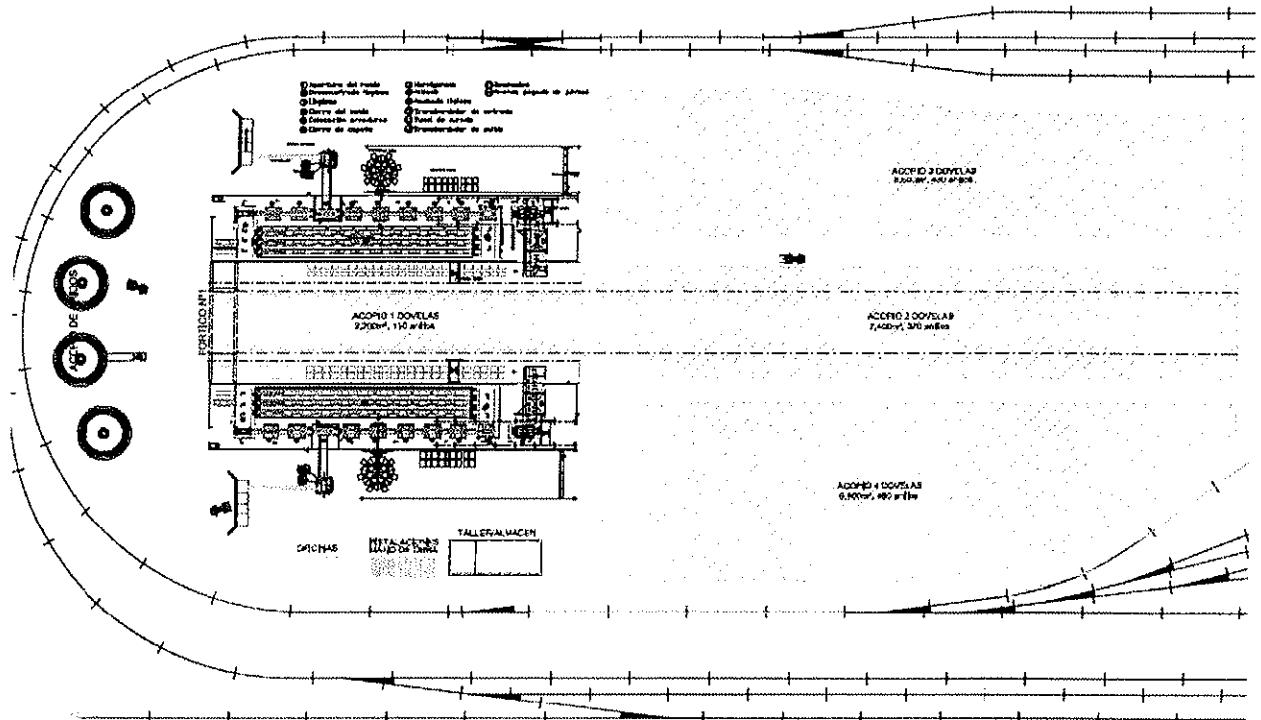
Se prevé la implantación de dos plantas de fabricación en paralelo, dotada cada una de un "carrusel" para 42 moldes (6 anillos), planta para fabricación y suministro de hormigón, elaboración de las armaduras y horno para curado. Las dovelas, debidamente identificadas para garantizar su trazabilidad, se acopian en el exterior, con la ayuda de un pórtico grúa. La capacidad de acopio en los terrenos anexos a la fábrica es de unos 1.300 anillos.

La producción estimada, considerando un plazo inicial de aprendizaje para cada planta, es de 14 anillos por planta y por día de trabajo. Se plantea la producción las 24 horas del día de lunes a viernes para las dos plantas hasta tener un acopio mínimo que garantice el abastecimiento de las dos TBM según los rendimientos previstos.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



## A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Ubicación de planta de dovelas en talleres de Bocanegra

### 2.7.1 Descripción del proceso productivo

El funcionamiento de una planta de dovelas se fundamenta en la implantación de una serie de puestos fijos por los que van pasando los moldes realizando un circuito completando todas las actividades necesarias para la fabricación de dovelas.

#### Puesto 1

Sobre transbordador, salida línea de curado.

- Apertura de los capós.
- Quitar los insertos.
- Apertura de los lados perimétricos.

#### Puesto 2

- Salida del molde del transbordador hacia el puesto de desmoldeo.
- Parada en su puesto de desmoldeo.
- Desmoldeo de la dovela mediante la pinza de vacío.
- Comienzo de la limpieza del molde y de los insertos.

#### Puestos 3 y 4

- Limpieza de los moldes, de los capós y de los insertos.
- Aceitado, lubricación de los moldes, de los capós y de los insertos.
- Instalación de las armaduras y de las arandelas.
- Cierre de los lados perimétricos.
- Instalación de los insertos.
- Inspección del conjunto del molde (visual, marcas, calibrador de anchura).
- Cierre de los capós.

#### Puesto 5, 6 y 7



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002108

- Puesto de pilotaje y mando del carrusel, de la vibración y del suministro hormigón.
- Hormigonado, molde y vibración del hormigón.
- Cierre del capó superior.
- Anotación de los documentos de seguimiento y de calidad.

#### Puestos 8 y 9

- Espera pre-fraguado de hormigón.
- Apertura de los capós.
- Alisado extradós.
- Limpieza del molde y de los capós (limpieza alta presión, foso de evacuación),
- Instalación del transbordador.

#### Fin de puesto

Entrada del molde en el túnel de curado mediante el transbordador.

Cuando el ciclo comienza, los diferentes movimientos se producen en el siguiente orden.

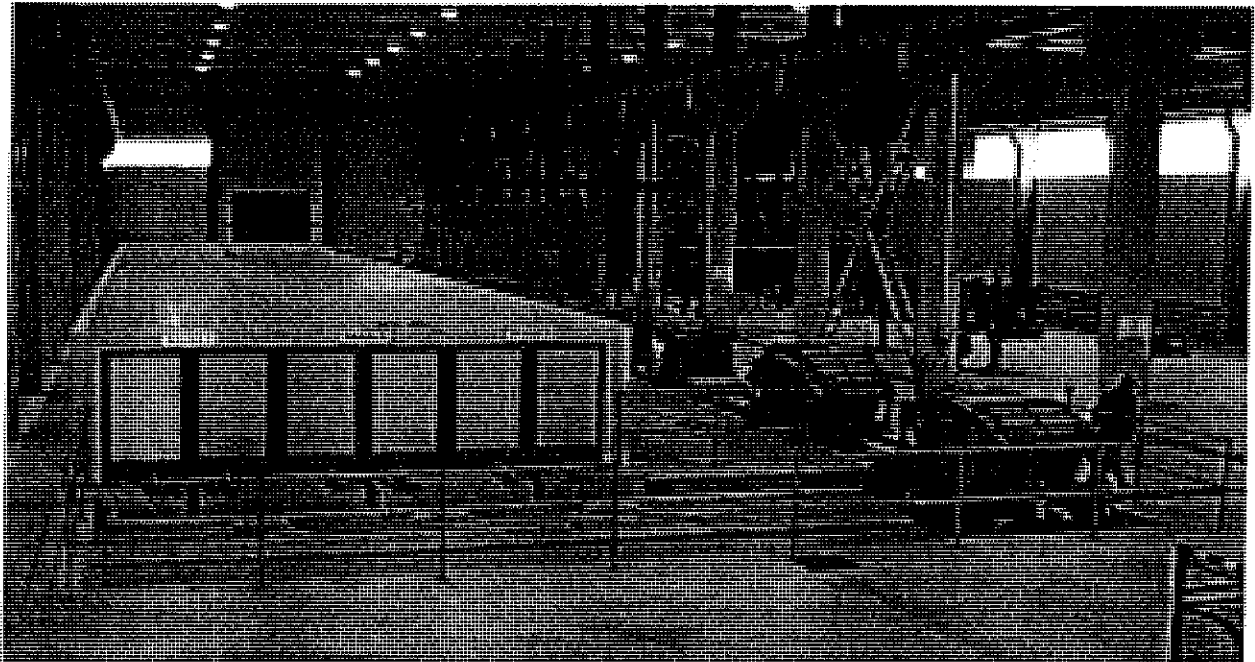
- comienzo para hacer avanzar los transbordadores,
- salida de un molde de la cadena de fabricación e introducción de un molde que hace avanzar y traslada la cadena de fabricación (un paso),
- traslado de los transbordadores,
- parada y centrado de nuevo de los transbordadores frente a su cadena respectiva,
- apertura de las puertas del túnel de curado,
- introducción de un molde en su cadena de curado,
- extracción de un molde y cargamento sobre un transbordador,
- cierre de las puertas del túnel de curado,
- vuelta de los transbordadores frente a la cadena de fabricación,
- parada y centrado de nuevo de los transbordadores frente a la cadena de fabricación en espera para comenzar un nuevo ciclo.

Sobre la cadena de fabricación, los moldes están colocados con un espaciamiento de aprox. 1.200 m. Sobre las cadenas de curado, están en contacto y están empujados de una manera continua.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Fabrica de dovelas tipo

#### 2.7.2 Datos de producción

La producción en la fábrica de dovelas se plantea en dos turnos de 12 horas de lunes a viernes. La producción prevista una vez superado el periodo de aprendizaje es de 14 anillos a las 24 horas. El planteamiento de la producción se desarrolla para una planta de producción. En nuestro caso se implantarán dos ciclos de producción en paralelo para abastecer las dos tuneladoras.

#### *CICLO DE 11 HORAS. CARRUSEL 6 ANILLOS*

Prefabricación de 7 anillos por turno de 12 horas, cada anillo está formado por 7 dovelas, por tanto 49 dovelas por turno de 12 horas.

$$49 \text{ dovelas} \times 14 \text{ minutos} = 686 \text{ minutos, aprox. } 11,4 \text{ horas.}$$

La producción de una dovela cada 14 minutos es posible si el suministro de hormigón es correcto y si los puestos de desencofrado de las dovelas y pre-stockaje en el parque están equipados con los materiales y herramientas requeridas que impidan crear una ruptura de trabajo más allá de los 14 minutos de ritmo previstos.

Para cada dovela, se necesita un curado de aprox. 6 a 7 Horas. Generalmente el desencofrado de la pieza de hormigón se efectúa a 15 MPa.

#### *EQUIPOS DEL CARRUSEL EN CONFIGURACIÓN DE PRODUCCIÓN*

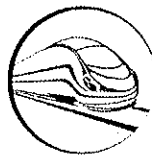
- |  |  |
|--|--|
| - 1 Línea de fabricación con de trabajo) | 6 moldes(1 Molde en transbordador salida línea |
| - 1 Línea curado con                     | 9 moldes                                       |
| - 1 Línea curado con                     | 9 moldes                                       |
| - 1 Línea curado con                     | 9 moldes                                       |
| - 1 Línea curado con                     | 9 moldes                                       |
| - TOTAL                                  | 42 posiciones                                  |

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



002110

#### 2.7.3 Medios para el desarrollo de la actividad

##### PERSONAL.

El personal estará capacitado para la utilización de los equipos y máquinas, en base, a la correspondiente formación, aprendizaje y adaptación.

##### EDIFICIOS.

Se precisa la construcción de una nave industrial de dimensiones 22,00 x 120,00 m, destinada a la ubicación del horno de curado y carrusel de montaje.

##### MAQUINARIA.

###### *Planta de hormigón:*

La planta prevista será la indicada para una producción real superior a 20 m<sup>3</sup>/h e inferior a 40 m<sup>3</sup>/h.

###### *Moldes. Características geométricas.*

Los moldes permiten hormigonar segmentos de hormigón (dovelas) que constituyen, una vez ensamblados entre ellos, un anillo (tramo de túnel).

- Diámetro externo: 9.840 mm
- Diámetro interno: 9.200 mm
- Anchura de la dovela: 1.700 mm
- Espesor de la dovela: 320 mm

Un anillo se compone de:

- 4 dovelas corrientes de 56°
- 2 dovela contraclaves de 54°
- 1 dovela llave de 20°

###### *Composición de un molde:*

Chasis de soporte en el fondo del molde que sirve de almacén rígido para el conjunto del molde. Éste está equipado con:

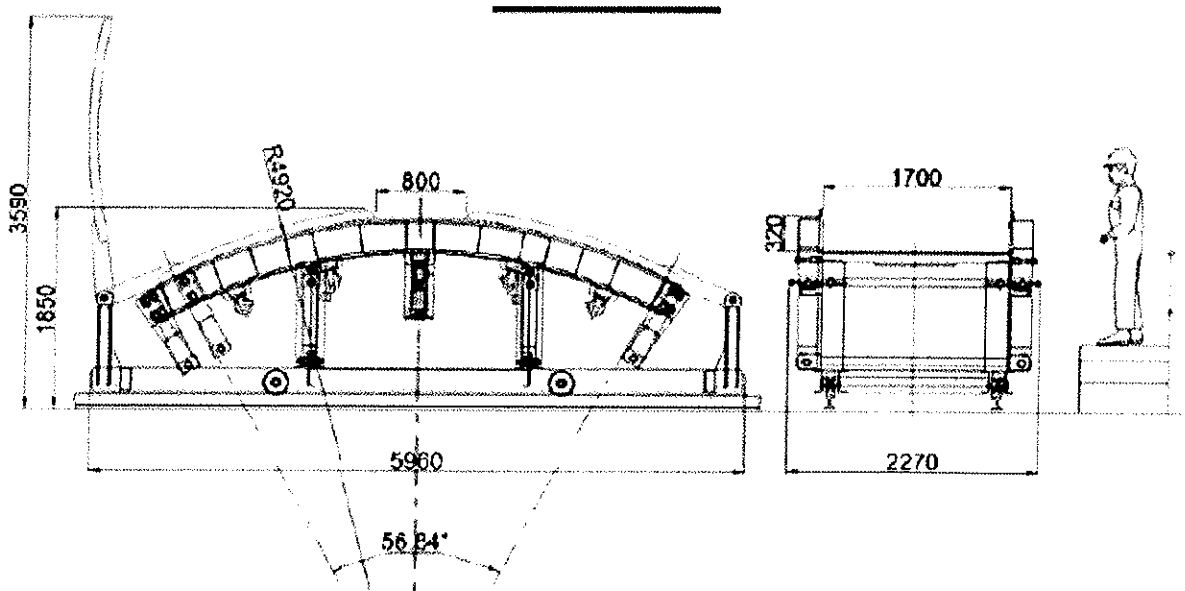
- Apoyos para montaje sobre chasis rodantes independientes.
- Medios de prensión para manipulación del molde.
- 1 Fondo de molde que encofre el intradós construido con una chapa de fuerte espesor 10 mm aprox.
- Construcción soldada mecánicamente, con cantos y contactos de apoyo de los lados perimétricos mecanizados.
- El fondo del molde está equipado con vibradores externos y barras de difusión de vibración.
- El conjunto soldado sobre el chasis de soporte fondo del molde será autoportador y no deberá provocar un alabeo superior a 1 mm vacío y bajo la carga de hormigón.
- Éste recibirá las articulaciones de los lados perimétricos y los brazos de soporte de los capós amovibles.
- 2 Lados longitudinales y 2 lados laterales que encofran el perímetro de la dovela. Estas piezas mecánicas mecanizadas en la masa (chapa espesor bruto aprox. 40 - rugosidad 1,8) después estabilización en el horno y descortezamiento de rectificación (planeidad:f: 0,3 mm). En todos los casos, la mecanización se hará en el sentido de laminado de las chapas para un trabajo y una repartición equilibrada y similar de las fibras de acero. La mecanización se hace con una máquina de fresar y calibrar 5 ejes. La intersección de los lados longitudinales y laterales está mecanizada también en la masa con las inclinaciones y los radios calculados

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASARE GARCÍA  
REPRESENTANTE LEGAL

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

según los valores angulares de la dovela. Estas operaciones son obligatorias para asegurar y certificar los apoyos de los lados, limitar las holguras de funcionamiento (apertura, cierre de los lados), no crear juego por «remachado» a la vibración y siempre asegurar las referencias del volumen del molde en el espacio.

- Estos lados están articulados y están en apoyo sobre el fondo de molde.
- 2 Capós en la parte superior del molde que encofra el extradós, una abertura central realizada para permitir el hormigonado del molde. Ésta será calculada lo más preciso posible para limitar la flecha en el extradós recta a esta abertura y no aumentar anormalmente el trabajo durante el alisado final del extradós. Estos capós se manipularán a mano (1 a 2 personas) sin ayuda o complemento de una máquina de manipulación; los movimientos son asistidos por muelles de compensación de las cargas.



Croquis molde dovelas

#### Equipo de vibración (Aire comprimido)

En el puesto de hormigonado, se prevé un sistema de vibración que recibe los moldes dispuestos para el hormigonado. El molde está levantado de sus rieles de traslación mediante un mecanismo que desempeña un papel de aislamiento en el suelo durante la vibración.

El molde no tiene que trasladarse durante la vibración. El mando se realiza a partir de un armario de regulación colocado en la estación de hormigonado (carrusel).

#### Vibración externa.

La vibración es unidireccional con una fuerza vertical que actúa en el sentido del espesor de hormigón de la dovela.

Los moldes están perfectamente aislados del suelo por la posición del mecanismo (cámara de aire comprimido) y flexible para evitar los puntos rígidos. La fuerza de la vibración debe permitir la resonancia de la chapa de fondo de molde estudiada y calculada con este fin sin perturbar la calidad dimensional de los derrames perimétricos (tolerancia del orden de los diez milímetros) y no deformar o provocar roturas de los aceros de construcción.

Durante los numerosos reemplazos, la calidad de la vibración es un punto importante para la calidad de la dovela.

Los vibradores de aire comprimido externos se colocan en posición fija en los fondos de los moldes sobre vigas vibrantes con adjunción de hierros de difusión y distribución de las



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

vibraciones (cálculo y abastecimiento de los moldes). Según el tipo de dovelas de hormigón, de su composición y de su forma, la vibración puede ser ajustada y optimizada.

Este principio de estación de vibración y de puesto de mando es la única técnica fiable para cumplir con sus necesidades para dovelas de tipo diferente (hormigón, armaduras, masa volumétrica).

Cada molde está equipado con vibradores y su conexión rápida al armario de mando automático cuando está en el puesto de hormigonado.

La estación de vibración que recibe el molde funciona automáticamente (inflamamiento del mecanismo amortiguador, ajuste de la presión según la carga de los moldes para obtener una buena resonancia del molde y una distribución correcta del hormigón) a partir del autómatas general que manda la instalación del carrusel.

#### *Túnel curado*

Para permitir un desencofrado rápido de las piezas de hormigón, habrá un túnel de curado. Las piezas de hormigón están hormigonadas en unos moldes metálicos. El conjunto molde + hormigón está empujado paso a paso en un túnel de curado durante un período calculado. Hay cuatro líneas de circulación en el túnel.

La estructura de soporte será de tipo armazón metálico fijado en el suelo. El revestimiento del armazón - techumbre y lado será de tipo panel aislante de 60mm, con un coeficiente  $K=0,37$ .

Las fachadas de los túneles de curado estarán equipadas, para cada línea de traslación, con puertas de persianas enrollables aislantes motorizadas en cada extremidad.

Las dimensiones del túnel de curado son:

- Longitud: 67,5 m
- Anchura: 9,59 m
- Altura: 2,57 m

#### *Máquina de volteo de dovelas*

Después del desmoldeo de la dovela sobre la línea de fabricación y mediante el puente rodante previsto con este fin, la dovela de hormigón está colocada en la máquina de voltear.

La dovela está posicionada el extradós hacia el exterior. Ésta deberá estar volteada de 180° para posicionar el extradós hacia el interior.

Después del volteo, la dovela será transportada por un carro de la línea de evacuación que la trasladará hacia cada puesto de acabado, pegado de junta hasta recogida para pre-stockaje en fin de línea.

#### *Evacuación automática de dovelas*

Después de la vuelta 180° de la dovela, ésta se traslada sobre la línea de evacuación y se procede al acabado/pegado de junta mediante los carros de traslado automático.

La dovela está colocada sobre el primer carro y se trasladará de puesto en puesto de trabajo de acabado.

La línea de evacuación debe poder trasladar las dovelas sin esfuerzo y éstas deben quedar alineadas correctamente. La altura máxima del intradós, con relación al suelo, de la dovela colocada sobre la línea debe ser de 1,500 m.

El diseño y el volumen de la línea de evacuación deben permitir una libre circulación alrededor de las dovelas.

#### *Distribución de armaduras.*

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002113

Para permitir la transferencia a partir del parque de stocaje de taller de armaduras hasta la presentación por tipo de armaduras frente al monorraíl de suministro de cada tipo de moldes, se prevé una noria. Sobre ésta, se prevén 7 posiciones de recepción con cada una 7 armaduras (1 posición por tipo de dovela). Según el modelo de molde que se presenta en el puesto de posicionamiento de armaduras, la noria presenta el tipo de armaduras necesarias automáticamente. Se suministra la noria mediante el puente rodante del taller de fabricación de las armaduras. La persona que maneja la instalación de las armaduras en el molde mediante el monorraíl y la palanca, lleva el control de la posición de la noria malacate y el desplazamiento de la armadura sobre el monorraíl. En cada movimiento la noria efectúa una rotación de 1/7. El desplazamiento en el suelo se efectúa mediante un carril de guía circular colocado debajo del carrusel. Desplazamiento mediante motoreductor eléctrico equipado con rodillo de tracción. El control se hará a partir del pupitre general de control de la noria armaduras.

#### *Pórtico soporte prensa de pegado de juntas.*

Pórtico de manipulación del cuadro de pegado de juntas. Este pórtico está por encima de la línea de salida de las dovelas de hormigón. Estructura autoportante fijada en el suelo.

La prensa de pegado de juntas está fijada al pórtico previsto con este fin. Esta prensa es ajustable para permitir su operación con todos los tipos de dovelas.

Su objetivo es ajustar la junta de goma perimétrica colocada en una garganta prevista en la dovela de hormigón.

#### *Pórtico pre estocaje*

Está ubicado en la fachada lateral sur apoyado en los pórticos de la nave. Su función es el preacopio de las dovelas formando mitades de anillo.


#### *Pórtico estocaje*

Es el pórtico encargado de recoger las mitades de anillo que conforma el pórtico de pre estocaje y conformar el acopio definitivo, preparado para la carga hacia los pozos de ataque.

#### *Sistemas de seguridad*

- Pasarelas de circulación sobre la línea de trabajo.
- Zona protegida mediante barreras.
- Parada de urgencia en las zonas de movimiento del carrusel.
- Prohibición de acceso puesto de hormigonado, durante el hormigonado o traslado del carrusel.
- Validación individual en cada puesto de trabajo para hacer avanzar el carrusel a partir del operador en el pupitre de control.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



#### **2.7.4 Productividad de la tuneladora vs producción de la planta de dovelas**

Se adjunta el cuadro resumen que simula la producción de la fábrica de dovelas frente al consumo previsto por las dos tuneladoras según la programación y los rendimientos establecidos.

**A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM  
en Línea Principal**

002114

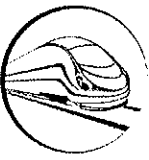
**ESTIMACIÓN FABRICACION / CONSUMO DOVELAS**

FECHA	ESTIMACIÓN ANILLOS FABRICADOS	CONSUMO EPB	CONSUMO EPB modificada	CONSUMO TOTAL TBMS	ACOPIO ANILLOS
mes 1	0	0			0
mes 2	220	0			220
mes 3	660	0			660
mes 4	1.100	118	80	198	902
mes 5	1.540	265	200	465	1.075
mes 6	2.024	430	330	760	1.264
mes 7	2.552	606	490	1.096	1.456
mes 8	3.080	812	665	1.477	1.603
mes 9	3.652	1.033	865	1.898	1.754
mes 10	4.224	1.273	1.075	2.348	1.876
mes 11	4.796	1.523	1.285	2.808	988
mes 12	5.104	1.773	1.500	3.273	1.831
mes 13	5.412	2.043	1.720	3.763	1.649
mes 14	5.720	2.313	1.940	4.253	1.467
mes 15	6.028	2.583	2.170	4.753	1.275
mes 16	6.336	2.853	2.400	5.253	1.083
mes 17	6.644	3.133	2.640	5.773	871
mes 18	6.952	3.413	2.869	6.282	670
mes 19	7.260	3.433	2.869	6.302	958
mes 20	7.568	3.433	2.869	6.302	1.266
mes 21	7.876	3.433	3.039	6.472	1.404
mes 22	8.184	3.493	3.149	6.642	1.542
mes 23	8.492	3.643	3.269	6.912	1.580
mes 24	8.800	3.823	3.409	7.232	1.568
mes 25	9.108	4.028	3.569	7.597	1.511
mes 26	9.416	4.248	3.749	7.997	1.419
mes 27	9.724	4.488	3.929	8.417	1.307
mes 28	10.032	4.728	4.129	8.857	1.175
mes 29	10.340	4.978	4.339	9.317	1.023
mes 30	10.648	5.248	4.559	9.807	841
mes 31	10.956	5.528	4.779	10.307	649
mes 32	11.264	5.761	4.999	10.760	504
mes 33	11.572	5.761	5.219	10.980	592
mes 34	11.880	5.761	5.449	11.210	670
mes 35	12.188	5.851	5.461	11.312	876
mes 36	12.411	6.021	5.461	11.482	929
mes 37	12.411	6.231	5.461	11.692	719
mes 38	12.411	6.461	5.461	11.922	489
mes 39	12.411	6.701	5.461	12.162	249
mes 40	12.411	6.950	5.461	12.411	0

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
FONSO ILIAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

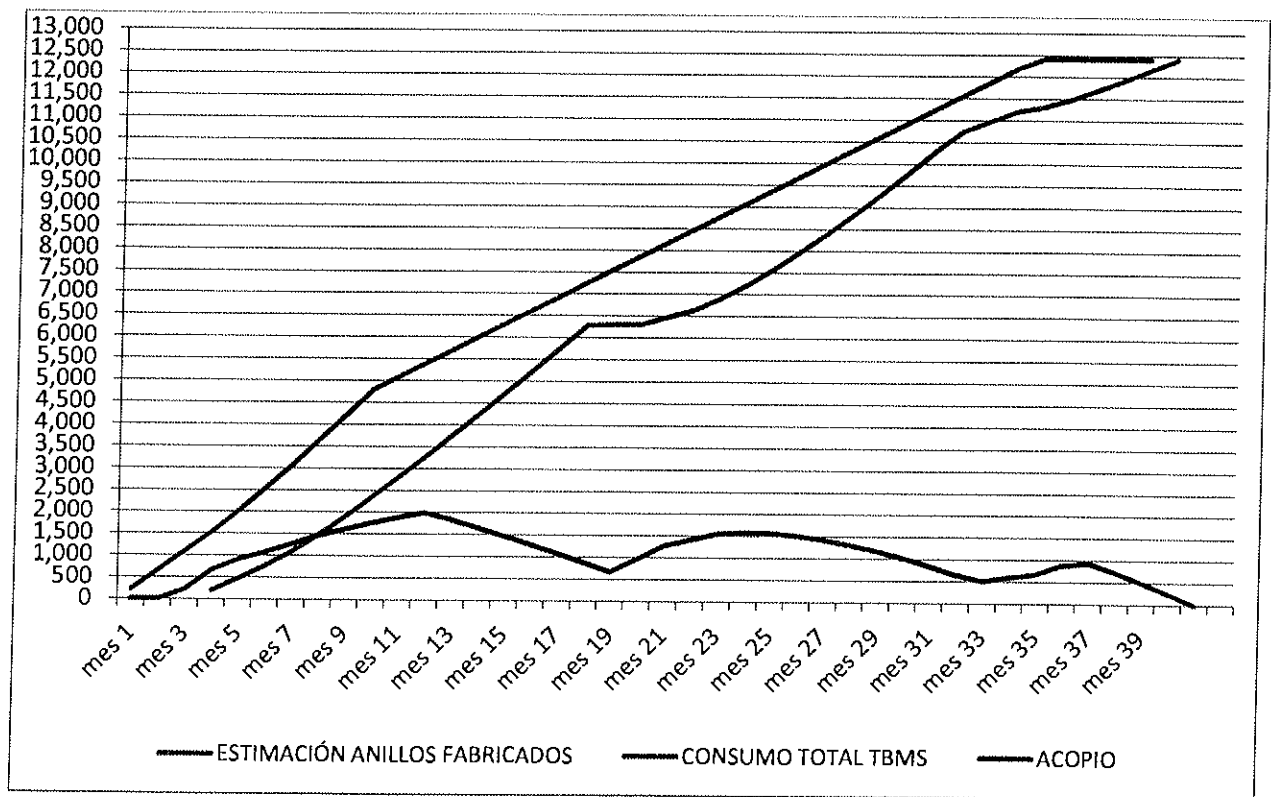


### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Los hitos considerados hasta la puesta en marcha de la fabricación de dovelas son los siguientes:

- Mes 1: Definición y pedido de equipos.
- Mes 7: Entrega de los equipos en fábrica.
- Mes 8: Transporte a Lima.
- Mes 12: Fin de montaje carrusel nº1.
- Mes 12: Pruebas en planta nº1 de fabricación.
- Mes 13: Pruebas para formulación del hormigón.
- Mes 14: Inicio producción carrusel nº1.
- Mes 15: Inicio producción carrusel nº2.



### 3 TÚNEL EXCAVADO CON MÉTODOS CONVENCIONALES

#### 3.1 MÉTODO CONSTRUCTIVO

##### 3.1.1 Generalidades

Las distintas programaciones para ejecutar los tramos de túnel en función de la geología y el plazo previsto fijan que la situación más favorable hace necesario realizar varios tramos en método convencional. Son cuatro tramos en dos zonas concretas que se detallan a continuación:

- Tramo 5 Línea 2 de la Primera Etapa A.- (19+472,57 - 23+340,25) Los plazos previstos para el tramo situado entre las estaciones de Evitamiento y Mercado de Santa Anita, hace necesaria la implantación inmediata y realizar los 4 túneles sin interferir con la ejecución de las 5 estaciones. Por ello se utilizan 4 pozos cenitales como frentes de ataque hacia las estaciones que serán los futuros pozos de emergencia y ventilación.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002116

Los 8 túneles se ejecutan a la vez según el nuevo método austriaco con rendimientos medios en torno a 2 metros diarios que garantizan amplitud de plazo para las instalaciones y pruebas necesarias.

- Final del Tramo 4 Línea 2, (17+575,60 - 19+318,34) entre las estaciones de Nicolás Arriola y Evitamiento. En este punto está prevista la tercera vía que se realizara en métodos convencionales de 457 m., de esta manera el pequeño tramo hasta conectar con Nicolás Arriola y al resto hasta Evitamiento no admitiría utilizar TBM.

En este tramo se ha constatado, mediante campaña geotécnica, la presencia del substrato rocoso entre las progresivas 18+250 y 18+630, lo que hace que la excavación por métodos convencionales resulte más adecuada.

- Tramo 6 Línea 2 (23+749,99 - 26+589,42), entre Mercado de Santa Anita y Municipalidad de Ate. estaba previsto en el contrato de Concesión como tramo a ejecutar mediante TBM, debido a la existencia de afloramientos del substrato rocoso muy próximos al trazado, no se puede descartar la interferencia con ellos y los posibles riesgos para la máquina. Por esta razón se propone también el empleo de excavación por métodos convencionales en este tramo.
- Tramo 8 Línea 4 (7+375,694 - 7+450) en el cruce del túnel de L4 por debajo del túnel de L2, al haber ajustado el cruce entre túneles a una distancia mínima, se plantea la ejecución de un tramo en convencional bajo el túnel ejecutado con TBM. Así se minimizará la afección al túnel superior, debido a que las tensiones generadas en el terreno son mucho menores que las que genera la excavación con tuneladora. Están previstos tratamientos de consolidación para mejorar el terreno circundante y reducir afecciones a túnel de Línea 2.

El método convencional de excavación en suelos mediante medios mecánicos convencionales de modo secuencial se realizará desde pozos situados en el eje del túnel con diámetro interior de 16,5 m. desde los cuales se realizarán dos emboquilles para dirigir las excavaciones hasta las estaciones próximas, desde estos puntos y con medios de elevación fijos se introduce el material, equipos y se extraen las tierras. Actuará un equipo por túnel en doble turno y en trabajo continuo controlando los tiempos y las deformaciones que se producen por descompresión al excavar (con medidores de convergencia, extensómetros) minimizando las deformaciones del terreno por medio de hormigón proyectado, colocación de cerchas metálicas y otras técnicas complementarias.

Este método pretende que el sostenimiento provisional más flexible se adapte al terreno y trabaje desde el momento en que se efectúa la excavación, con ello se pretende que el terreno colabore como elemento resistente, rebajando las tensiones que solicitan al recubrimiento definitivo del túnel, que en consecuencia resulta de bastante menos espesor que el que se obtendría con un método tradicional.

#### 3.1.2 Excavación

##### 3.1.2.1 Introducción

Las labores de extracción de material en obras de túneles es tarea importante que merece toda la atención y vigilancia. El poco espacio de maniobra, problemas derivados de la ventilación de espacios cerrados, problemas de seguridad y salud y problemas de estabilidad pueden afectar a los trabajadores.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Existen tipos de excavadoras y cargadoras desarrolladas para las más duras aplicaciones subterráneas, con objetivos orientados a economizar la producción, incrementar la seguridad y fiabilidad.

Adecuar la maquinaria al método constructivo propuesto, basado en la aplicación de métodos convencionales ampliamente desarrollados, procedimientos ampliamente contrastados para cada una de las secciones que se excavarán secuencialmente y por fases. Las fases en las que se divide cada una de las secciones son: avance,

destroza y contrabóveda.

#### 3.1.2.2 Secuenciación de la excavación

A continuación se exponen brevemente diversos aspectos relacionados con la excavación de cada una de estas fases:

- **Avance:** es la mitad superior de la sección del túnel (zona de bóveda). La sección de excavación de esta fase tiene una altura media central de 5 m que permite la correcta movilidad de la maquinaria necesaria. La definición geométrica para cada tipo de sección se recoge en los planos correspondientes.
- **Destroza:** es la mitad inferior de la sección del túnel. Su excavación se podrá subdividir a su vez en varias fases, tanto por condicionantes geotécnicos como por sistemática de ejecución durante la obra. En el caso de hacerse en dos fases, en primer lugar se excavará una mitad de la sección, se sostendrá su hastial, para, a continuación, excavar la otra mitad y sostener el hastial restante. Las excavaciones en varias fases reducen al máximo la sección de excavación y, por lo tanto, aumentan la estabilidad.
- **Contrabóveda:** excavada bajo la destroza. En el caso de no formar parte del revestimiento primario (terreno con mejores características geotécnicas) puede ejecutarse simultáneamente a la construcción del revestimiento definitivo (hormigón armado).

#### 3.1.2.3 Excavación mecánica

El método convencional de excavación se realizará desde pozos situados en el eje del túnel con diámetro interior de 16,5 m. desde los cuales se realizarán dos emboquilles para dirigir las excavaciones hasta las estaciones próximas, desde estos puntos y con medios de elevación fijos se introduce el material, equipos y se extraen las tierras.

En general la excavación se realizará mediante retroexcavadora utilizando un cazo excavador, ocasionalmente será necesario el empleo riper o martillo hidráulico.

Se estima que el 90% del volumen sea excavado utilizando el cazo excavador y el 10% restante con el martillo hidráulico.

Existe maquinaria específica para el trabajo en túneles de esta tipología que incrementa los rendimientos y reduce los plazos adecuándose a las características geotécnica de los materiales. Disponemos de máquinas agrupadas en tres tipos que desarrollaremos posteriormente: Excavación y sostenimiento, Evacuación de escombros, Ventiladores y captadores.

Los metros iniciales de la excavación del avance se efectuará al abrigo de un paraguas de micropilotes de 12 m de longitud, en general, ejecutado previamente al inicio de la excavación que ayudan a contener el material descomprimido o alterado al ejecutar el pozo. Una vez ejecutado el paraguas con la correspondiente viga de atado, se procederá a la demolición de las pantallas o pilotes en la zona correspondiente a la sección, quedando la parte de las





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

pantallas o pilotes sin demoler, perfectamente sujetas por la viga de atado. Seguidamente se procede a la excavación del túnel.

#### 3.1.3 Ciclos de Trabajo

La ejecución de la excavación, revestimiento primario, impermeabilización y revestimiento definitivo de los túneles se realizará de acuerdo a procesos cíclicos. A continuación se describen los ciclos de trabajo a seguir en cada etapa de ejecución:

Ciclos de excavación y revestimiento primario: la primera etapa en la ejecución de los túneles es la excavación y revestimiento primario. La longitud de los pases de excavación dependerá de la calidad del terreno, variando entre 2 m para los de mejor calidad y 1 m para los de peores características geotécnicas. Simultáneamente a la excavación, se harán las labores de desescombro. Una vez finalizado el pase de excavación, se colocará el revestimiento primario previsto. Este método pretende que el sostenimiento provisional más flexible se adapte al terreno y trabaje desde el momento en que se efectúa la excavación, con ello se pretende que el terreno colabore como elemento resistente, rebajando las tensiones que solicitan al recubrimiento definitivo del túnel, que en consecuencia resulta de bastante menos espesor que el que se obtendría con un método tradicional. El ciclo finaliza con el replanteo del siguiente pase de excavación.

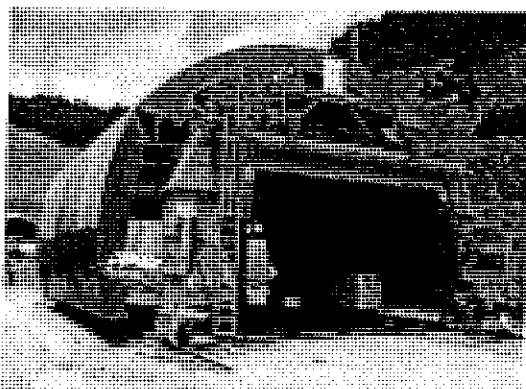
Mediante este proceso cíclico, se excavará tanto el avance como la destroza.

Ciclos de colocación de la impermeabilización y revestimiento definitivo: el proceso constructivo de colocación de la impermeabilización y del revestimiento definitivo constará de las siguientes fases. En primer lugar, se comprobarán escrupulosamente las secciones transversales del túnel para verificar que se dispone de espacio suficiente para obtener un canto mínimo de revestimiento. Posteriormente, se colocará la impermeabilización en todo el túnel. En tercer lugar, se hormigonará un muro-zapata hasta la altura correspondiente al inicio de la bóveda. En la parte superior del muro se dejará embebidas unas roscas para el posterior atornillado de las sujeciones del carro de encofrado (conos de amarre). La misión de los muros - zapata es múltiple: transmisión a la base de los esfuerzos del revestimiento (axiles y flectores), apoyo y sujeción del encofrado de la bóveda, e incluso son parte del propio revestimiento estructural del túnel.

En cuanto a la contrabóveda, hay dos variantes, la correspondiente a las secciones en las que no se ejecuta en el ciclo anterior (Secciones tipo A y B) y la correspondiente a la sección en la que sí se ejecuta la contrabóveda con el sostenimiento primario (Sección tipo C).

En la primera variante se excavará la contrabóveda una vez ejecutados los muro-zapata y en la segunda variante, en la que la contrabóveda se ha ejecutado en el revestimiento primario, el revestimiento de la contrabóveda, se ejecutará a la vez que los muro-zapata.

Posteriormente, se posicionará el carro de encofrado y se hormigonará el revestimiento definitivo. Los carros de encofrado para túneles constituyen estructuras auxiliares móviles que sirven para realizar el hormigonado de la sección. Combina la estructura de apeo con el encofrado que da forma a la bóveda. Estos sistemas de encofrado, están formados por una subestructura interior, y paneles que cubren y se unen de forma solidaria a dicha subestructura, ambos de naturaleza metálica, conformando un carro de encofrado ajustado a la geometría de sección del túnel, cuyo avance es través de carriles o railes. Suelen disponer de sistemas hidráulicos para el avance, el encofrado, el desencofrado.





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002119

Todas las operaciones de montaje, desmontaje, fase de trabajo, y de traslado, deben ser supervisadas y coordinadas por técnico competente con probados conocimientos en túneles y elementos auxiliares.

#### 3.1.4 Equipos y maquinaria a emplear

##### 3.1.4.1 Generalidades

La maquinaria empleada para la construcción del túnel de línea puede clasificarse, en base a su cometido, en los siguientes tipos:

- Maquinaria de excavación y desescombro.
- Maquinaria de colocación del sostenimiento.
- Maquinaria para el revestimiento y la impermeabilización.

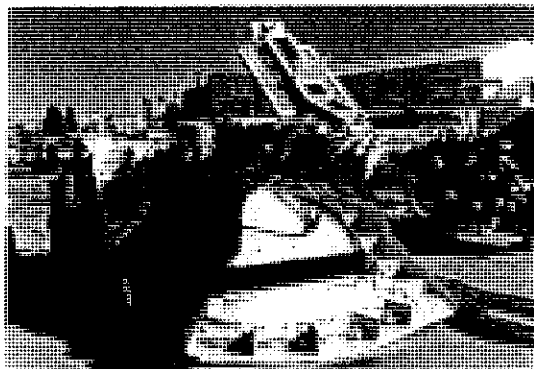
##### 3.1.4.2 Equipos y maquinaria de excavación y desescombro

Los túneles se excavarán solo utilizando medios mecánicos. Para la ejecución de la excavación se dispondrá maquinaria adecuada a las dimensiones del diámetro y radio de acción disponible en cada fase, con el fin de garantizar los correctos niveles de aire, se vigilará el perfecto funcionamiento de motores y ventilación para eliminación de gases. Una de las máquinas más versátiles es la retroexcavadora sobre orugas con brazo de doble o triple articulación, específica para obras subterráneas que pueda montar un martillo picador o cazo excavador. También existe otro tipo de máquina específica para túnel y para un abanico más cerrado de terrenos que aumentan mucho el rendimiento, pueden trabajar en modo eléctrico y solo se desplazan con el motor diésel.

La máquina rozadora-cargadora está diseñada para excavar en terrenos cuya resistencia a la compresión sea del orden de 1055 kg/cm<sup>2</sup>, aunque hay otros factores que influyen.

Se compone fundamentalmente de un cuerpo principal montado en dos conjuntos gemelos de orugas, sobre el que se incorpora el conjunto de corte, los sistemas hidráulico y eléctrico y el transportador de rastra.

el material excavado se recoge del suelo por medio de las racletas de una cinta de carga que circula alrededor del brazo de corte y que es accionada por un motor hidráulico de baja velocidad y par alto. el material se va acumulando en la parte posterior de la máquina, donde se pasa por medio de una rampa a un transportador de puente que puede girar 90° a cada lado del eje de la máquina.



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



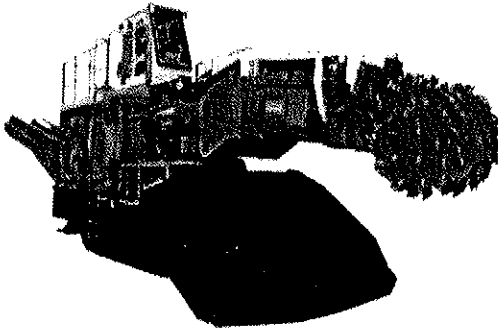
A

Otro modelo para material con una resistencia a la compresión de 160 MPa. equipado con 2 x 57 picas cónicas. Diámetro de 1.300 mm. Velocidad de pivotación 0,2 m/s, ángulo de pivotación izq./dcha. 37°. velocidad de corte: 1,4 m/s.

El sistema de desescombro consiste en una bandeja de carga (que puede ser elevada y bajada hidráulicamente) de 4.560 mm de anchura, dos transmisiones de carga y hélices



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



cargadoras. Durante el corte, la rozadora se estabiliza mediante dos cilindros hidráulicos a través de la bandeja de carga.

Modelo de excavadora de tunel e3. de motor diesel y electrico, equipado con cuchara de 500 mm de tres dientes. diente "ripper" de 80 mm con sistema manual para replegar el cazo.

Desescombro por cadena, con mesa de carga, laterales independientes ajustables hidráulicamente. la doble cadena unida por rascietas es accionada

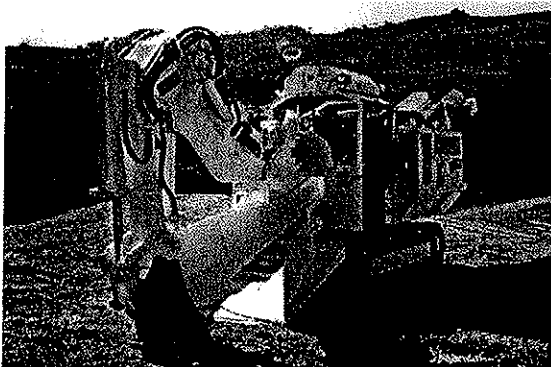
por 2 motores hidráulicos.

Otro modelo de excavadora equipado con cucharas de distintos tamaños, martillo y dispositivo de agua antipolvo acoplado marca deutz.

Desescombro con cadena, con mesa de carga, laterales independientes ajustables hidráulicamente. la doble cadena unida por rascietas es accionada por 2 motores hidráulicos.

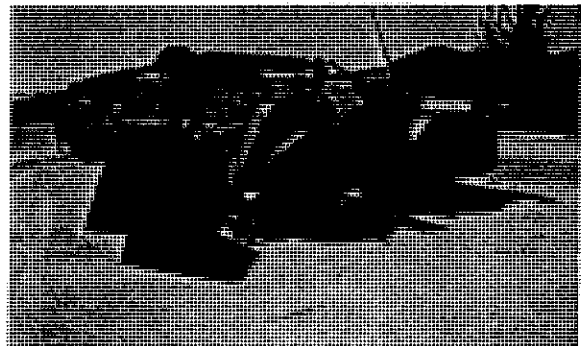
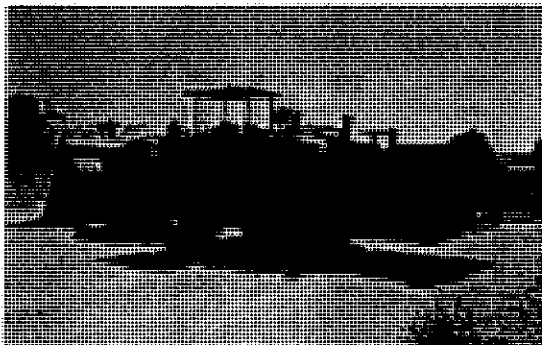
El traslado del escombro a los equipos de elevación se puede realizar con pala cargadora de neumáticos y perfil bajo o camiones de perfil bajo en función de la distancia del frente de excavación al pozo de ataque, existen varios modelos muy utilizados en este tipo de ambientes.

Las cintas trasportadoras, los sistemas de bombeo y ventilación son equipos auxiliares necesarios para distintas fases del túnel y se dispone de sistemas muy versátiles adecuados a solucionar cada incidencia.



#### 3.1.4.3 Equipos y maquinaria de colocación de revestimiento primario

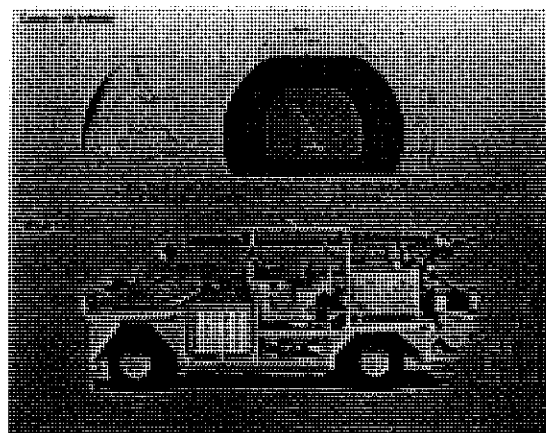
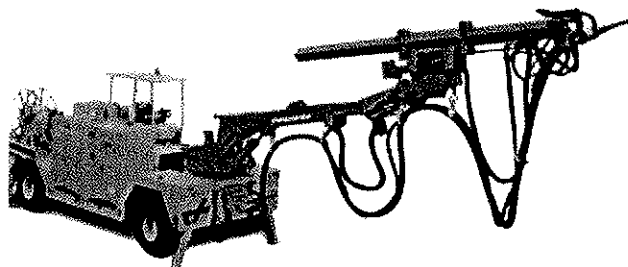
Los volúmenes que se estima deben ser colocados de hormigón proyectado para estabilización primaria de la excavación y revestimiento, hace necesario utilizar un equipo de los que a continuación se muestran para garantizar la correcta puesta en obra.



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



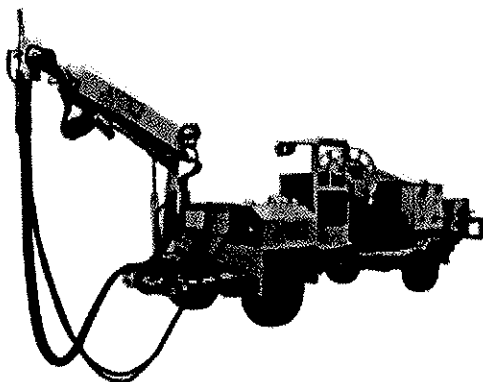
### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



**Hormigón Proyectado:** tiene dos funciones principales; sellar la superficie del terreno, evitando su descompresión y alteración, desarrollar una resistencia inicial que trabaja resistiendo las cargas que le transmite el terreno.

Es conveniente aplicarla en el menor tiempo posible para garantizar a corto plazo la estabilidad de la sección, evitando la pérdida de humedad o alteración que pueda originar desprendimientos. Una vez colocados el resto de elementos de sostenimiento se procederá a proyectar por capas el resto hasta conseguir el espesor propuesto, cada capa no podrá exceder de 10 cm.

Se aplicará con este tipo de robot de gunitado por vía húmeda, el abastecimiento se realiza con cubas especiales a tal efecto. La longitud del perímetro de la sección obliga a utilizar una máquina de gran capacidad para no alargar en exceso los ciclos de trabajo. Esta máquina equipará todos los accesorios necesarios: gunitadora, brazo de proyección articulado, tolvas para la recepción del hormigón y la adición de aditivos, y chasis automóvil.



La mezcla de los componentes del hormigón habitualmente se hace en planta, aunque también podrá hacerse a boca de túnel. Los aditivos se añadirán mediante la bomba dosificadora que porta la máquina de proyección.

Para alcanzar una mayor capacidad a flexotracción, se reforzará el hormigón proyectado con fibras de acero, que permite gunitar mayores espesores y disminuye el rechazo.

El equipo de proyección se limpiará y revisará minuciosamente al finalizar cada turno de trabajo; estas operaciones son de gran importancia para la correcta ejecución de los trabajos de proyección.

Como reserva y como previsión ante posibles inestabilidades o averías, se dispondrá de un segundo equipo de proyección de menor rendimiento.

**Cerchas:** Las Cerchas aportan rigidez al sostenimiento, su rigidez inicial es definitiva siempre que se asegure el contacto con el terreno. Dependiendo de las necesidades portantes se podrán aumentar o disminuir su número por tramo. Estas pueden quedar arriostradas entre sí por redondos de acero soldados donde sean necesarios, los huecos quedan rellenos de hormigón proyectado y su recubrimiento mínimo es de 3cm.

Para la colocación de las cerchas se dispondrá de una plataforma de elevación móvil independiente, que permita acceder a cualquier punto de la sección con garantía de seguridad y estabilidad.

Como elementos auxiliares se dispondrá, además, de equipos de oxi-corte, unidad móvil de soldadura eléctrica y herramienta de mano.



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

#### 3.2 REVESTIMIENTO PRIMARIO

##### 3.2.1 Pre-dimensionamiento inicial revestimiento primario

El punto de partida del diseño ha sido la solución propuesta en el Estudio de Proinversión a Nivel de Factibilidad del Proyecto (en adelante, Estudio de Factibilidad), en concreto la geometría del túnel y el empleo de capas sucesivas de hormigón proyectado con fibras de acero junto con cerchas reticuladas.

A partir de un pre-diseño inicial, se ha comprobado la capacidad estructural del revestimiento primario para las situaciones más desfavorable en cuanto a las características geotécnicas del terreno y en cuanto al recubrimiento.

La comprobación de la capacidad estructural se ha realizado por métodos numéricos, en concreto, elementos finitos por medio de la aplicación comercial PHASE<sup>2</sup> de Rocdata.

##### 3.2.2 Secciones tipo de revestimiento primario propuestas

Tras un proceso iterativo, se han planteado tres secciones tipo de revestimiento primario que se presentan en la *Tabla 4 Secciones Tipo de Revestimiento Primario*.

Tabla 1: Secciones Tipo de Revestimiento Primario

SECCIÓN N TIPO	TIPO DE TERRENO	HORMIGÓN PROYECTAD O (cm)	CERCHAS Tipo Espaciament o (m)	LONGIT UD DE PASE (m)	CONTRABÓVED A (*)
A	Conglomer ado de Lima	5,0 + 15,0	TE-70 De 1,0 m a 2,0 m	De 1,0 a 2,0	NO
B		5,0 + 20,0	TE-130 A 1,0	1,0	NO
C		5,0 + 20,0	TE-130 A 1,0	1,0	SI

NOTAS:

(\*) Se refiere a la necesidad de contrabóveda en el revestimiento primario, en el definitivo las tres secciones tipo tienen contrabóveda.

##### 3.2.3 Criterio de aplicación

El criterio de aplicación de cada una de las secciones es en función de las características geotécnicas del terreno que se observen en el frente de excavación en cada pase, en concreto de la densidad relativa/velocidad de transmisión de las ondas sísmicas tipo P.

De acuerdo a los estudios geotécnicos, el Conglomerado de Lima, se puede dividir en dos, por un lado, en el que las ondas P se transmiten a una velocidad media de 1500 m/s y que se denominan "GP-S f" y por otro lado, en el que las ondas P se transmiten a una velocidad media de 750 m/s y que se denominan "GP-S s".

El criterio de aplicación sería el siguiente:

- Sección Tipo A: Se aplicará si la totalidad del frente de excavación está constituido por las gravas denominadas "GP-S f", es decir, las de densidad relativa muy elevada ( $V_p \geq 1500$  m/s).

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

- Sección Tipo B: Se aplicará si parte del frente de excavación presenta las gravas denominadas "GP-S s", es decir, las de menor densidad relativa ( $V_p < 1500$  m/s).
- Sección Tipo C: Se aplicará si la totalidad de la sección presenta las gravas denominadas "GP-S s", es decir, las de menor densidad relativa ( $V_p < 1500$  m/s).

#### 3.2.4 Comprobaciones Numéricas

Mediante análisis numérico se realizan las comprobaciones correspondientes a la sección de sostenimiento tipo A y a la sección de sostenimiento tipo C y que sirven para confirmar la sección tipo B, puesto que es una mezcla de ambas (La contrabóveda de la sección tipo B es igual a la sección tipo A y la bóveda de la sección tipo B es igual a la de la sección tipo C).

En la comprobación de cada sección tipo de sostenimiento se tiene en cuenta el recubrimiento correspondiente al tipo de terreno, de acuerdo al perfil geotécnico interpretado.

El análisis tenso-deformacional se ha realizado utilizando la aplicación informática FLAC3D de Itasca, que emplea el método de las diferencias finitas y permite analizar un modelo de tres dimensiones. Para este análisis se ha contado con la participación de la oficina de Itasca en España (ITASCA Consultores SL) que ha realizado la modelización y el análisis bajo la dirección y supervisión de AYESA-EUROESTUDIOS.

Los resultados obtenidos, así como una memoria explicativa, se incluyen el *Apéndice I. Modelización numérica (FLAC3D) para la comprobación de las secciones tipo de revestimiento primario del Metro de Lima* del Apartado A.6.4 Memoria de cálculo de las estructuras permanentes, donde se puede comprobar que los resultados obtenidos son los que se presentan en la *Tabla 5 y 6*

**Tabla 2: Sección tipo A. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo**

			Máximo	Observaciones
Fase Final	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	10.5	Localizados sobre clave
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	10.3	Localizados en el hastial de destroza
		Desp. Vertical en superficie (mm)	4.1	Máximo sobre clave
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	2.7	Máximo a 13 m del eje del túnel
		Plastificación	1-1.5 m	Alrededor de la excavación
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5	Las tracciones son nulas en prácticamente toda la sección
		Compresiones (MPa)	3.25	Máximos puntuales en la unión bóveda+solera provisional en avance
		Semicvergencia Horiz. medible (mm)	8	Máximo localizado en la unión hastial-contrabóveda
		Bajada de clave medible (mm)	8	En la bóveda máximos de 2.6 MPa
	Cerchas TE-70	Axíl (T)	13.7	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
		Flector (m²T)	0.04	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
				Estos valores corresponden a los máximos, no tienen porque ser concomitantes
				En diagrama de Interacción, con valores concomitantes, se obtiene un FS=3.18

**Tabla 3: Sección tipo C. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



		Máximo	Observaciones	
Fase Final	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	29.7	Localizados sobre clave
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	39.9	Localizados en el hastial de destroza
		Desp. Vertical en superficie (mm)	16.0	Máximo sobre clave
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	7.4	Máximo a 17 m del eje del túnel
		Plastificación	1-1.5 m	Aireedor de la excavación
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5	Las tracciones son nulas en prácticamente toda la sección Máximos puntuales (0.7 MPa) en la unión hastial-contrabóveda
		Compresiones (MPa)	5.8	Máximo localizado en la unión hastial-contrabóveda
		Semiconvergencia Horiz. medible (mm)	25	En la bóveda máximos de 3.7 MPa
		Bajada de clave medible (mm)	15	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
	Cerchas TE-130	Axil (T)	19.2	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
		Flector (m <sup>2</sup> T)	0.26	Estos valores corresponden a los máximos, no tienen porque ser concomitantes
	Factor de seguridad del frente		1.25	En diagrama de Interacción, con valores concomitantes, se obtiene un FS=2.13
				Se considera una fase intermedia con el pase de avance abierto (1 m)

#### 3.2.5 Emboquilles

Los metros iniciales de la excavación del avance se efectuará al abrigo de un paraguas de micropilotes de 12 m de longitud, en general. El paraguas será ejecutado previamente al inicio de la excavación desde el pozo que hará las funciones de pozo de ataque. Una vez ejecutado el paraguas con la correspondiente viga de atado, se procederá a la demolición de las pantallas o pilotes en la zona correspondiente a la sección a excavar, quedando la parte de las pantallas o pilotes sin demoler, perfectamente sujetas mediante la viga de atado. Seguidamente se procede a la excavación del túnel.

Todos los tramos ejecutados en mina por métodos convencionales se inician desde pozos de ventilación, estaciones y terceras vías, cuyos cálculos se detallan en los puntos correspondientes (A.6.9. Excavación en trinchera, A.7.4. Estaciones. Memoria de cálculo de estructuras permanentes, A.9.5.2. Memoria de cálculo para las estructuras permanentes. Pozos). En el A.6.1 están los planos de procedimientos constructivos donde se identifica los tramos a ejecutar en mina con métodos convencionales.

#### 3.2.6 Estabilidad del Frente

La estabilidad del frente depende de la capacidad del núcleo de terreno que se encuentra por delante del avance, para soportar la redistribución de tensiones, debido a la propia excavación del túnel y que las deformaciones que se produzcan estén dentro de niveles admisibles.

Se ha comprobado la estabilidad del frente en aquellas secciones de mayor superficie, como es el avance de la excavación de la caverna del eje de estación.

La comprobación se ha realizado por métodos numéricos mediante la utilización de la aplicación comercial FLAC3D y cuyo resultado se encuentra en el Apéndice I. Modelización numérica (FLAC3D) para la comprobación de las secciones tipo de revestimiento primario del Metro de Lima del Apartado A.6.4 Memoria de cálculo de las estructuras permanentes.

Tal y como se puede comprobar en dicho documento, el frente es estable incluso en las etapas con mayor superficie de excavación. No obstante se ha determinado que el núcleo del frente plastifica, pudiéndose producir alguna inestabilidad. Para evitar esto y como medida de seguridad adicional, se ha comprobado la bondad de excavar el frente dejando un machón central.

La técnica de excavación con machón central, consiste en que la excavación del avance se realiza iniciando la excavación de todo el contorno perimetral, dejándose sitio suficiente para

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

la colocación de las cerchas y dejando sin excavar el material situado en la parte central, a modo de "machón central" que actúa como contrafuerte del frente. Una vez colocada la cercha y proyectada la capa de hormigón, se procede a excavar un metro de machón; para que el machón sea efectivo, debe tener al menos una longitud de tres metros. Es decir, que la parte central del avance debe tener un decalaje de tres metros respecto a la excavación del contorno.

Puesto que la excavación es mecánica, en la práctica totalidad del trazado y la excavación con machón central no supone ningún perjuicio al ciclo, en cuanto a incrementos de coste o tiempo de ejecución; se utilizará la técnica del machón central en todas las excavaciones en mina, puesto que aunque no es estrictamente necesario, incrementa la estabilidad del frente y por tanto la seguridad de los trabajadores sin ningún tipo de coste adicional.

En cuanto a la necesidad de utilizar paraguas de pre-sostenimiento, se ha comprobado que no son necesarios sistemáticamente, pudiendo ser necesarios de forma ocasional en caso de afectar una zona con características geotécnicas particularmente bajas.

No obstante, en todos los arranques de los túneles o cavernas planteados a ejecutar en mina, ya sea desde un recinto entre pantallas u otro túnel o caverna, se ejecutará un paraguas de micropilotes para el pre-sostenimiento de la bóveda del túnel o caverna antes del inicio de la excavación.

Se ha considerado conservadoramente un rendimiento medio de ejecución de 2,3 a 2,5 m por día.

#### 3.2.7 Tratamientos Especiales

Se conciben los tratamientos especiales, como aquellos elementos, técnicas o procesos constructivos que pueden aplicarse de manera ocasional y no de forma sistemática en zonas donde las características geotécnicas sean particularmente bajas.

A continuación se describen los tratamientos especiales adecuados a las características geotécnicas del terreno afectado:

**Hormigón proyectado en el frente:** En ocasiones, puede ser necesario proceder al gunitado del frente. El grosor de la capa de hormigón proyectado puede ser del orden de 3-5 cm. La proyección deberá realizarse a la vez que la capa de sellado, pudiendo ser necesario proceder por fases sucesivas (protección de cada parte excavada). El hormigón proyectado estará reforzado con fibras y se dispondrán los drenes correspondientes.

**Paraguas pesado:** En caso de que el terreno presente condiciones muy desfavorables, puede ser necesario disponer paraguas de micropilotes en el avance, para favorecer la estabilidad de la bóveda del túnel.

#### 3.3 IMPERMEABILIZACIÓN

El sistema de impermeabilización en el túnel se ha planteado de manera que no se infiltre agua al interior del túnel, es decir, un túnel no drenante y que por tanto, se establezcan todas las medidas necesarias para que el túnel sea totalmente impermeable.

Los materiales por los que circula el túnel se consideran permeables desde un punto de vista hidrogeológico aunque presentan permeabilidades consideradas bajas (entre  $10^{-4}$  m/s y  $10^{-5}$  m/s según el Estudio de factibilidad).

Aunque en algún sondeo se ha detectado presencia de agua por encima de la cota del túnel, en general, el túnel de línea excavado por métodos convencionales discurre por encima del nivel freático, puesto que los materiales constituyen un acuífero libre en el que el nivel freático se encuentra muy por debajo de la cota del túnel, aunque no se descarta que durante la vida de la infraestructura pueda subir hasta la cota del túnel.

Por tanto, la impermeabilización del túnel se realiza colocando una lámina de PVC con un geotextil de protección en su trasdós, que se aplican en el paramento del revestimiento primario, quedando dispuestas en "Sandwich" entre el revestimiento primario y el

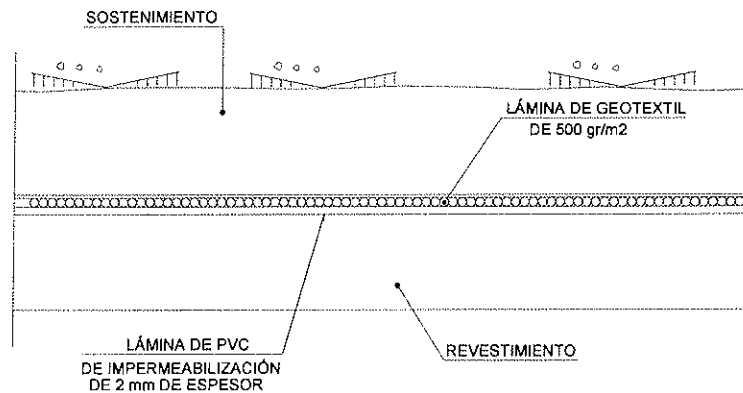




### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

revestimiento definitivo. Tanto la lámina como el geotextil rodean por completo la sección del túnel con el objetivo de impedir la entrada de agua al interior del mismo.

En el esquema siguiente se presenta la disposición de la lámina de impermeabilización y el geotextil:



## 3.4 AUSCULTACIÓN Y CONTROL

### 3.4.1 Generalidades

En los túneles ejecutados por métodos convencionales y como principio fundamental de la filosofía del Nuevo Método Austriaco (NATM) para la ejecución de los túneles, la adecuada auscultación y control sistemático de los trabajos de excavación y sostenimiento forma parte esencial del método.

El seguimiento comprende el control geométrico y topográfico, la comprobación de las secciones transversales, gálibos y soleras, así como la auscultación mediante la realización de medidas específicas de convergencia, extensométricas y de presión.

### 3.4.2 Control geométrico y topográfico

Al margen de cualquier información existente, la comprobación por parte de los equipos de topografía debe poner especial empeño en la toma de datos para garantizar una correcta red externa de puntos con monumentación de bases y enlace con puntos geodésicos y observaciones GPS para garantizar el riguroso control de la dirección de las excavaciones.

Los expertos de topografía deben garantizar la correcta dirección de las excavaciones, y además de que el sistema topográfico de unión de bocas se encuentre perfectamente comprobado, los trabajos de poligonación en el interior deben verificar la orientación absoluta y evitar errores que en grandes distancias pueden adquirir una magnitud importante.

La ejecución de un túnel mediante NATM se realiza en fases de ejecución cíclicas que suelen ser, salvo incidencias puntuales, idénticas para todo el proceso de excavación y sostenimiento. El diseño de las redes internas, su seguimiento y guiado dotará de los equipos necesarios que permitan garantizar el buen fin de las mismas.

Los túneles convencionales se ejecutan por uno o dos frentes y no debe pasarse por alto que se realizan en un medio ciertamente hostil, siendo necesario la vigilancia de las referencias topográficas (vértices de poligonal) y desplazamientos de referencias por la propia convergencia del terreno.

#### 3.4.2.1 Triangulación exterior

Previamente al inicio de los trabajos, se realizará la triangulación exterior, efectuando el cierre topográfico entre las bocas y la colocación de las bases necesarias para acometer los trabajos en el túnel.

### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

#### **3.4.2.2 Topografía interior**

Consistirá en:

- Implantación de las bases topográficas en el interior del túnel durante las distintas fases de su ejecución para la correcta ejecución de los apoyos topográficos al frente.
- Comprobación del eje del túnel y ayudas al replanteo.

Los trabajos de topografía actualizarán diariamente las referencias respecto a la situación del eje del túnel y rasante de replanteo.

En los trazados curvos se entregarán a los responsables de la excavación las plantillas correctoras con las distancias de traslación en función de la distancia y curvatura.

La mayor parte de las fases de ejecución implican un elevado nivel de ruido, atmósfera sucia y tráfico denso de maquinaria y elementos de transporte; por esta razón los equipos topográficos deben desarrollar su trabajo aprovechando los escasos momentos en que las condiciones ambientales son óptimas, sobre todo para realizar trabajos de precisión y teniendo en cuenta que, salvo en casos puntuales plenamente justificados, la producción de la obra no puede ni debe detenerse.

#### **3.4.2.3 Comprobación de secciones transversales**

Consistirá en la ejecución de las secciones transversales de comprobación de la sección libre dejada por los revestimientos primarios y en el control de la posible existencia de sobreexcavaciones en solera o contrabóveda.

Otros controles y mantenimientos rutinarios consistirán en la determinación del P.K. del frente en cada pase de avance y destroza, con la toma de dos medidas a cada lado de la excavación y la colocación y mantenimiento de referencias visibles con el P.K., en cada 10 m de distancia, en ambos hastiales y clave del túnel.

### **3.4.3 Auscultación**

#### **3.4.3.1 Generalidades**

La auscultación, como es habitual, constará de una instrumentación extendida a lo largo del túnel y de una instrumentación específica, localizada en secciones de control.

Las características de cada tipo se describen a continuación:

#### **3.4.3.2 Auscultación a lo largo del túnel**

Medidas de convergencias

Se controlarán en secciones equipadas con 5 pernos, mediante el acoplamiento de la cinta extensométrica para medida de apertura o cierre de distancia entre pernos. Se instalará uno de los pernos en la clave y los otros cuatro en los arranques de bóveda y hastiales en el avance y destroza.

Los pernos se instalarán dentro de las 24 horas siguientes a la excavación del avance correspondiente, y siempre antes de la excavación del avance siguiente. En el momento de la instalación de los pernos se efectuará una lectura, que se establecerá como el origen de las medidas.

En las proximidades de los entronques, dado que se trata de zonas singulares, se intensificarán las medidas de convergencia. De esta forma, las estaciones de medida de convergencia se instalarán cada 5, 10, 15 y 25 m de túnel desde el entronque. Las demás estaciones de convergencia, si se requiriese, se dispondrían cada 25 m hasta completar la longitud de túnel.

Caracterización del terreno descubierto por la excavación

### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

En cada avance se tomarán los datos geológicos y geomecánicos que sean necesarios para clasificar el terreno dentro de los tipos considerados, o en las correlaciones terreno – revestimiento primario, generadas a partir del propio túnel a medida que se va construyendo.

#### Perforación de taladros en el frente

Cuando las condiciones geológicas, geotécnicas o hidrogeológicas existentes o previsibles así lo aconsejen, se podrá proceder a la realización de sondeos en el frente de una longitud correspondiente al avance de varios días, destinados a obtener información sobre posibles zonas con peores características geotécnicas.

#### **3.4.3.3 Auscultación en secciones de control**

Consistirá en la instalación, de los siguientes elementos:

- Células de presión total: Se dispondrán 3 unidades entre el sostenimiento y el revestimiento definitivo, en clave y hastiales.
- Extensómetros de varilla: Se instalarán 3 también en clave y hastiales. Se ha previsto que cada extensómetro esté compuesto por 3 varillas a 3, 6 y 9 m de longitud medidas desde la cara interior del sostenimiento. Los extensómetros se instalarán lo más rápido posible tras la excavación. Las deformaciones en los extensómetros se comenzarán inmediatamente tras su instalación.
- Medida de convergencias: Las secciones de control coincidirán con alguna de las secciones en que se midan convergencias.
- Esfuerzos en elementos metálicos: Se instalarán extensómetros de cuerda vibrante adosados a las cerchas del sostenimiento. Se instalarán 3 unidades, en clave y hastiales.

Se prevé la instalación de cada una de estas secciones en zonas representativas de cada tipo de sostenimiento considerado, así como en zonas especialmente conflictivas desde el punto de vista del terreno.

Además de la instalación de los instrumentos y de la toma de lecturas, la auscultación incluirá la organización de un sistema que permita al almacenamiento y procesamiento informático de los datos, la comunicación y el análisis inmediato de la información obtenida así como la introducción en la obra de las modificaciones que, a la vista de los datos de auscultación se consideren necesarias.

#### **3.4.3.4 Niveles de alerta**

Si se producen movimientos apreciables en las secciones de convergencia, será necesaria la adopción de medidas correctivas adicionales. Lo niveles de alerta que se emplearán serán los siguientes:

- Nivel de prevención:
  - Se adoptará si las medidas de convergencia alcanzan el 0,5% de la distancia o si se alcanza un movimiento de 5 mm/día.
  - Una vez alcanzado el nivel de prevención, se realizará un estudio sobre la necesidad de incrementar el revestimiento primario.
- Nivel de riesgo:
  - Se adoptará si las medidas de convergencia alcanzan el 1% de la distancia o si alcanza un movimiento de 1 cm/día.
  - Una vez alcanzado el nivel de riesgo, se reforzará el revestimiento primario.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

Además, en el *Punto A.6.7 Medidas de protección de edificios y servicios públicos* concretamente en el *Apartado 6.6 Niveles de Alerta*, se definen los niveles de alerta de los movimientos detectados en el exterior del túnel, es decir, edificios y estructuras cercanas.

#### 4 TRANSPORTE DEL MATERIAL EXCAVADO A LOS BOTADEROS

El volumen de material excedente proveniente de la excavación del túnel, estaciones y pozos de ventilación es considerable. Para eliminar los materiales excedentes producidos se han identificado dos Depósitos de Material Excedente (DME) con suficiente capacidad para atender los volúmenes de excedentes eliminados:

Ítem	DME	Ubicación	Lado	Altura (m)	Área (Has)	Volumen a Disponer (m <sup>3</sup> )	Volumen requerido por el Proyecto (m <sup>3</sup> )	Volumen potencial (m <sup>3</sup> )
DME-01	Costa Verde	Costanera	D	10	45.30	4 030 236.26	4 030 236.26	4 529 640.00
DME-02	Cieneguilla	Cieneguilla	I	35	22.34	6 268 834.34	6 268 834.34	7 818 417.25

Fuente: Consorcio Geodata-ESAN-Serconsult

El DME "Costa Verde" se localiza en la zona 18L, Latitud Este 271454.00 m E y Coordenada Norte: 8663164.00 m S. Para acceder al mismo desde cualquier progresiva del eje del proyecto, llegar a la progresiva 7+540 de la Línea 2 (Intersección Av. Universitaria con Av. Venezuela) transitando por el eje del proyecto, desde ese punto ir por la Av. Universitaria hasta la primera cuadra de dicha Avenida (en el distrito de San Miguel), doblar a la Av. La Paz hasta la cuadra 15, doblar por la Calle Callejón de Maranga hasta la Av. La Costanera, donde se inicia el DME La Costanera.

La distancia estimada desde la progresiva 7+540 de la Línea 2 es de 5.15 km.

A fin de evitar, incremento en la congestión vehicular en horas de aumento del tráfico en Lima Metropolitana ("horas punta"), el transporte al DME se realizará desde las 09:31 hasta las 16:59.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Ruta a DME "Costa Verde"

El DME "Cieneguilla" se localiza en la zona 18L, Latitud Este 298292.00 m E y Coordenada Norte: 8662896.00 m S. Para acceder al mismo desde cualquier progresiva del eje del proyecto, llegar a la progresiva 20+470 de la Línea 2 (Intersección Carretera Central con Av. La Molina) transitando por el eje del proyecto, desde ese punto ir por la Av. La Molina hacia el distrito de La Molina hasta llegar a la Av. La Universidad, continuar por la Av. La Universidad hasta la Av. La Molina, continuar por la Av. La Molina hasta llegar a la Av. Cieneguilla, continuar por la Av. Cieneguilla hasta llegar al Km. 14.5 de dicha Avenida, donde se inicia el DME Cieneguilla.

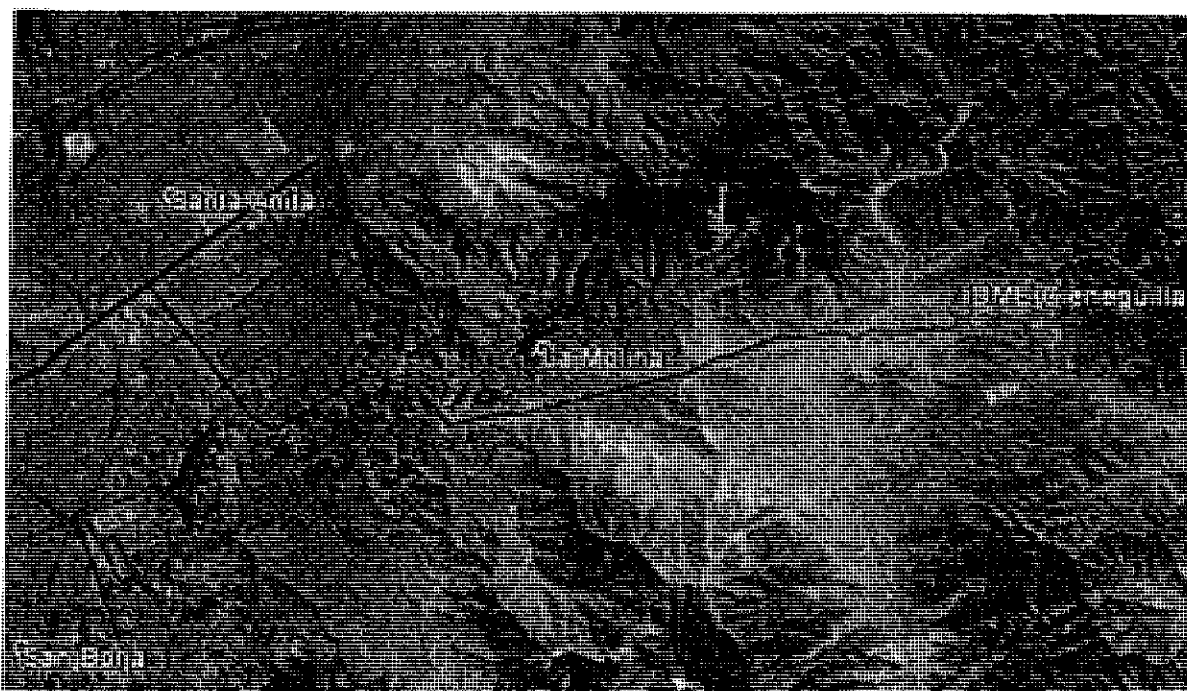
La distancia estimada desde la progresiva 20+470 de la Línea 2 es de 14.5 km.

A fin de evitar, incremento en la congestión vehicular en horas de aumento del tráfico en Lima Metropolitana ("horas punta"), el transporte al DME se realizará desde las 09:31 hasta las 16:59.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Ruta a DME "Cieneguilla"

En el Punto K.1.1 *Gestión Ambiental* del Documento K *Plan de Gestión Ambiental y de Seguridad y Salud*, se incluyen el Subprograma de Manejo de Residuos Sólidos y Efluentes que incluye un Plan de Gestión de Residuos que contempla todos los aspectos sobre los materiales excedentes de la excavación y de todos los Residuos sea cual sea su naturaleza.

## 5 PLAN DE CONTINGENCIAS

### 5.1 INTRODUCCIÓN

La excavación de cualquier obra subterránea es una actividad de especial riesgo para el personal y es por ello, que se ha realizado un especial esfuerzo para desarrollar un Plan de Seguridad y Salud que incluye un Plan de Contingencias.

El Plan de Contingencias o Plan de Emergencia, es el elemento de gestión que define los objetivos, estrategias y programas que orientan las actividades de prevención, la reducción de riesgos, la atención de emergencias y la rehabilitación en caso de desastres; de manera que se permita reducir o minimizar los daños, víctimas y pérdidas que podrían ocurrir a consecuencia de fenómenos naturales, antrópicos o de las actividades propias de construcción potencialmente peligrosas.

Los objetivos del Plan de Emergencia son los de analizar e identificar los riesgos que pueden afectar al centro de trabajo, planificar y describir la estrategia o procedimientos de respuesta y definir los recursos técnicos y humanos necesarios para ello.

A continuación se presenta una síntesis de los aspectos más importantes del Plan de Contingencias. No obstante en el Punto K.1.2 *Plan de Seguridad y Salud de Diseño y Construcción* del Documento K *Plan de Gestión Ambiental y de Seguridad y Salud*, se desarrolla ampliamente el Plan de Contingencias además de todos los demás aspectos del de Plan de Seguridad y Salud previsto para todas las fases y circunstancias del Proyecto.

### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

#### **5.2 SITUACIONES DE RIESGO PREVISIBLES**

Las principales situaciones de riesgo que pueden dar lugar a una emergencia:

- Incendio
- Explosión
- Amenaza de bomba
- Accidente de trabajo
- Fallos estructurales, hundimientos
- Riesgos naturales

#### **5.3 PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES ANTE EMERGENCIAS**

De cara a prevenir, controlar y mitigar los probables daños ocasionados durante una emergencia, se planifican una serie de actividades a seguir, antes, durante y después de la misma. Esta planificación conlleva la disposición de un grupo humano organizado y capacitado para atender las contingencias de emergencias bajo las siguientes premisas:

- Responder en forma rápida y eficiente frente a cualquier emergencia con posibilidad de riesgo a la vida en general, la salud y el medio ambiente, manejando las contingencias con responsabilidad y métodos técnicos, específicos y oportunos.
- Proveer la información necesaria a los niveles superiores y de supervisión para responder rápida y adecuadamente ante eventos que involucren materiales peligrosos.
- Definir claramente las responsabilidades y competencias ante las contingencias para el manejo adecuado de la emergencia; además de la notificación y control ante entidades del estado y organismos de respuesta en este tipo de casos.

##### **ANTES DE LA EMERGENCIA:**

Capacitar y entrenar a las Brigadas mediante los simulacros de sismo, tsunami e incendios y explosiones, manejo de extintores, verificación de señales de zonas seguras, búsqueda y rescate, primeros auxilios, entre otras.


##### **DURANTE LA EMERGENCIA:**

La Brigadas cumplirán sus funciones aplicando lo aprendido en los simulacros y lo establecido en los procedimientos que contiene el Plan de Contingencia.

##### **DESPUÉS DE LA EMERGENCIA:**

Los Brigadistas apoyaran evaluando cada una de las actividades realizadas para que los miembros de las brigadas de Defensa Civil tomen decisiones. Para ello se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Coordinación inmediata con el personal de dirigir el Plan.
- Coordinación del apoyo externo.
- Coordinación con el Sistema local de Defensa Civil ante la puesta en marcha del Plan de Operaciones de Emergencia Distrital del Callao – POEDC ante la sucesión de un sismo y/ tsunami.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 

### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

- Señalar las rutas de evacuación.
- Señalar las áreas de seguridad.
- Controlar la situación en el menor tiempo posible.
- Proteger las vidas humanas, evitando de esta manera el daño psíquico o físico.
- Salvaguardar las instalaciones de la obra, insumos, bienes y materiales de la obra.
- Salvaguardar las propiedades de terceros.
- Conservación del medio ambiente.
- Contribuir a la rápida reanudación de las actividades en la obra que pudieran haber sido afectadas.
- Mantener de modo permanente una Brigada que responda a las emergencias que puedan presentarse en el establecimiento, durante el horario de trabajo o fuera de mismo.
- Realizar inspecciones de seguridad en sus respectivas áreas de trabajo para detectar condiciones peligrosas y/o actos inseguros e informar de ello.

#### **5.4 EMERGENCIA DURANTE LA EJECUCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS**

Las medidas a instalar durante la ejecución de las obras subterráneas previstas, con el objeto de prevenir situaciones de Emergencia, así como su resolución eficaz y rápida serán:

- Sistemas de comunicación
- Sistemas de extinción de incendios:
- Instalaciones de ventilación y detección de gases:
- Equipos de emergencia en Tuneladora

#### **5.5 PROCEDIMIENTOS DE ACTUACIÓN FRENTE A EMERGENCIAS**

De forma general se tomarán las siguientes precauciones en caso de emergencia:

- Detener trabajo, alejarse del peligro y esperar instrucciones.
- Estacionar la maquinaria y apagar las fuentes de alimentación eléctrica.
- Tratar de evitar accidentes mayores, sin exponerse al peligro.
- Notificar al supervisor.

Se notificará al personal sobre una emergencia con una señal preestablecida (tres pitidos largos de silbato o sirena). El personal debe detener sus labores y desplazarse a las áreas designadas como puntos de reunión y esperar instrucciones.

El Supervisor o Jefe de Brigada de Evacuación y Rescate se encargará de tomar lista de todos los trabajadores que se encuentran en su zona de trabajo afectada por la emergencia y en caso de evacuación todo el personal seguirá el presente plan.

En caso de advertir cualquier ausencia de personal se comunicará inmediatamente al Supervisor de Seguridad.

En el caso de producirse la evacuación se aplicarán los siguientes procedimientos generales:

- El personal va al punto de reunión, el cual estará ubicado en un área de la zona de trabajo a determinar para cada zona de trabajo.
- Estos puntos de reunión serán comunicados al personal mediante la capacitación respectiva así como con instructivos.



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

- En el punto de reunión el Jefe de la Brigada o Supervisor de seguridad responsable verificará la presencia de todo el personal.
- La señal para empezar este procedimiento será una señal preestablecida, en principio tres toques largos de sirena. Sólo el personal autorizado podrá utilizar sus radios luego que se dé la señal.
- Ningún trabajador retornará a la obra sin una autorización previa.

#### Procedimiento de actuación frente a un movimiento sísmico o tsunami

Antes del Sismo o tsunami:

- Inspeccione el área donde usted trabaje y evalúe en términos generales, que elementos, objetos o parte de la construcción puede significar un riesgo para su integridad física.
- De común acuerdo con sus colegas de trabajo y con la participación de su Monitor de emergencia o Coordinador de zona, deben fijar una zona de seguridad en su área de trabajo (pilares, bajo dinteles, cadenas) que les de la confianza de quedar protegidos de sufrir lesiones.
- Ubique la zona de seguridad interna más próxima a su puesto de trabajo, las mismas que se encuentran señalizadas en los carteles de la zona de operaciones de la zona.
- Mantener la zona de seguridad interna libre de obstáculos.
- Ubique las zonas de seguridad externa a la base operativa.
- Mantener despejado los pasadizos, las escaleras y las rutas de evacuación.
- No dejar elementos sueltos que puedan ser susceptibles de caerse ante un fuerte movimiento.
- Conozca a sus brigadistas y siga las instrucciones que les indiquen.

Durante el Sismo o tsunami:

- Mantenga en todo momento la calma y no pierda el control.
- Siga las indicaciones de la brigada de evacuación.
- Si puede apague todas las fuentes de energía eléctrica que estén a su alcance.
- Vaya directamente a la zona de seguridad interna designada.
- Observe si los artefactos de iluminación continúan fijos en los techos.
- No se acerque a ventanas, lámparas, lunas, o elementos susceptibles de desprenderse o romperse durante el sismo o tsunami.
- Mientras dure el sismo o tsunami, anime a sus compañeros a mantenerse juntos en la zona de seguridad.
- Espere la orden del brigadista para iniciar la evacuación, después de terminado el sismo.

Después del Sismo o tsunami:

- Procure mantener la calma. No salga desesperadamente para ver lo ocurrido. Prepárese para enfrentar la situación, sin exponerse a riesgos innecesarios.
- Compruebe si hay heridos y avise al Monitor de Emergencia o Coordinador de zona. No mueva a heridos graves a no ser que estén en peligro de sufrir otras lesiones por incendios, derrumbes, etc.
- Los coordinadores de zona determinarán si es abandonar la zona hacia la zona de seguridad previa inspección a los lugares de trabajo para detectar las condiciones de seguridad, en la evacuación siga las instrucciones del brigadista.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

- Si alguien cae durante la evacuación levántelo sin pérdida de tiempo, sin gritos y sin desesperarse, para no provocar pánico o desorden.
- Para evacuar la zona utilice las rutas de evacuación.
- Evite las aglomeraciones, fíjese bien por donde pisa, no pierda la concentración ni vaya distraído.
- Si observa fuego, y ha sido entrenado para usar extintores apáguelo o dé aviso a algún brigadista.
- Si encuentra un compañero caído, ayude a levantarlo. Si la persona caída se ha lesionado y usted no conoce el método para transporte de heridos, pida ayuda a un brigadista de primeros auxilios para brindarle atención médica o trasladarlo a la zona de asistencia médica.
- Vaya directamente a la zona de seguridad determinada.
- Manténgase en la zona de seguridad, hasta que el brigadista indique que puede retirarse o volver a su puesto de trabajo.

#### **Procedimiento de actuación en caso de incendio o explosión**

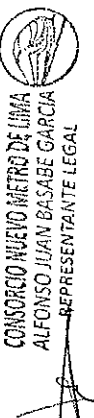
En caso de ocurrir un incendio, el personal que lo detecte dará la voz de alarma de manera inmediata, y simultáneamente se dirigirá a realizar el combate del incendio para lo cual utilizará los extintores disponibles en el área, aplicando los conocimientos según el entrenamiento realizado.

En caso de no haber podido controlar el conato de incendio se dará aviso inmediato al área de SSO. El Coordinador general, tomado conocimiento de la magnitud del incendio dará la alarma de incendio, lo comunicará a la brigada de contra incendios y se comunicará por medio telefónico o radio con la Central de Bomberos llamando al 116, indicando:

- Dirección o ubicación de la emergencia.
- Que es lo que se incendia.
- Extensión del incendio / Otros peligros.
- Comunicar si se requiere ambulancia.
- Si existen personas heridas o atrapadas.
- Nombre y número de teléfono del que realiza la llamada.

A partir de ordenada la evacuación se seguirán las instrucciones de los puntos siguientes:

- Cuando se dé el aviso todo el personal deberá abandonar inmediatamente la zona donde se encuentre, llevando consigo un mínimo de equipos. Además cogerán el extintor que tenga más próximo (para ello deberá conocer el emplazamiento de todos ellos).
- Deben caminar rápidamente pero sin correr hacia la zona de seguridad, no deben gritar para no infundir pánico a los demás.
- En el caso de que exista humo, no abandonar el lugar erguido, gatear o arrastrarse con un paño en la boca. Es muy importante tener memorizadas las salidas de todas las áreas de la obra para encontrarlas incluso a oscuras.
- Una vez en el exterior se comprobará que todos los miembros de la obra están localizados, comenzando las labores de extinción.
- El Coordinador general es la única persona que, una vez controlada la emergencia, puede autorizar el ingreso de los trabajadores a obra.
- Por último, se reunirá todo el equipo de emergencia para evaluar la situación y entregar un informe al Comité de Seguridad.

  
 CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCÍA  
 REPRESENTANTE LEGAL

### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

El personal debe reunirse en la ubicación designada para la toma de la lista respectiva. Las brigadas contraincendios designadas deben sólo intentar contener el fuego siempre y cuando no arriesgue su integridad física y tengan el equipo apropiado a mano.

Los extintores de incendios deben encontrarse repartidos de manera adecuada y estarán señalizados.

En incendios que afecten a instalaciones eléctricas con tensión, se prohibirá el empleo de extintores con espuma química, soda ácida o agua.

Se realizará la inspección mensual de los extintores de acuerdo al procedimiento establecido.

#### **Procedimiento de actuación en caso de accidente laboral**

Para proceder al rescate de accidentados se actuará de la siguiente manera:

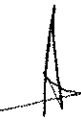
- El personal al darse cuenta del accidente comunicará de forma inmediata a su jefe, dando conocimiento al Supervisor de seguridad.
- El Supervisor de seguridad dará aviso en forma inmediata al Residente de Obra.
- En el lugar de los hechos el personal tratará por todos los medios de tranquilizar al accidentado en el caso que esté consciente, esperando la llegada de los miembros de la Compañía de Bomberos o miembros especializados de la Policía Nacional de Perú, para su rescate y evacuación.
- En el lugar de los hechos los brigadistas de primeros auxilios le brindarán los primeros auxilios hasta la llegada de la asistencia especializada, si no se está seguro de que no ha sufrido ninguna lesión no se le moverá hasta que esté completamente inmovilizado para trasladarlo al centro de atención médica.
- El Supervisor de Seguridad hará los trámites ante la compañía aseguradora para que el accidentado sea trasladado a la brevedad posible a las clínicas de atención especializada que tienen convenio con dicha compañía, para que el trabajador sea atendido de la mejor forma posible.

#### **Actuación en caso de contacto con conductor electrificado**

En caso de que un trabajador reciba una descarga eléctrica o se quede pegado al conductor electrificado se procederá de la siguiente manera:

- Resista la tentación de correr a auxiliar a un compañero accidentado por una descarga eléctrica.
- Desconectar el fluido eléctrico que pasa por el conductor (no intente desconectar los cables).
- Comprobar que el lugar está seco y en condiciones seguras.
- Tratar de separar al trabajador del conductor electrificado mediante una pértiga o utensilio de madera a fin de evitar que el trabajador que está auxiliando reciba descarga eléctrica.
- Evaluar si el trabajador respira y tiene pulso.
- Si no respira y no tiene pulso aplicarle las técnicas de reanimación cardiopulmonar.
- Traslado a un hospital adecuado.
- Comunicar, realizar el reporte inicial investigación, reporte final, difusión de las causas y medidas preventivas indicados en los procedimientos para accidentes leves, graves o fatales.

#### **Procedimiento de aplicación de primeros auxilios**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 

### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal



Es necesario prever la existencia de primeros auxilios para atender a los posibles accidentados. El principal objetivo de los primeros auxilios es evitar por todos los medios, la muerte o invalidez de la persona accidentada. Otro de los objetivos es que mediante la aplicación de los mismos se brinde auxilio a la persona accidentada mientras se espera la llegada de atención médica especializada o se traslada a un hospital.

Existen cuatro principios de actuación de emergencia que deben seguirse cuando se atiende un accidente:

- Examinar la escena del accidente.
- Solicitar ayuda del servicio designado para la atención médica.
- Actuar con calma y tranquilizar al accidentado ganándose su confianza.
- Evaluar el estado del accidentado.
- Dependiendo de la causa originaria del accidente la persona afectada podrá sufrir de:
  - Heridas
  - Contusiones
  - Fracturas
  - Quemaduras
  - Electrocutión

Siempre se realizará por personal formado y capacitado para auxiliar al accidentado de la forma más conveniente, siguiendo el siguiente procedimiento:

#### Evaluación del lugar del accidente

Asegúrese de que tanto usted como la víctima no corren peligro. Observe el lugar, despeje los alrededores y compruebe si hay humo, cables eléctricos, derrame de líquidos peligrosos, vapores químicos u objetos materiales que puedan caer.

Nunca pase a un lugar inseguro, si fuera imprescindible hacerlo, salga de inmediato.

Examinar al accidentado y descartar posibles lesiones de columna vertebral (viendo si mueve los miembros, si los siente o tiene golpes en la cabeza). Si estos síntomas son positivos y usted no tiene más remedio que mover al paciente o corre peligro inmediato, use el método de arrastre agarrando de la ropa a la víctima para llevarlo al lugar seguro. Actuará de la siguiente forma:

- No doblar la columna
- Apoyarlo sobre plano duro boca arriba
- Cabeza, tronco y piernas en un mismo plano
- Sujetar al accidentado en bloque (incluida la cabeza)
- No evacuar hasta estar seguros de su correcta inmovilización
- Agarrar la ropa de la víctima a nivel de los hombros
- Apoyar la cabeza de la víctima en sus muñecas y antebrazos
- Arrastrar a la víctima por sus ropas
- Pedir ayuda
- Lleve la iniciativa haciendo ver que está usted preparado para ayudar a su compañero.

Si está solo debe solicitar ayuda. Preste los primeros auxilios más necesarios, luego deje a la víctima brevemente y busque a la persona más cercana para que lo notifique al servicio de atención médica de emergencia designado.

Ganar la confianza de la víctima

Demuestre tranquilidad, no complicando la situación reaccionando exageradamente y asustando a la víctima, anímela y reste importancia al suceso:

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002138

- Respirando profundamente y relajándose
- Sentándose y hablando con la víctima serenamente
- Comunicando a la víctima que la ayuda está en camino

#### Evaluación del accidentado

Valorar la importancia del estado del paciente puede ser un factor de ayuda para el equipo de atención médica, notificando lo observado en la evaluación a su llegada. Comprobaremos:

1º Pulso: Tome el pulso en la arteria carótida colocando dos o tres dedos hacia uno de los lados del cuello, bajo la nuez.

2º Vías respiratorias: Examine dentro de la boca para comprobar que no hay ningún objeto extraño (cuidado con las prótesis dentarias).

Revise a la víctima de la cabeza a los pies para determinar las lesiones sufridas. Comience por la cabeza y continúe hasta los pies, comparando ambos lados del cuerpo al mismo tiempo.

- Revise el cuerpo de la víctima para ver si encuentra:
- Posibles hemorragias
- Fracturas
- Deformidades
- Collares o brazaletes de alergia médica

Desplace la cabeza hacia atrás para que la lengua no bloquee la garganta, esto suele ser decisivo para facilitar la entrada del aire.

Si se sospecha que hay lesión de columna cervical, utilice el procedimiento de empujar la mandíbula hacia delante con ambos pulgares

Mientras administra los primeros auxilios, es extremadamente importante que continúe revisando las vías respiratorias. Use el método de cabeza inclinada y mentón levantado o el de empuje de la mandíbula para evitar que la lengua de la víctima se deslice hacia atrás, bloqueando la garganta.

Si no respira, seguir los siguientes pasos:

- Incline la cabeza y aproxime el oído al pecho de la víctima.
- Observe el pecho y vea si se está moviendo.
- Acerque la mejilla al rostro de la víctima para sentir su respiración.
- Si el accidentado tiene una lesión en la columna, está boca abajo, y sospecha que no respira, puede ser necesario moverle para descongestionar las vías respiratorias.

#### Primeros auxilios ante hemorragias

Debido a la posibilidad que hay de contagio del SIDA y de la hepatitis B, se deben extremar las precauciones al tratar con heridas que tengan hemorragias. Para aplicar los primeros auxilios y evitar un posible contagio:

- Se utilizarán guantes de protección de látex u otro material disponible evitando el contacto directo con la sangre.
- Si estos guantes no están disponibles, utilice su imaginación y use lo que tenga a mano, plásticos, cartones o cualquier material que le proteja.
- Después de auxiliar a la víctima lávese cuidadosamente las manos.
- Para detener las hemorragias se procederá de la siguiente manera:
- Comprimir la herida con gasa esterilizada (si fuese posible), paño, toalla o pañuelo y sujete el apósito suavemente.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**



- Si es una pierna o un brazo el afectado, elévelo.
- Tumbarse al herido
- Si la hemorragia es importante y no cesa, se presionará con los dedos la arteria que riega la zona sangrante.
- No se manipulará la herida.
- No presionar en caso de fractura.
- No hacer maniobras bruscas.
- No retirar los apósitos aunque estén empapados, aplique un nuevo vendaje encima.

#### Primeros auxilios ante pérdida de conocimiento

El sistema circulatorio deja de emitir suficiente sangre oxigenada a los órganos vitales, especialmente al cerebro. Los síntomas son: Inmovilidad, piel pálida, pulso débil e irregular, presión sanguínea baja, sudoración fría, respiración superficial.

Este estado puede presentarse cuando el accidentado ha sufrido traumatismo de gravedad, hemorragia importante o quemaduras externas. Se procederá del siguiente modo:

- Tumbarse al paciente con las piernas elevadas del suelo (15 a 20 cm) utilizando cualquier objeto disponible.
- Aflojar la ropa.
- Abrigar al paciente.
- Mantener despejadas las vías respiratorias.
- Transporte inmediato a un centro sanitario.

No eleve las piernas de un accidentado que ha sufrido un traumatismo de cabeza, pecho o columna.

Si la víctima manifiesta dificultad para respirar, colóquela en posición semi-inclinada para facilitar la respiración.

Si la persona ha sufrido una lesión en el miembro inferior, eleve el otro miembro.

Si el accidentado presenta ganas de vomitar, colóquelo sobre su costado para facilitar la salida del contenido gástrico.

#### Primeros auxilios ante electrocución

Resista la tentación de correr a auxiliar a un compañero accidentado por una descarga eléctrica.

Desconectar la corriente eléctrica (no intente desconectar los cables).

Comprobar que el lugar está seco y en condiciones seguras.

Utilizar una pértiga o utensilio de madera para separar al accidentado.

#### Primeros auxilios ante quemaduras

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

Pueden ser de:

- De primer grado-Enrojecimiento
- De segundo grado-Ampollas
- De tercer grado-Calcinamiento

Es importante cubrir toda la piel quemada con gasa estéril si es posible, no deben romperse las ampollas, ni hacer aplicaciones con productos extraños. Elevar los miembros (si son éstos los quemados) para aliviar el dolor y si tiene dificultades para respirar, incorporar a la víctima.

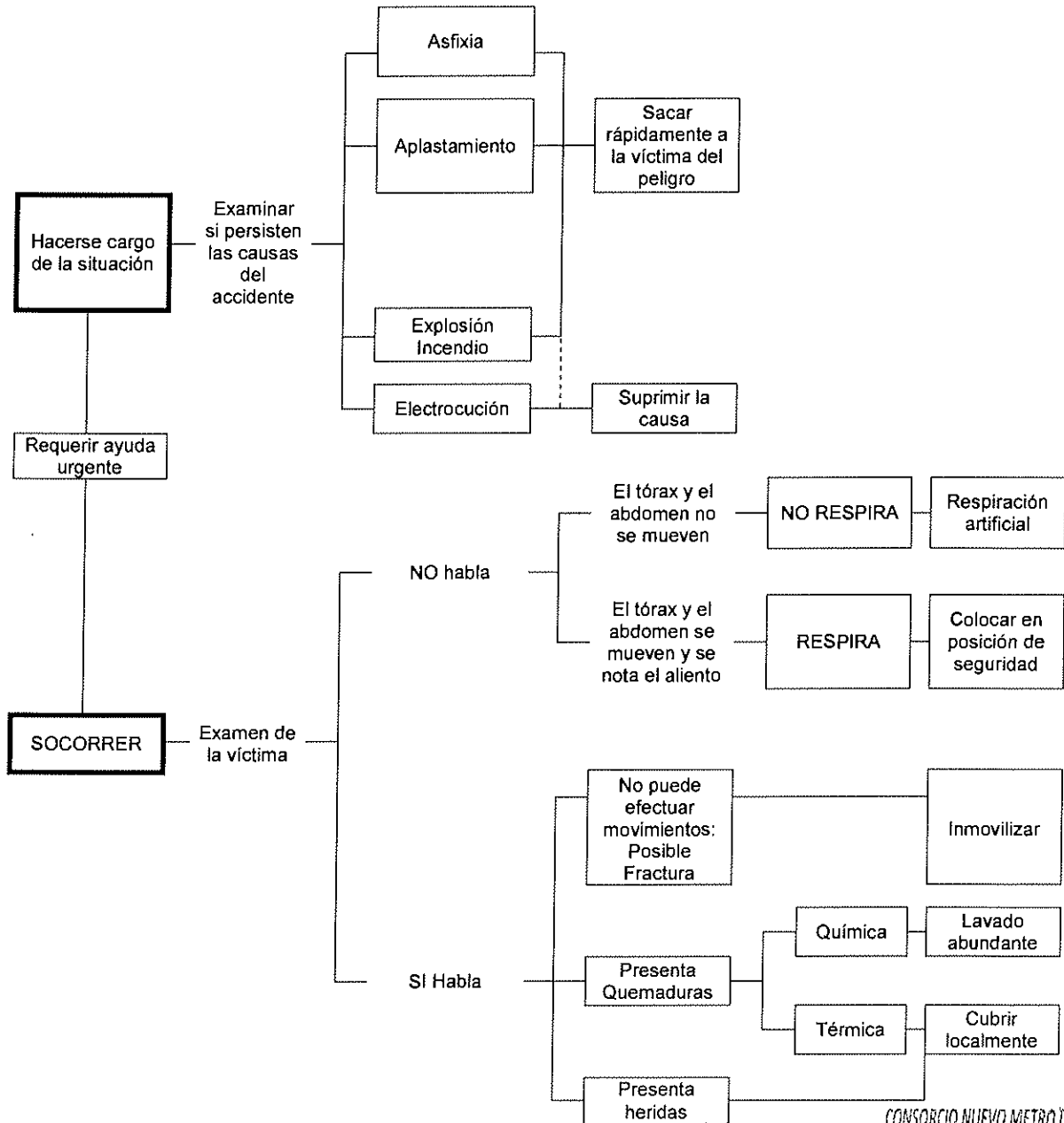
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

002141

El transporte de las víctimas se realizará en el medio adecuado (camilla de rescate) con personal cualificado manteniéndose ininterrumpidamente los cuidados asistenciales.



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



En caso que el accidentado no pueda ser desplazado del lugar del accidente, el Jefe de brigada debe tomar el control de la situación y designar al menos a una persona para quedarse con el afectado.

El Supervisor de Seguridad avisaran a los servicios de emergencia y deberán proporcionar la siguiente información:

- Ubicación de la/s persona/s afectada/s.
- Número de personas afectadas.
- Naturaleza de la lesión y evaluación inicial.



### **A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal**

- Cualquier restricción que pueda existir en el acceso

Se designará a una persona responsable para guiar a los servicios de emergencias hasta el lugar donde se encuentra el accidentado.

#### **Procedimiento para uso de extintores**

Todos los que estén en obra deben tener en cuenta los riesgos de incendio, conocer las precauciones contra incendios y saber qué medidas tomar si el fuego se declara.

La brigada contra incendios y el resto del personal, deben conocer el uso de los extintores para combatir adecuadamente un incendio, siguiendo los siguientes pasos:

- Al detectarse el inicio de un incendio, los brigadistas o el personal entrenado evaluará de forma inmediata el tipo de incendio que ha iniciado y cortarán la energía de alimentación a la zona del incendio.
- Se dirigirán rápidamente al extintor más cercano, cogiendo el extintor adecuado para el tipo de incendio, llevándolo de la manija (extintor manual).
- El brigadista se ubicará en el sentido de la corriente del aire a una distancia prudente del incendio.
- Si se usara el extintor rodante se procederá de la siguiente manera:
  - Se tomará del carro porta extintor llevándolo hasta la zona del incendio.
  - Se colocará a una distancia prudente y en el sentido de la corriente del aire.
  - Se romperá el precinto de seguridad y se abrirá la válvula del cartucho del gas expulsor, ingresando al cilindro de polvo químico seco.
  - Con la ayuda de otro brigadista, cogerá el pitón de descarga y presionará la manija saliendo el polvo químico seco, dirigiéndolo a la base del fuego en forma de zigzag, hasta lograr controlar el incendio.
  - En caso de controlado el fuego, los extintores se retirarán de la zona del incendio llevándolo hacia el almacén para proceder a su recarga inmediata.
- En caso de no poder controlar el incendio se llamará de forma inmediata a la Compañía de Bomberos.
- Se realizará un informe de la ocurrencia del incendio.

#### **Debe enseñarse a todas las personas de la obra a:**

- Conocer dos o más vías libres (si es posible) para salir del lugar si se produce un incendio o alguna otra emergencia.
- Dar la alarma.
- Saber donde se guardan los elementos de lucha contra el fuego.
- Saber usar los elementos de lucha contra el fuego.
- Saber elegir el tipo adecuado de matafuego portátil para las distintas clases de incendios.

### **5.6 EQUIPAMIENTOS DE PRIMEROS AUXILIOS**

El Consorcio contará con un Servicio de Medicina del Trabajo (SMT) bajo la responsabilidad de un graduado universitario especializado en medicina y personal auxiliar del SMT con formación de enfermero con título habilitante reconocido por la Autoridad Competente.

Además contará con el personal de la Brigada de Primeros Auxilios descrita con anterioridad.

Contará dentro de la zona de obradores y en las diferentes zonas de obra con botiquines equipados para primeros auxilios, una camilla y mantas.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





### A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM en Línea Principal

El equipamiento básico para los botiquines de primeros auxilios será como mínimo el descrito en la *Norma G-050 seguridad durante la construcción*.

Además en función del momento de la obra y el número de zonas de trabajo abiertas contará con un vehículo ambulancia para traslado de personas cuyo estado de salud requiera atención médica inmediata en un hospital. Para este vehículo se dispondrá de un chofer profesional y un enfermero capacitado en medicina de emergencia.

En el Punto K.1.2 Plan de Seguridad y Salud de Diseño y Construcción del Documento K Plan de Gestión Ambiental y de Seguridad y Salud, se incluyen los teléfonos de emergencias y la situación de los hospitales más cercanos.

#### 5.7 SIMULACROS DE EMERGENCIA

Siguiendo los procedimientos de actuación ante situaciones de emergencia el Consorcio efectuará dos simulacros de emergencia anualmente durante el desarrollo de las obras con la finalidad de saber cómo actuar en la práctica cuando ocurra un movimiento sísmico, tsunami o un incendio en cualquiera de las instalaciones y zonas de obra.

Los simulacros que se planificarán cada año corresponderán a:

- Simulacro de sismo y tsunami según lo establecido por INDECI
- Simulacro de incendio a programar por el Consorcio

Una vez efectuados los simulacros se procederá a realizar un informe de los mismos en el que se harán constar los siguientes apartados:

- Fecha y hora de la realización del simulacro.
- Vías de evacuación: Decir si han resultado suficientes para el desalojo ordenado del centro de trabajo. Identificar las zonas de estrangulamiento del flujo de evacuación.
- Comprobación del sistema de alarma. ¿Ha resultado adecuado?
- Grado de instrucción de las Brigadas que han intervenido y trabajadores en cuanto al uso de los medios y forma de proceder conforme al plan.
- Tiempos reales de reacción y evacuación.
- Conclusiones derivadas de la experiencia.
- Dificultad que ha presentado el desarrollo del plan.
- Sugerencias de mejoras.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



[2499]

**A.6.3. Excavación Métodos TBM y NATM  
en Línea Principal**



002144

<b>A.6.3.</b> Nº DOCUMENTO	<b>A) DISEÑO DE INGENIERÍA</b> TIPO DE DOCUMENTO
-------------------------------	---

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

**A.6.3. EXCAVACIÓN MÉTODOS TBM Y NATM  
EN LÍNEA PRINCIPAL**

**APÉNDICE 1. PLANOS**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

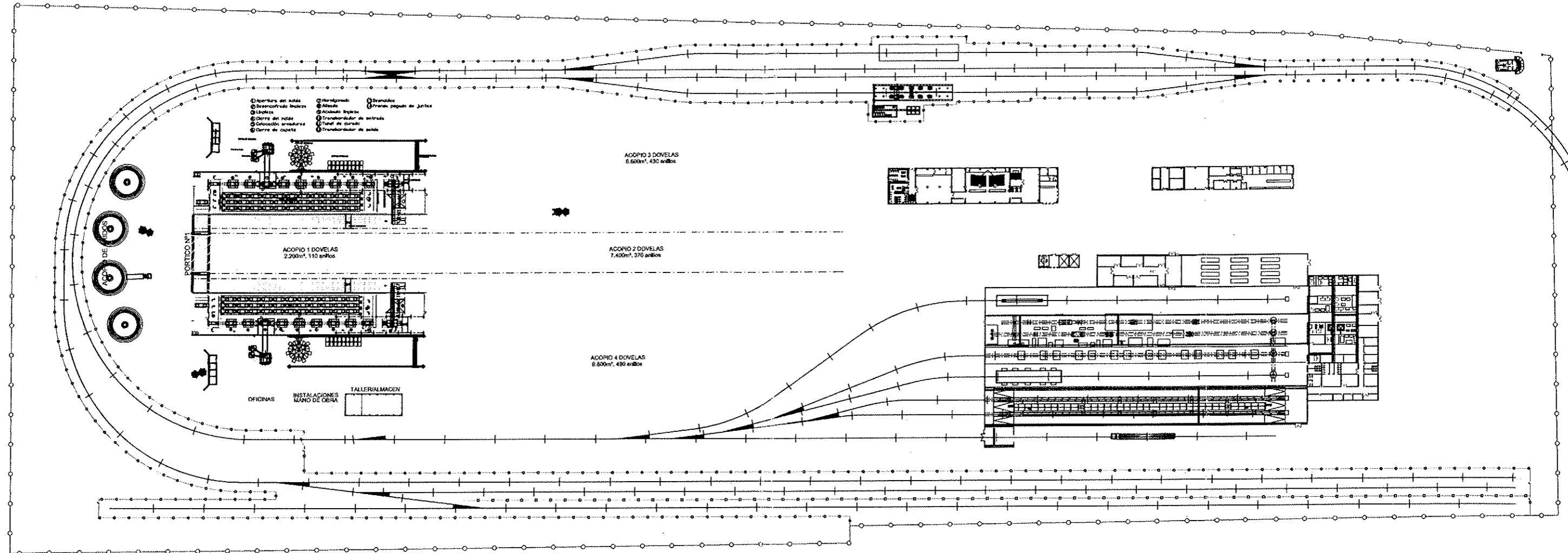




CODIGO	ÍNDICE DE PLANOS	ESCALA A1	Nº PLANOS
PLOC-TUN-ESR-PD	ESTRUCTURAS. TÚNELES. EMPLAZAMIENTO PARA FÁBRICA DE DOVELAS EN TALLER DE BOCANEGRA	1:2000	P001
PLOC-TUN-ESR-PD	ESTRUCTURAS. TÚNELES. DETALLE CARRUSEL FÁBRICA DE DOVELAS EN TALLER DE BOCANEGRA	1:400	P002
PLOC-TUN-ESR-TP-L4-01	ESTRUCTURAS. OBRAS TEMPORALES. LINEA 4. POZO ATAQUE	1:150	P001 A P004
PLOC-TUN-ESR-DV	ESTRUCTURAS. TUNELES. DOVELAS		P001 A P003
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. PERFIL LONGITUDINAL. MÉTODOS CONVENCIONALES	H: 1:2.500 V: 1:250	P001
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. FASES DE EXCAVACIÓN	1:50	P002
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. SECCIONES TIPO DE SOSTENIMIENTO Y REVESTIMIENTO	1:50	P003
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. DETALLE SECCIÓN TIPO MODELO A	VARIAS	P004
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. DETALLE SECCIÓN TIPO MODELO B	VARIAS	P005
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. DETALLE SECCIÓN TIPO MODELO C	VARIAS	P006
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. DETALLE PARAGUAS DE MICROPILOTES	VARIAS	P004
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. ARMADO	1:50	P004
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. CAVERNA CRUCE L4 BAJO L2 FASES DE EXCAVACIÓN	1:50	P005
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. CAVERNA CRUCE L4 BAJO L2 SECCIÓN TIPO DE SOST. Y REVEST.	VARIAS	P006
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. SIMULACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO	S/E	P007
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. DRENAJE	1:50	P008
1201-PLOC-TUN-ESR-LN	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. IMPERMEABILIZACIÓN	VARIAS	P009
1203-PLOC-TUN-CON-AP	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. TERCERA VÍA. FASES DE EXCAVACIÓN	1:50	P001
1203-PLOC-TUN-CON-AP	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. TÚNEL DE LÍNEA. TERCERA VÍA. DETALLES SOSTENIMIENTO	1:50	P002
1204-PLOC-TUN-CON-POZ-01	POZOS DE VENTILACIÓN Y EMERGENCIAS. POZO LATERAL. GALERÍA DE CONEXIÓN. FASES DE EXCAVACIÓN	1:50	P0G1
1204-PLOC-TUN-CON-POZ-01	POZOS DE VENTILACIÓN Y EMERGENCIAS. POZO LATERAL. GALERÍA DE CONEXIÓN. DETALLES SECCIÓN TIPO	1:50	P0G2
1205-PLOC-TUN-CON-RT-SA	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. RAMAMLES A TALLERES. PATIO TALLER STA. ANITA. FASES DE EXCAVACIÓN	1:50	P001
1205-PLOC-TUN-CON-RT-SA	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES. RAMAMLES A TALLERES. PATIO TALLER STA. ANITA. SECCIÓN TIPO	1:50	P002

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL





m:\estructuras\2020207 linea 2 (metro de lima (peru))\dibujos\originales\0801\_estructuras\_escetas\0801-p001-p002.dwg - 12/02/2014 - 18:05

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



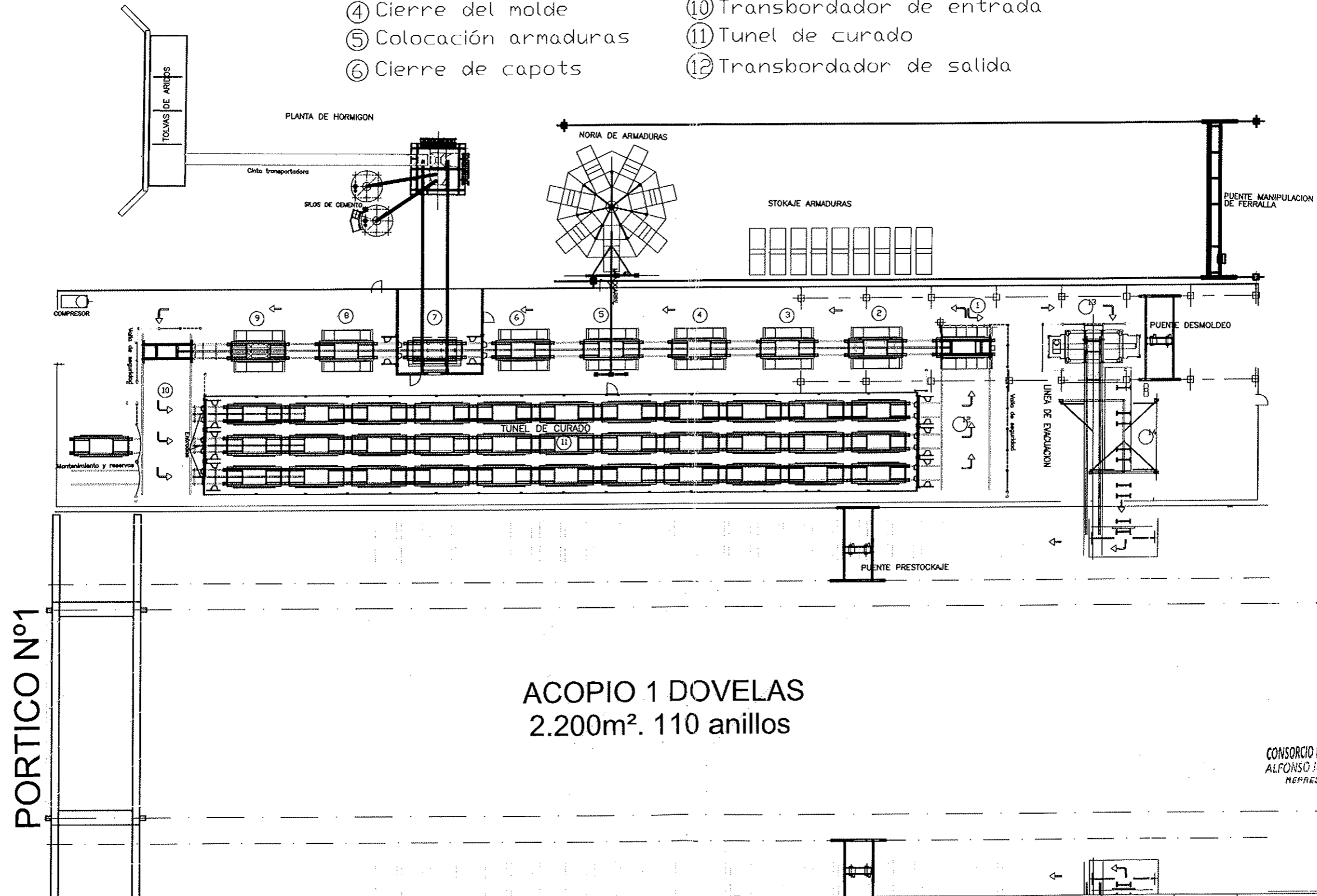

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A3):  
1:2000  
FECHA:  
FEBRERO 2014



ESTRUCTURAS, TÚNELES EMPLAZAMIENTO PARA FABRICA DE DOVELAS EN TALLER DE BOCANEGRA		FECHA:	REVISIÓN:
PLANO N°	PLOC-TUN-ESR-PD-P-001	01 de 02	2

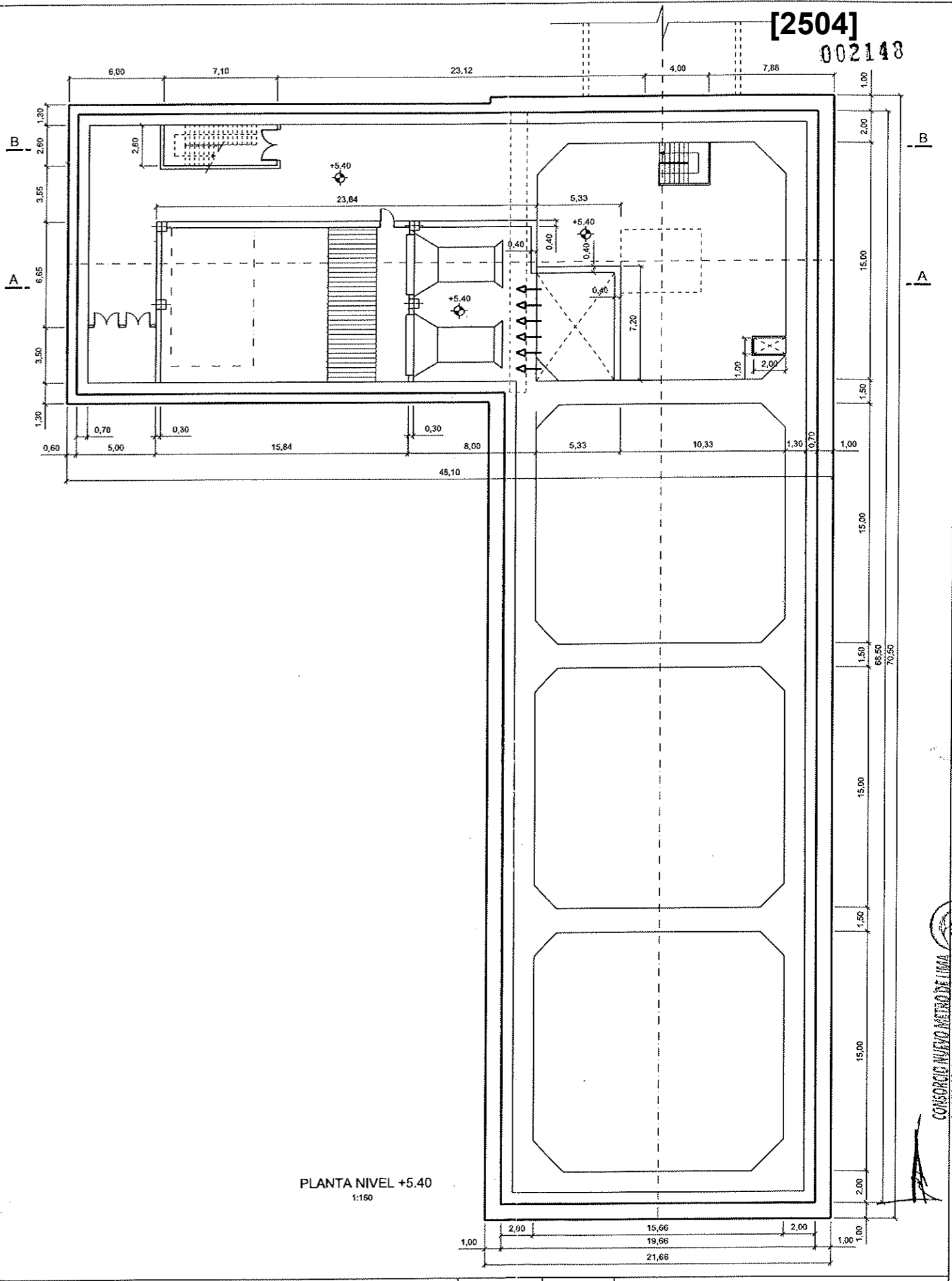
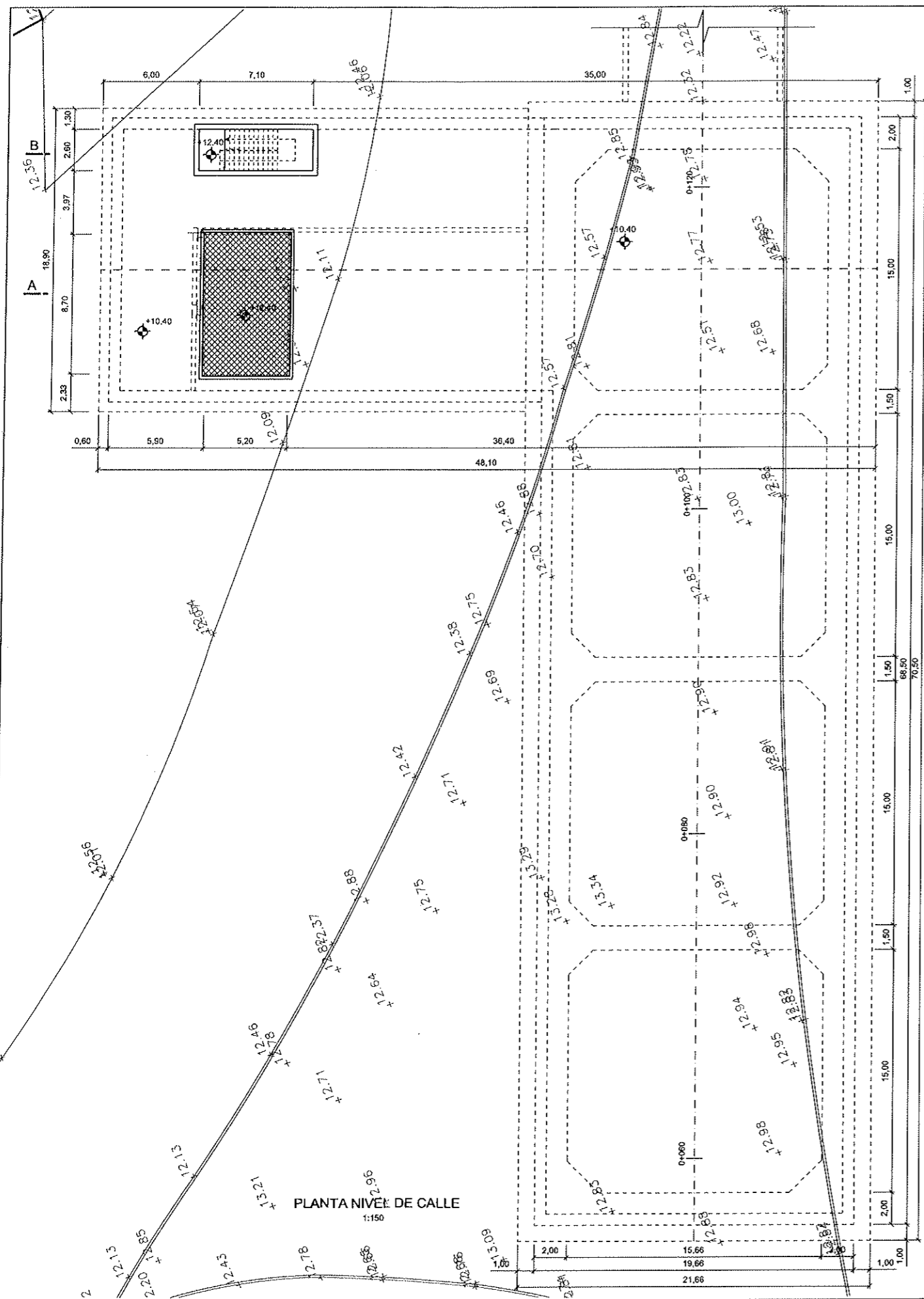
- ① Apertura del molde
- ⑦ Hormigonado
- ⑬ Desmoldeo
- ② Desencofrado limpieza
- ⑧ Alisado
- ⑭ Prensa pegado de juntas
- ③ Limpieza
- ⑨ Acabado limpieza
- ④ Cierre del molde
- ⑩ Transbordador de entrada
- ⑤ Colocación armaduras
- ⑪ Tunnel de curado
- ⑥ Cierre de capots
- ⑫ Transbordador de salida



ACOPIO 1 DOVELAS  
2.200m<sup>2</sup>. 110 anillos

PORTICO N°1

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



m:\estructuras\2020057\_linea\_2 (metro de lima) (peru)\planos\borjales\0805\_estructuras\_ obras temporales\02 linea 401 pozo ataque\0805-pbc-tun-esr-tp-44-01-p001-p004.dwg -

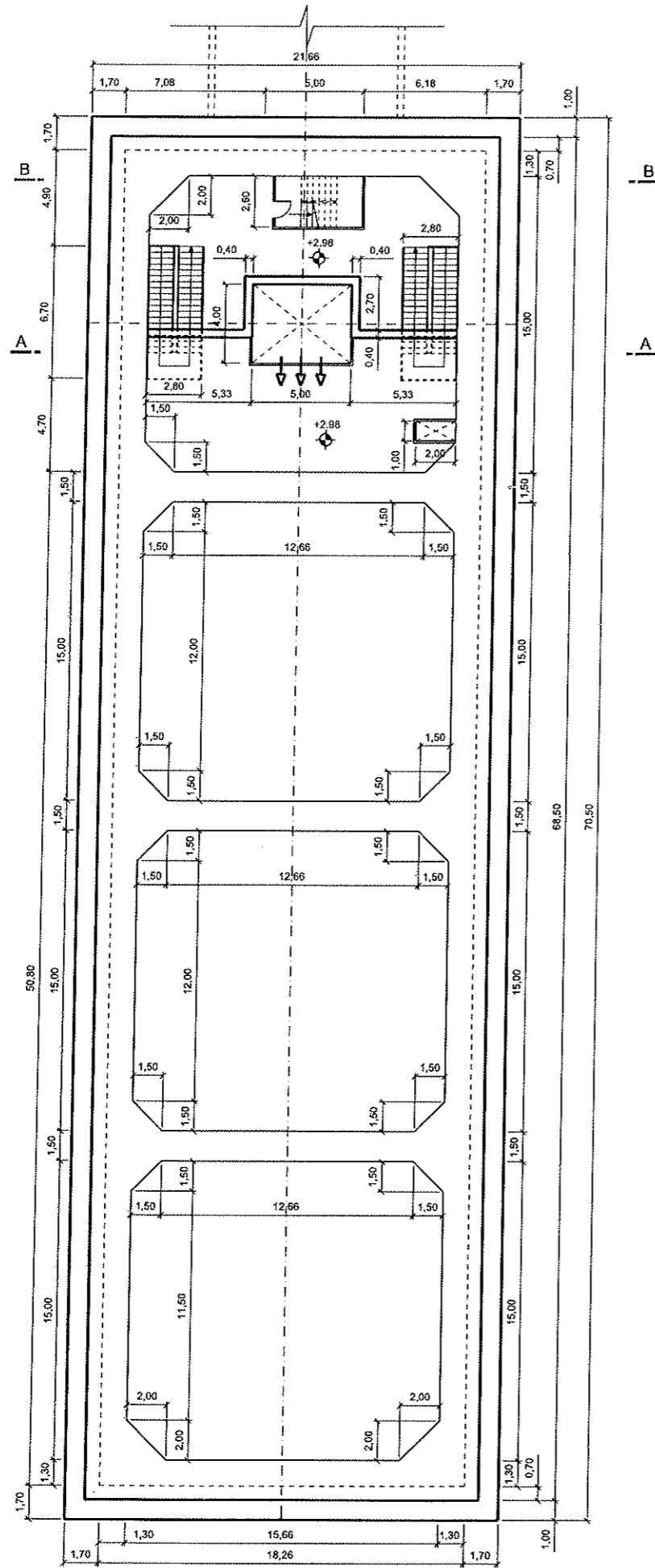


CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

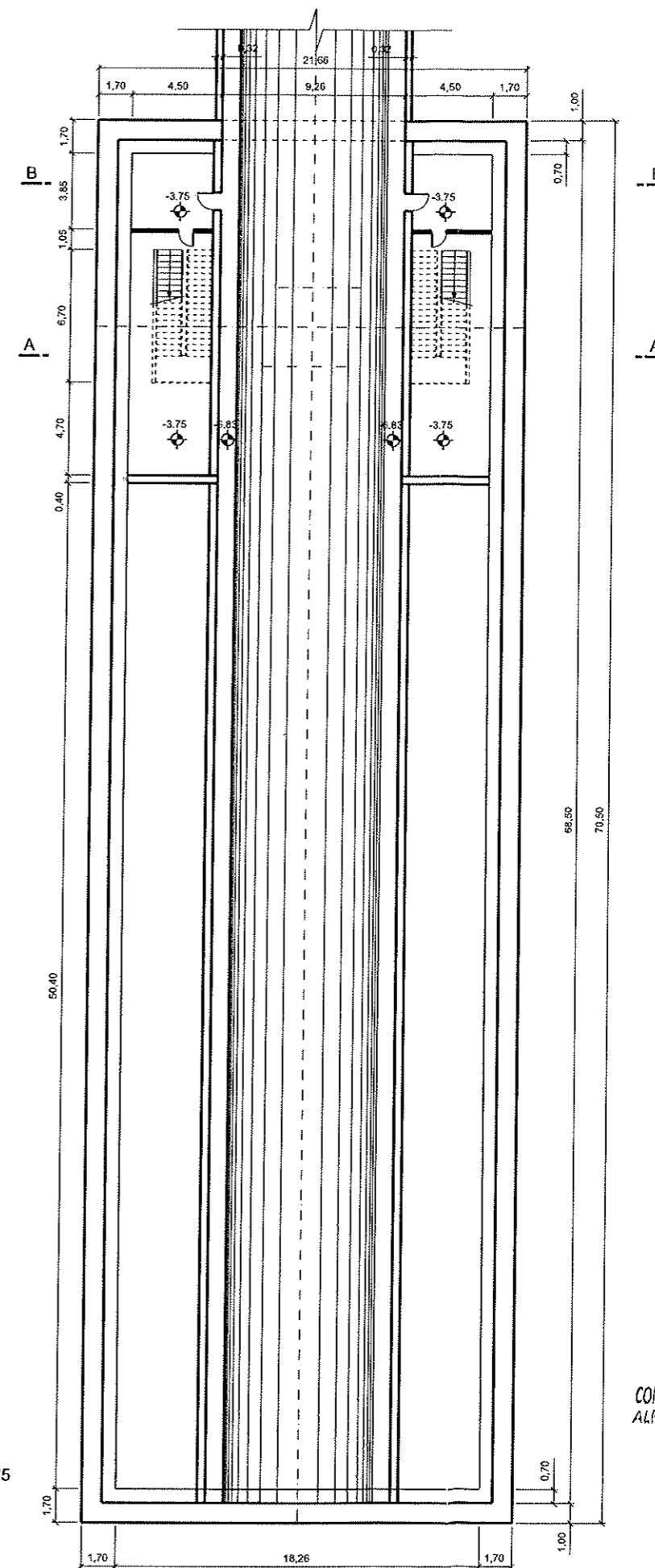
ESCALA (A1):	1:150	ESTRUCTURAS, OBRAS TEMPORALES	
FECHA:	FEBRERO 2014	LÍNEA 4	
PLANO N°:	PLOC-TUN-ESR-TP-L4-01-P001	POZO ATAQUE	
HOJA:	01 de 04	REVISIÓN:	2

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN CASABE GARCÍA  
 REPRESENTANTE LEGAL





PLANTA NIVEL +2.98  
1:150



PLANTA NIVEL -3.75  
1:150

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



m:\estructuras\2020057 linea 2 (metro de lima (peru))\demos\originales\0805 estructuras. obras temporales\02 linea 401 pozo ataque\0805-poc-tun-esr-l4-01-p001-p004.dwg

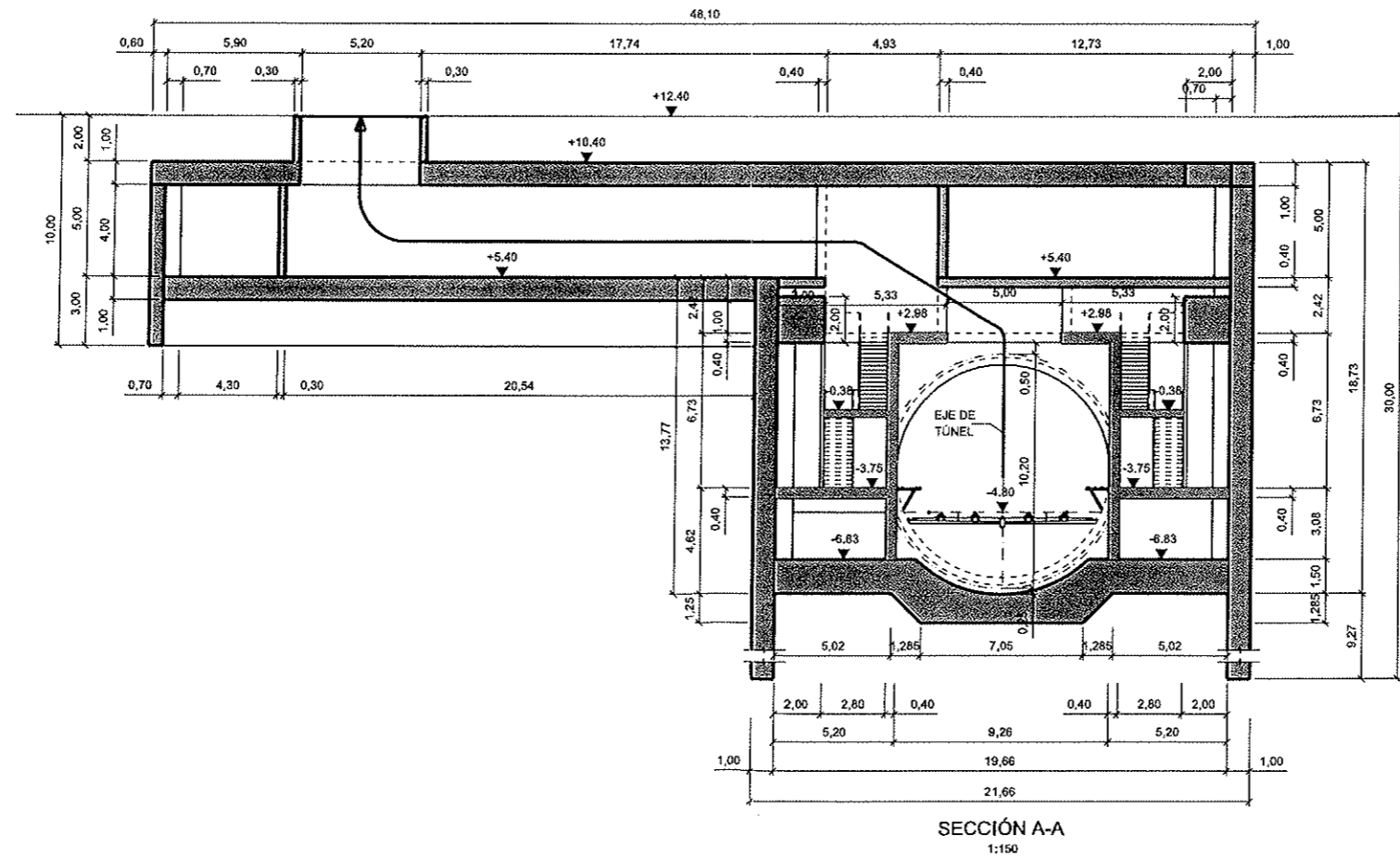
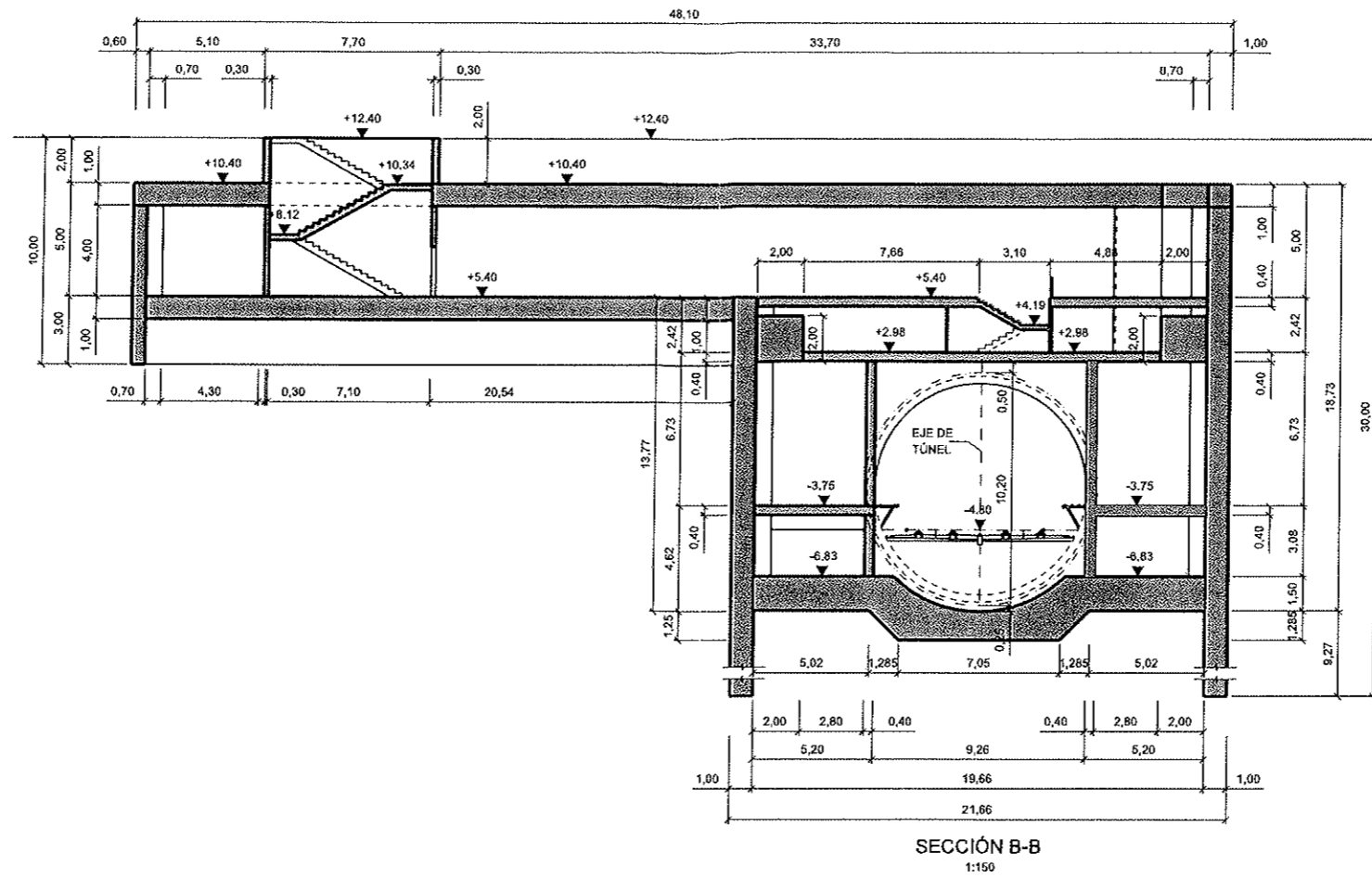


CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A1):  
1:150  
FECHA:  
FEBRERO 2014



ESTRUCTURAS. OBRAS TEMPORALES  
LÍNEA 4  
POZO ATAQUE  
PLANO N° PLOC-TUN-ESR-TP-L4-01-P002  
HOMA: 02 de 04  
REVISIÓN 2



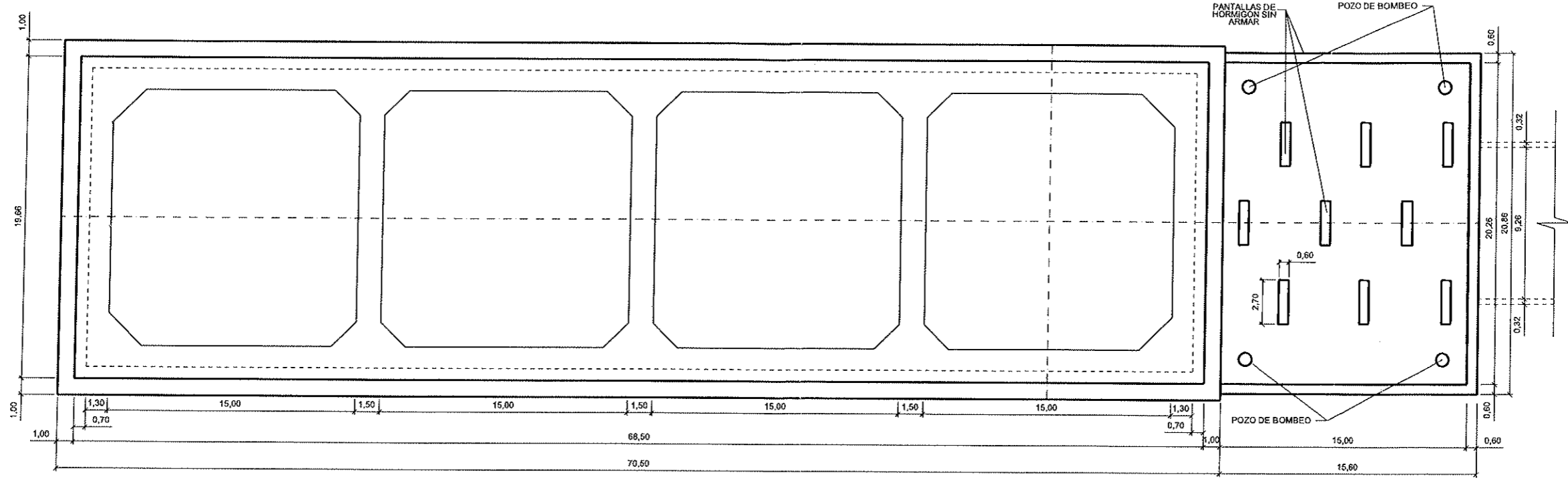
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



m:\estructuras\202057 - linea 2 (metro de lima) (peru)\planos\originales\0805 estructuras. obras temporales\02 linea 401 pozo ataque\0805-plo-tun-ave-l4-01-p001-p004.dwg - -

[2507]

002151



PLANTA RECINTO DE IMPERMEABILIZACION  
1:150

m:\estructuras\202057 linea 2 (metro de lima (peru)\planos\originales\0805 estructuras obras temporales\02 linea 401 poco ataque\0805-ploc-tun-esr-l4-01-p001-p004.dwg - -

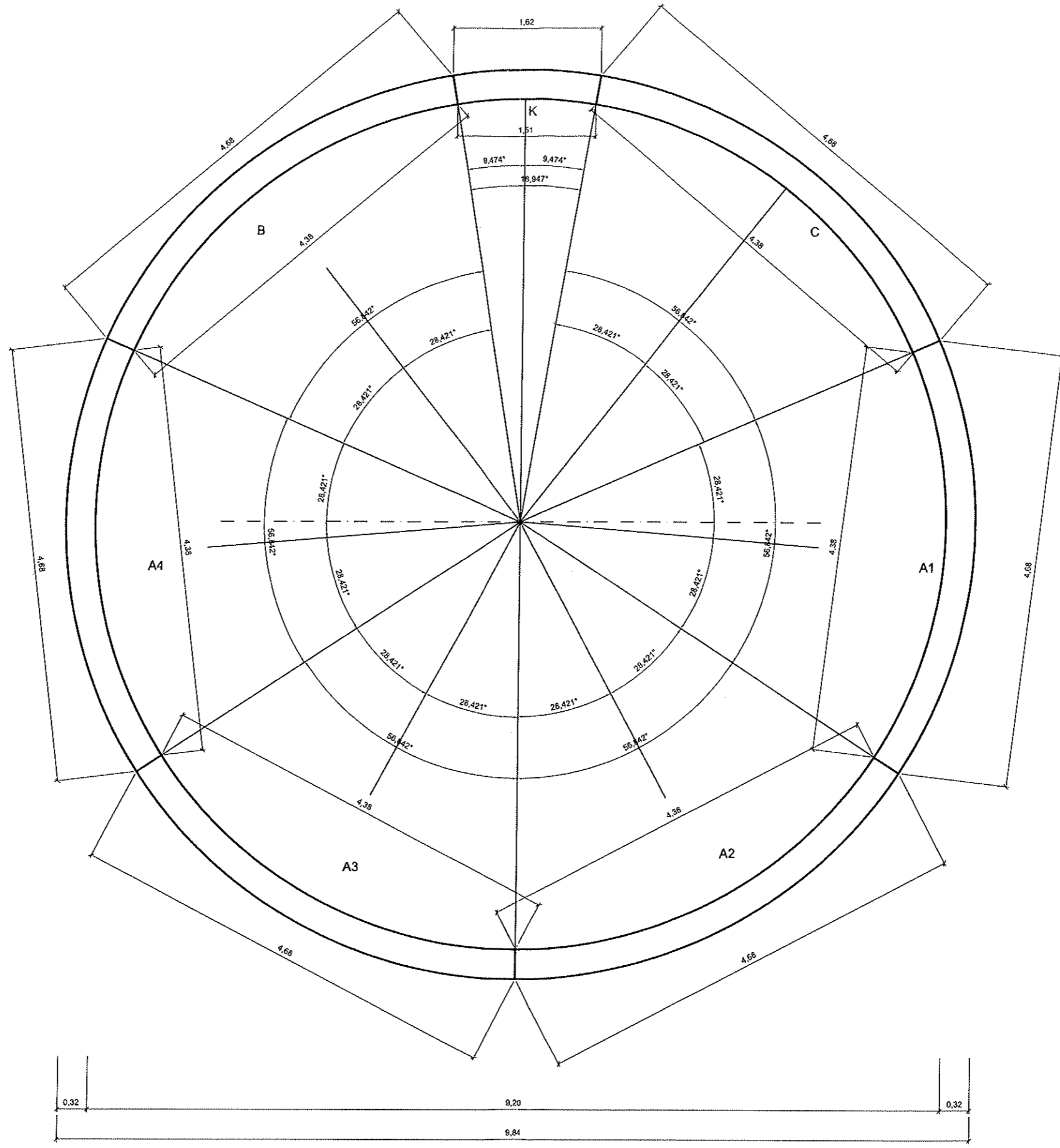
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A1): 1:150		ESTRUCTURAS. OBRAS TEMPORALES LÍNEA 4 POZO ATAQUE	
FECHA: FEBRERO 2014		PLANO N° PLOC-TUN-ESR-TP-L4-01-P004	HOJA: 04 de 04

0805-PLOC-TUN-ESR-TP-L4-01-P001-P004.dwg



VISTA DESDE EL AVANCE  
ESCALA 1:25

NOTA:  
-COTAS EN m.

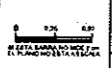
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

m:\estructuras\202057 linea 2 (metro de lima (peru))\planos\originales\0801\_estructuras\_covelos\0801-ploc-tun-esr-dv-p001-p003.dwg

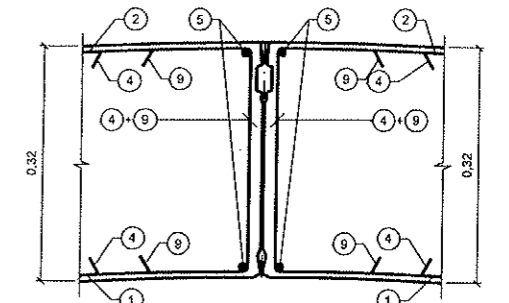
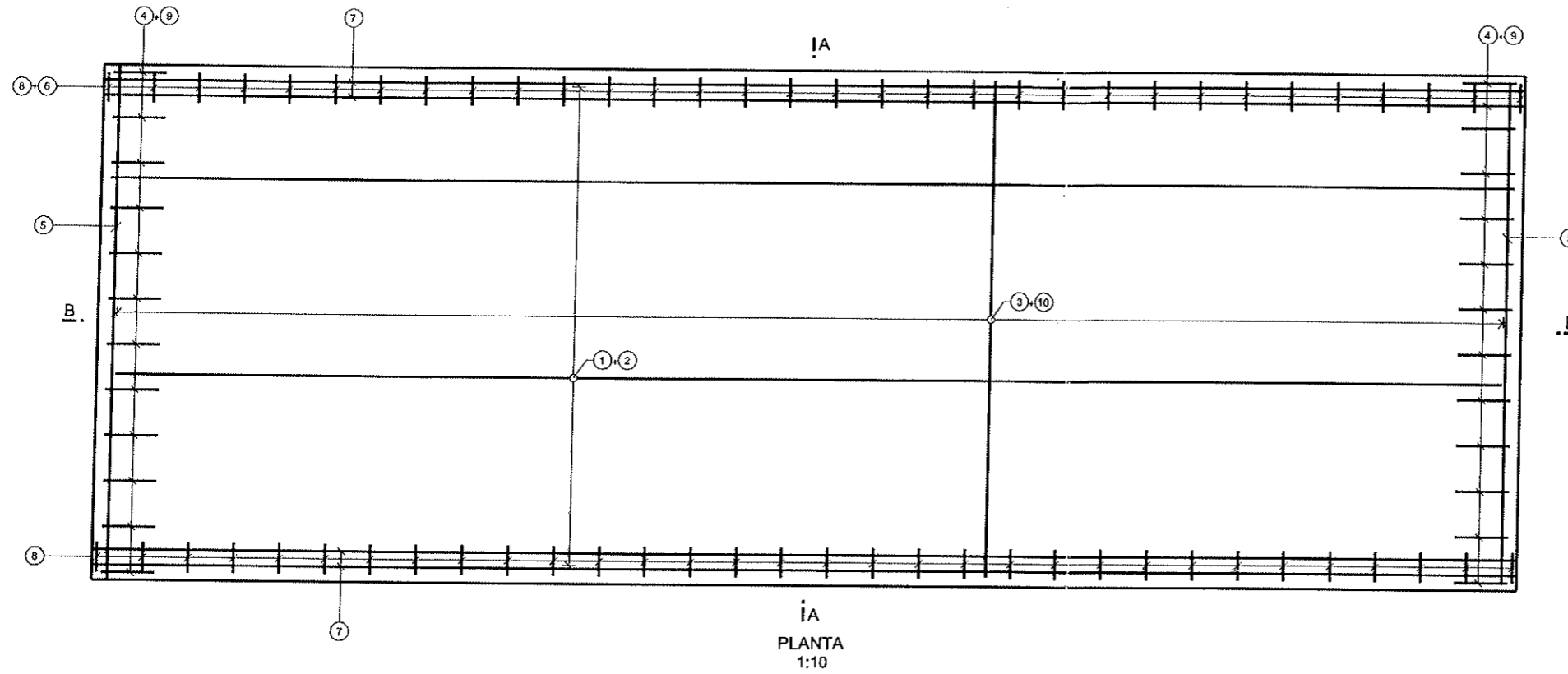


CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

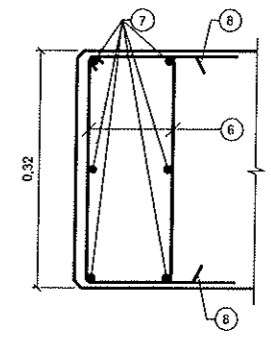
ESCALA (A1)  
1:25  
FECHA:  
FEBRERO 2014



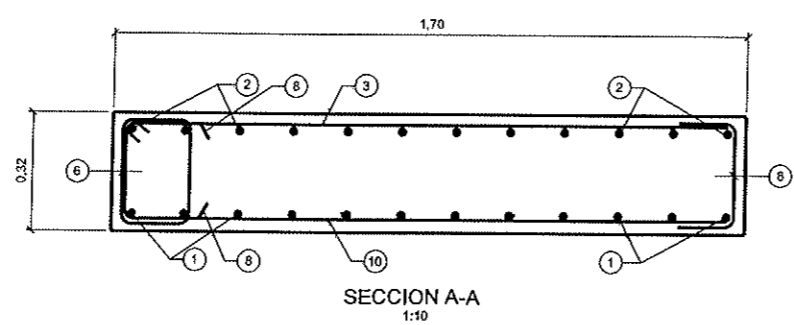
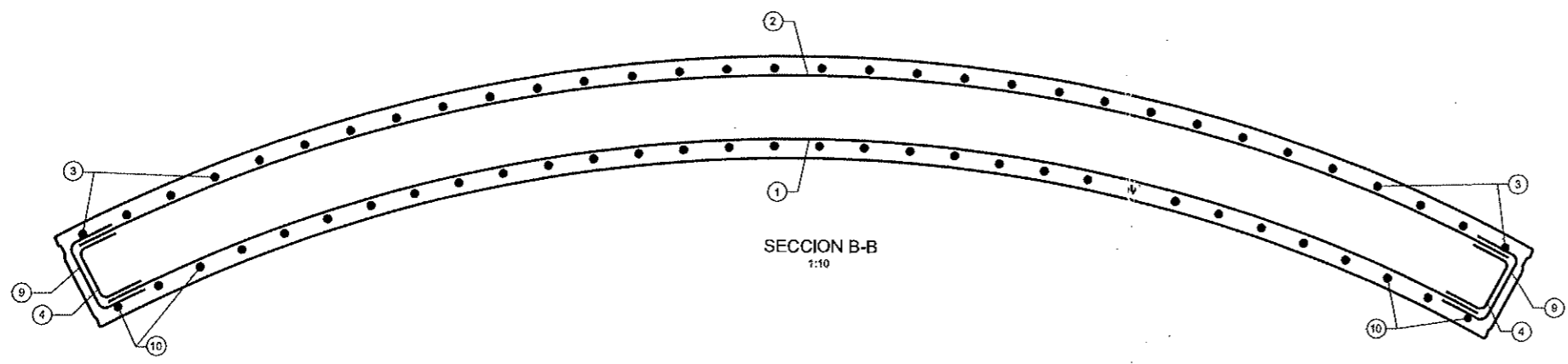
ESTRUCTURAS, TUNELES DOVELAS DEFINICION GEOMETRICA	
PLANO N° 0801-PLOC-TUN-ESR-DV-P001	HOJA: 01 de 03 REVISIÓN: 2



ARMADURA DE REFUERZO EN JUNTAS LONGITUDINALES (ENTRE DOVELAS)  
1:2.5



ARMADURA DE REFUERZO EN JUNTAS RADIALES (APOYO DE GATOS)  
1:2.5

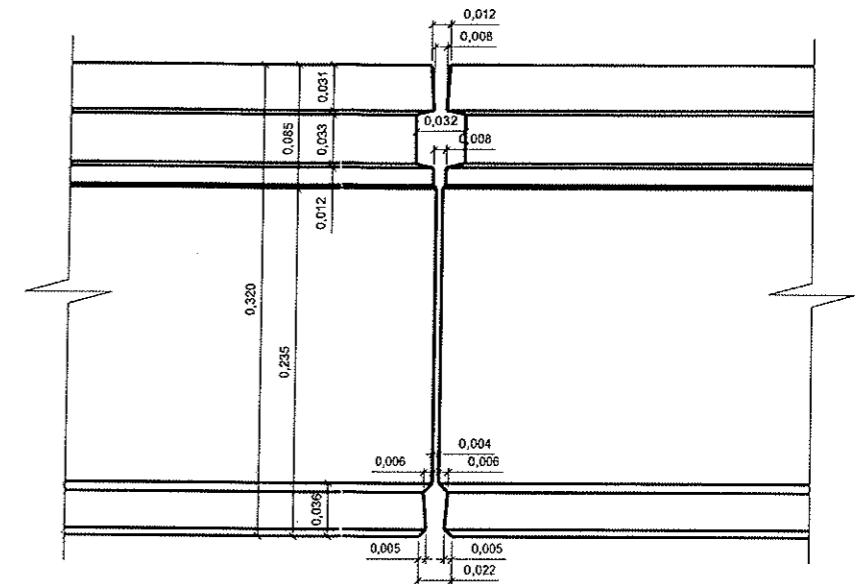
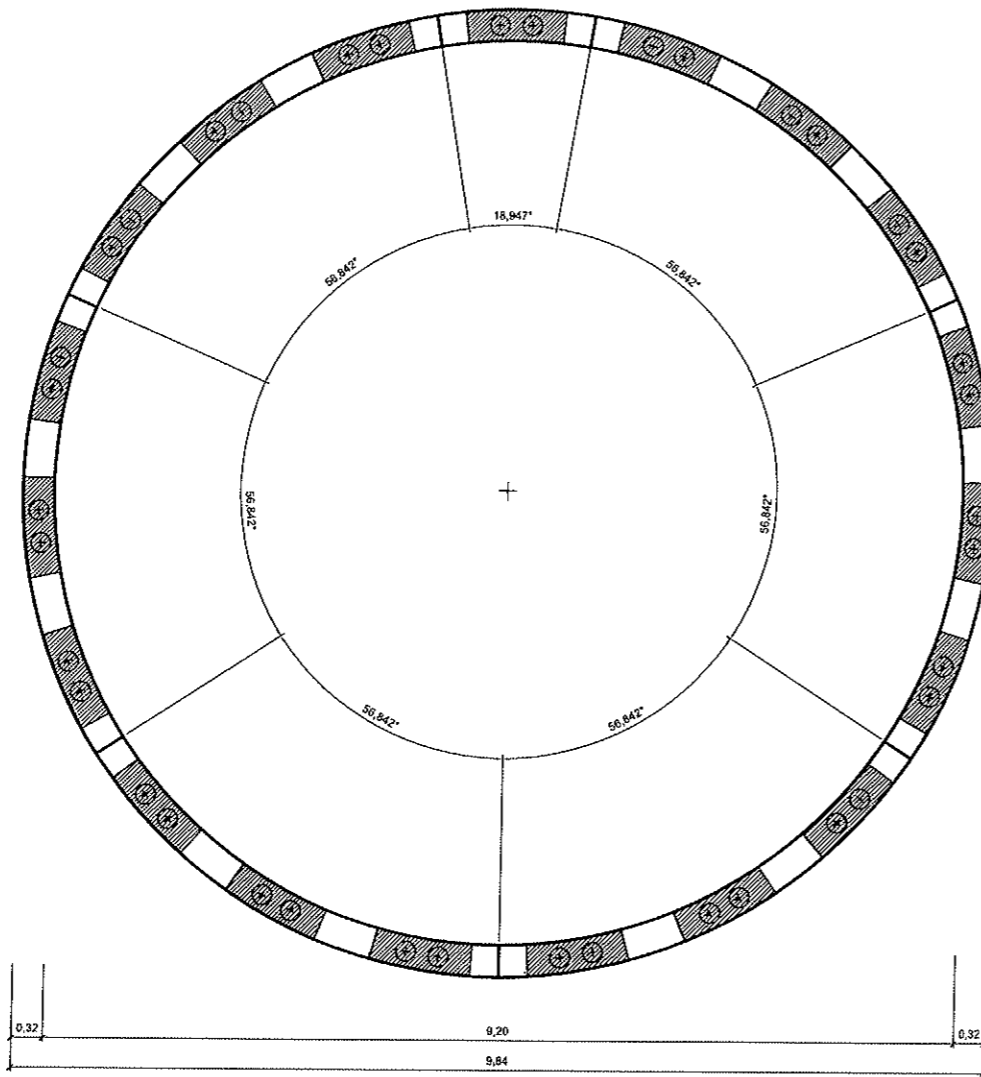


- 1) Ø 12 A 15
- 2) Ø 12 A 15
- 3) Ø 8 A 15
- 4) Ø 16 A 15
- 5) 2 Ø 10
- 6) cØ 16 A 15
- 7) 2 x 3 Ø 10
- 8) Ø 6 A 15
- 9) Ø 6 A 15
- 10) Ø 8 A 15

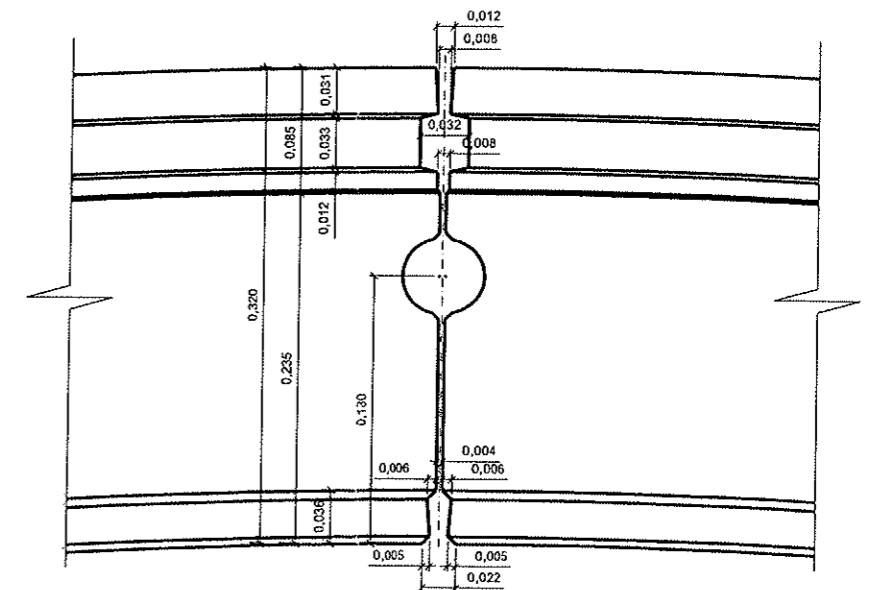
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN GASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



m:\estructuras\2020267 línea 2 (perú)\planos\originales\0801 estructuras dovelas\0801-ploc-tun-esr-dv-p001-p003.dwg



SECCION DE JUNTA CIRCUNFERENCIAL  
1:5



SECCION DE JUNTA LONGITUDINAL (RADIAL)  
1:5

DISEÑO DEL ANILLO DE DOVELAS:

- TIPO ANILLO: UNIVERSAL
- DIAMETRO INTERIOR: Ø 9,20 m.
- DIAMETRO EXTERIOR: Ø 9,84 m.
- ESPESOR: Ø 0,32 m.
- LONGITUD DE ANILLO: 1,70 m.
- 6+1 DOVELAS, ANGULO DE LLAVE 1/3
- 19 POSICIONES

SISTEMA DE EMPUJE:


- NUMERO DE CILINDROS: 19 UDS. DOBLES
- FUERZA DE EMPUJE POR CILINDRO: 2.815 kN
- FUERZA DE EMPUJE POR PAREJA DE CILINDROS: 5.630 kN
- FUERZA DE EMPUJE APLICADA CADA DOVELA: 16.890 kN
- FUERZA DE EMPUJE TOTAL: 106.965 kN
- SUPERFICIE DE LA ZAPATA DE APOYO: 3500 cm<sup>2</sup> (1,00 m x 0,35 m)

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO LUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

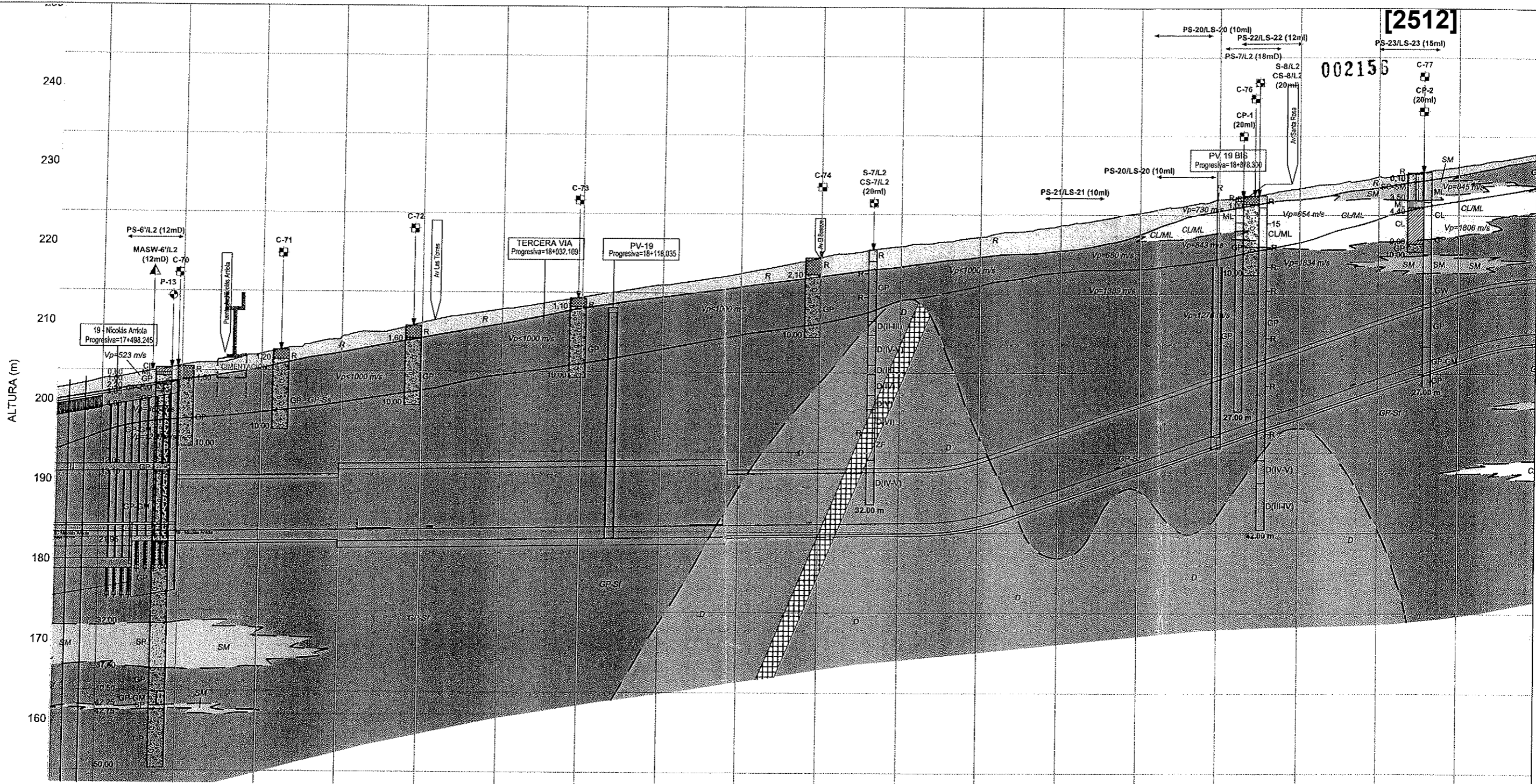
LEYENDA INVESTIGACIONES		
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA SIMPLIFICADA	ACHURADO
R	Refrío, mezcla de suelos, poco compactos y contaminados	
ML	Limo Inorgánico de baja plasticidad	
CL	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad.	
MH	Limo Inorgánico, elástico, de alta plasticidad	
OH	Limo orgánico muy compresible	
GP	Grava pobremente graduada con arena	
GC	Grava arcillosa	
GM	Grava limosa	
SM	Arena limosa	
SP	Arena pobremente graduada	
RC	Reca	
NF	Nivel Freatico (m)	

LEYENDA		
<b>Litoestratigrafía</b>		
R		RELLENO, MEZCLA DE SUELOS POCO COMPACTADOS Y CONTAMINADOS.
CL/ML		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD Y LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD.
SM		ARENAS LIMOSAS.
GP-S		GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARENA, ARCILLA Y LIMO Y CON ARENA LIMOSA Y ARCILLOSA. GP-Ss = NIVEL SUELTO. GP-Sf = NIVEL FIRME.
D		SUSTRATO ROCOSO (DIORITA, TONALITA).
C		SUSTRATO CARBONATADO (CALIZAS).
<b>Simbología</b>		
		CONTACTO LITOLÓGICO DISCORDANTE
		CONTACTO LITOLÓGICO CONCORDANTE
		ISOLÍNEA DE VELOCIDAD SÍSMICA
R		RECHAZO CONO DE PECK
65		GOLPEO CONO DE PECK
(15mD)		DISTANCIA AL EJE
		FALLA
<b>Campaña estudios básicos para la línea E-W</b>		
	P-1	PERFORACIÓN 50.00 m.
	C-1	CALICATA
<b>Campaña adicional a la de estudios básicos</b>		
	P-1	POZOS
	C-1	CALICATA
<b>Campaña complementaria propuesta</b>		
	PS-1/L2	PERFIL SÍSMICO DE REFRACCIÓN Y MASW
	S-1/L2	SONDEO MECÁNICO
	CS-1/L2	CALICATA MANUAL
	MASW-1/L2	PERFIL SÍSMICA PASIVA
<b>Campaña ProInversión</b>		
	P-1	SONDEO MECÁNICO
	CP-1	CALICATA MANUAL PROFUNDA
	CC-1	CALICATA ESPECIAL
	PS-01/LS-01	PERFIL SÍSMICA PASIVA/ PERFIL SÍSMICA REFRACCIÓN
	RE-1	TOMOGRFÍA ELÉCTRICA

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN GASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



X:\trabajo\trabajos de las obras\1201-ploc-tun-esr-ln-p001.dwg - 10/02/2014 - 17:24



P.K.	17+500	17+600	17+700	17+800	17+900	18+000	18+100	18+200	18+300	18+400	18+500	18+600	18+700	18+800	18+900	19+000	19+100	19+200
TRAMO (m)	227.71		457.59		374.25		357.99		333.11									
RECUBRIMIENTO (m)	17.77 / 13.54		17.92 / 24.08		28.07 / 24.18		27.25 / 20.35		20.38 / 15.45									
UNIDADES AFECTADAS	GP-S		GP-S		D (DIORITA-TONALITA FALLA)		GP-S											
COTA NIVEL DE AGUA (m)	< 170		< 170															
ALTURA PIEZOMÉTRICA (m)	0		0															
CAUDAL INFILTRADO (l/s/m)	0		0															
MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN EXTENSIÓN E (MPa)	83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366	
COEF. DE POISSON	0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3	
COHESIÓN C (kPa)	15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32	
ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39	
Y <sub>ep</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22	
SECCIÓN TIPO	70 % A 20 % B 10 % C		TERCERA VÍA		30 % A 50 % B 20 % C		90 % A 10 %		70 % A 20 % B 10 % C									
LONGITUD PASE (m)	A: 2 m B: 1 m C: 1 m		1 m															
EXCAVABILIDAD	90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo															
OBSERVACIONES																		

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

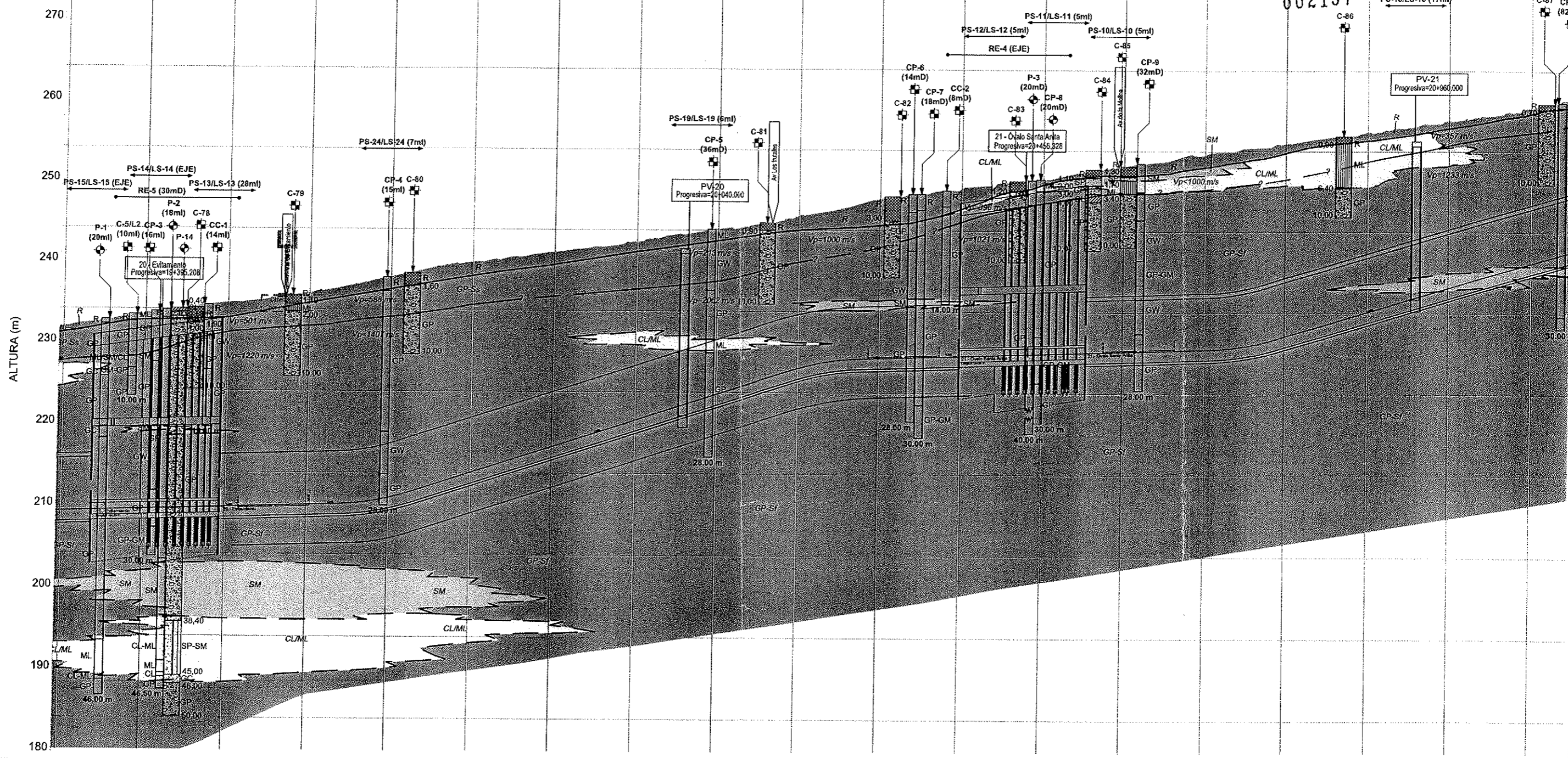


CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (M):  
H: 1/2,500  
V: 1/250  
FECHA:  
FEBRERO 2014

MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES  
TUNEL DE LÍNEA  
PERFIL LONGITUDINAL  
MÉTODOS CONVENCIONALES  
PLANO N° 1201-PLOC-TUN-ESR-LN-P001  
HORA: 2 de 7  
REVISIÓN: 1





P.K.	19+300	19+400	19+500	19+600	19+700	19+800	19+900	20+000	20+100	20+200	20+300	20+400	20+500	20+600	20+700	20+800	20+900	21+000	21+100	
TRAMO (m)	358.37		274.3		167.23		107.13		591.32		17.48 / 12.00		GP-S		GP-SGP-S		< 220 < 220		0	
RECUBRIMIENTO (m)	20.27 / 18.01		18.01 / 12.69		12.69 / 11.57		13.68 / 12.60		0		83 / 366		0,3		15 / 325 / 32		34 / 394 / 39		20 / 220 / 22	
UNIDADES AFECTADAS	IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR		IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR		IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR		IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR		IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR		IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR		IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR		IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR		IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR		IGUAL QUE EL TRAMO ANTERIOR	
COTA NIVEL DE AGUA (m)	GP-S		GP-S		GP-S		GP-S		GP-S		GP-S		GP-S		GP-S		GP-S		GP-S	
ALTURA PIEZOMÉTRICA (m)	< 200		< 200		< 200		< 200		< 200		< 200		< 200		< 200		< 200		< 200	
CAUDAL INFILTRADO (l/s)	0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
MÓDULO DE DEFORMACIÓN (MPa)	83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366		83 / 366	
COEF. DE POISSON	0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3	
COHESIÓN C' (KPa)	15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32		15 / 32	
ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39		34 / 39	
Yap (kN/m³)	20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22		20 / 22	
SECCIÓN TIPO	90 % A 10 % B		70 % A 20 % B 10 % C		50 % A 30 % B 20 % C		70 % A 20 % B 10 % C		70 % A 20 % B 10 % C		70 % A 20 % B 10 % C		70 % A 20 % B 10 % C		70 % A 20 % B 10 % C		70 % A 20 % B 10 % C		70 % A 20 % B 10 % C	
LONGITUD PASE (m)	A: 2 m B: 1m C: 1m		A: 2 m B: 1m C: 1m		A: 2 m B: 1m C: 1m		A: 2 m B: 1m C: 1m		A: 2 m B: 1m C: 1m		A: 2 m B: 1m C: 1m		A: 2 m B: 1m C: 1m		A: 2 m B: 1m C: 1m		A: 2 m B: 1m C: 1m		A: 2 m B: 1m C: 1m	
EXCAVABILIDAD	90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo		90 % Medios mecánicos 10 % Martillo	
OBSERVACIONES																				

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

**ProlInversión**  
 Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Perú

CONSULTORES  
**CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA**

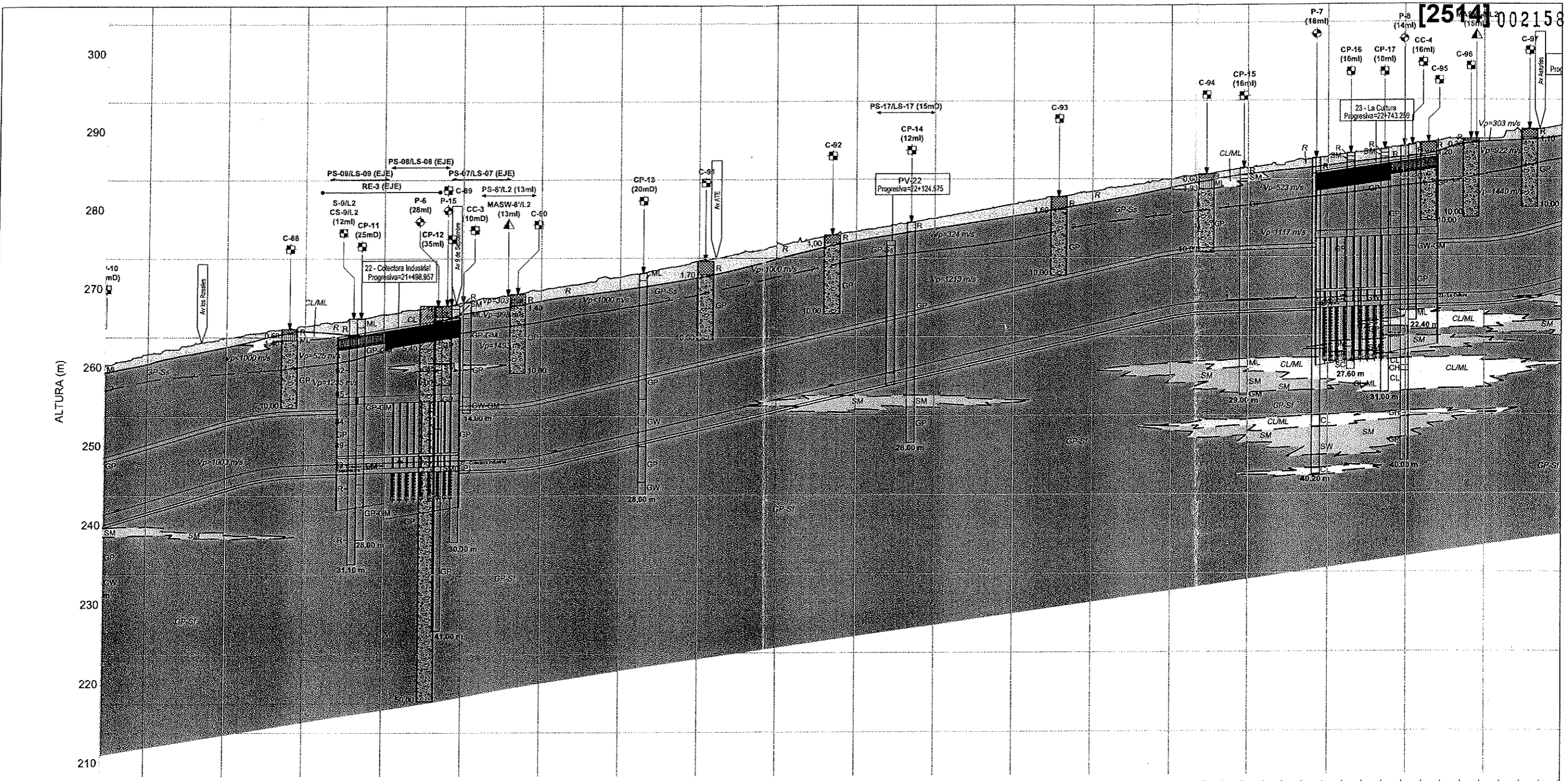
**ayesa** **euroestudios** **2IT**

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (H):  
 H: 1/2.500  
 V: 1/250  
 FECHA:  
 FEBRERO 2014



MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES  
 TÚNEL DE LÍNEA  
 PERFIL LONGITUDINAL  
 MÉTODOS CONVENCIONALES  
 PLANO N° 1201-PLOC-TUN-ESR-E1A-LN-P001  
 HOJA: 2 de 4  
 REVISIÓN: 3



P.K.	21+200	21+300	21+400	21+500	21+600	21+700	21+800	21+900	22+000	22+100	22+200	22+300	22+400	22+500	22+600	22+700	22+800	22+900
TRAMO (m)	297.09				611.87				477.71				154.87					
RECUBRIMIENTO (m)	12.00 / 10.26				11.19 / 11.29				11.29 / 9.24				12.59 / 12.56					
DATOS GEOLÓGICOS	UNIDADES AFECTADAS GP-S				GP-S				GP-S				GP-S					
	COTA NIVEL DE AGUA (m) < 230				< 240				< 240				< 250					
	ALTURA PIEZOMÉTRICA (m) 0 0				0				0				0					
	CAUDAL INFILTRADO (l/s/m) 0 0				0				0				0					
DATOS GEOMECÁNICOS	MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN EXTENSIÓN E (MPa) 83 / 366				83 / 366				83 / 366				83 / 366					
	COEF. DE POISSON 0,3				0,3				0,3				0,3					
	COHESIÓN C (KPa) 15 / 32				15 / 32				15 / 32				15 / 32					
	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°) 34 / 39				34 / 39				34 / 39				34 / 39					
SOSTENIMIENTO	Yap (kN/m²) 20 / 22				20 / 22				20 / 22				20 / 22					
	SECCIÓN TIPO 70 % A 20 % B 10 % C				70 % A 20 % B 10 % C				70 % A 20 % B 10 % C				50 % A 30 % B 20 % C					
	LONGITUD FASE (m) A: 2 m B: 1m C: 1m				A: 2 m B: 1m C: 1m				A: 2 m B: 1m C: 1m				A: 2 m B: 1m C: 1m					
	EXCAVABILIDAD 90 % Medios mecánicos 10 % Martillo				90 % Medios mecánicos 10 % Martillo				90 % Medios mecánicos 10 % Martillo				90 % M. mecánicos 10 % Mart.					



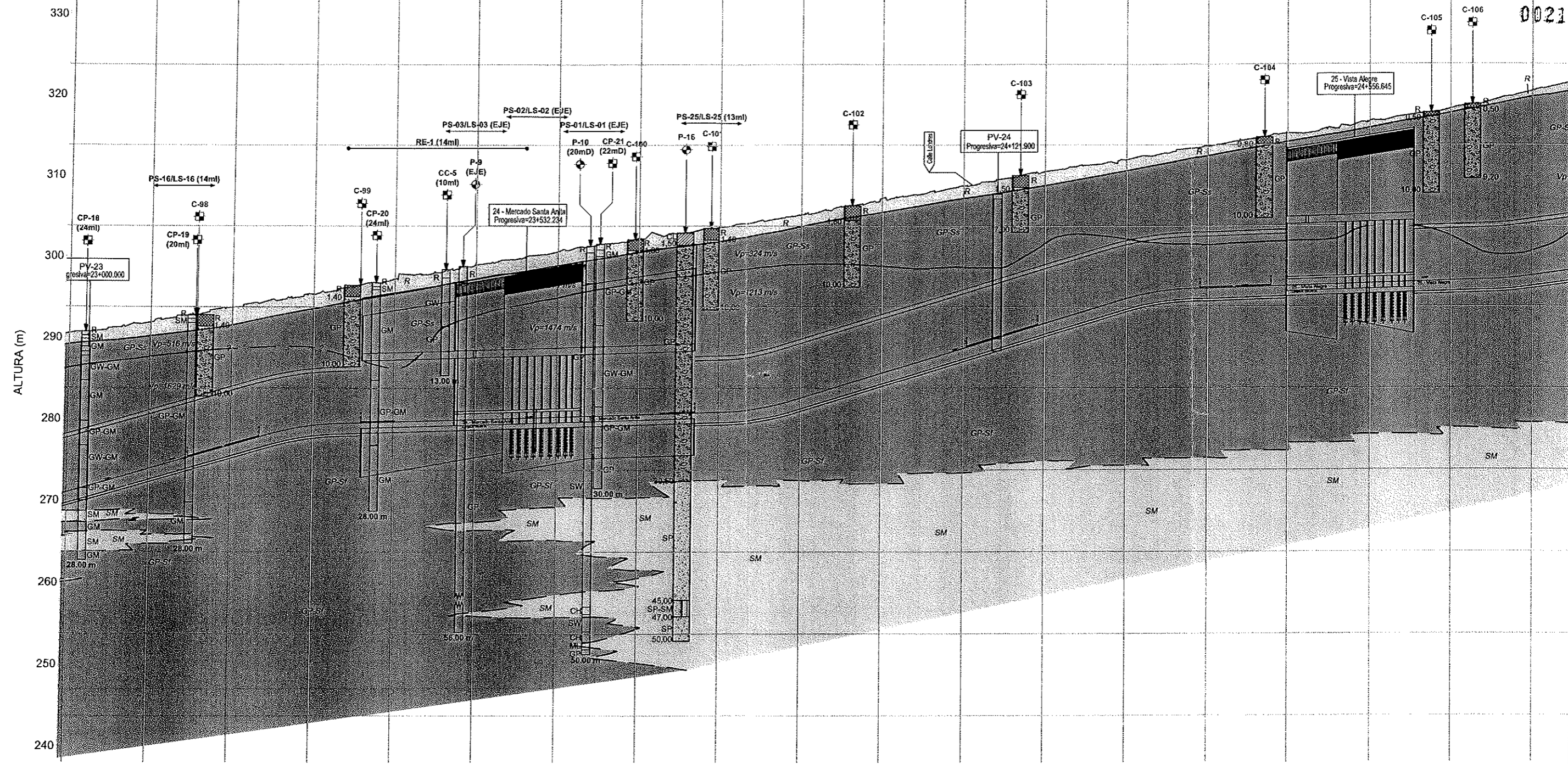
CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (M):  
H: 1/2.500  
V: 1/250  
FECHA: FEBRERO 2014

MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES  
TÚNEL DE LÍNEA  
PERFIL LONGITUDINAL  
MÉTODOS CONVENCIONALES

PLANO N° 1201-PLOC-TUN-ESR-LN-P001  
HOJA 4 de 7  
REVISIÓN 1

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



P.K.	23+000	23+100	23+200	23+300	23+400	23+500	23+600	23+700	23+800	23+900	24+000	24+100	24+200	24+300	24+400	24+500	24+600	24+700	24+800	
TRAMO (m)	106.11		259.14												525.01		204.77		191	
RECUBRIMIENTO (m)	12.59 / 10.97		10.97 / 9.05												16.08 / 10.52		11.86 / 10.12		15.78 / 13.75	
DATOS GEOLÓGICOS	UNIDADES AFECTADAS																			
	COTA NIVEL DE AGUA (m)																			
	ALTURA PIEZOMÉTRICA (m)																			
	CAUDAL INfiltrADO (l/s)																			
DATOS GEOMÉTRICOS	MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN EXTENSIÓN E (MPa)																			
	COEF. DE POISSON																			
	COHESIÓN C (KPa)																			
	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)																			
SISTEMIENTO	SECCIÓN TIPO																			
	LONGITUD FASE (m)																			
	EXCAVABILIDAD																			
	OBSERVACIONES																			
	PANTALLAS																			
SECCIÓN TIPO																				
LONGITUD FASE (m)																				
EXCAVABILIDAD																				
OBSERVACIONES																				

x:\mauro\trabajos de ingeniería\1201-ploc-tun-esr-ln-p001.dwg - 10/02/2014 - 17:25

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
INGENIERO JUAN BASILIO GARCIA

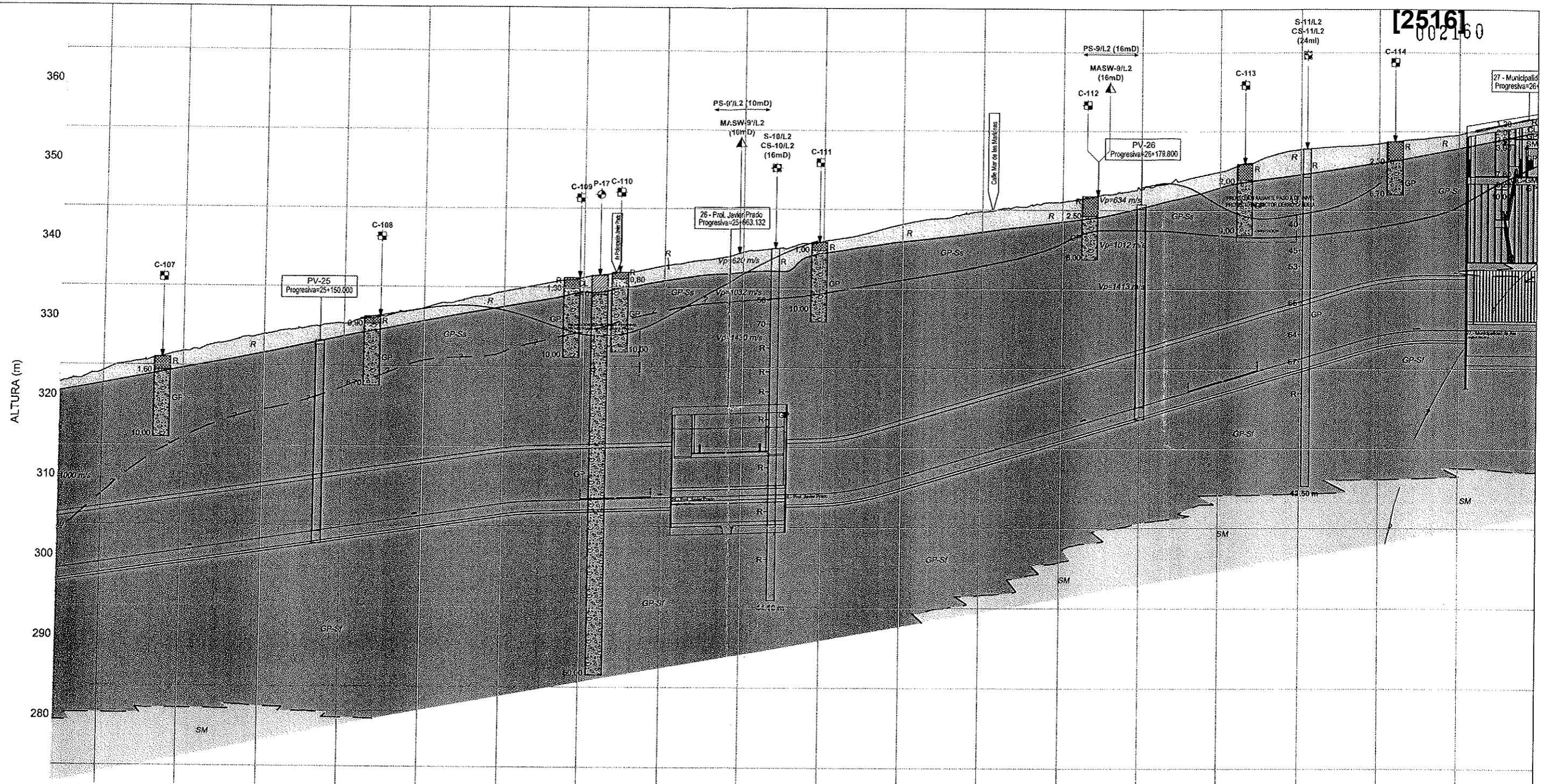


CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A):  
H: 1/2,500  
V: 1/200  
FECHA:  
FEBRERO 2014



MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES  
TÚNEL DE LÍNEA  
PERFIL LONGITUDINAL  
MÉTODOS CONVENCIONALES  
PLANO Nº 1201-PLOC-TUN-ESR-LN-P001  
REVISIÓN 5 de 7



x:\trabajo\trabajaos\del\mascion\202067 metro de lima\linea\perfil longitudinal\1201-ploc-tun-esr-ln-p001.dwg - 10/02/2014 - 17:28

P.K.	24+900	25+000	25+100	25+200	25+300	25+400	25+500	25+600	25+700	25+800	25+900	26+000	26+100	26+200	26+300	26+400	26+500	26+600
TRAMO (m)	43.63	93.64	492.73				137.13				538.03				317.48			
RECUBRIMIENTO (m)	16.07/15.75	16.44 / 16.07	17.02 / 16.44				18.64 / 17.02				21.99 / 16.67				18.23 / 16.61			
DATOS GEOLOGICOS	UNIDADES AFECTADAS																	
	GP-S																	
	COTA NIVEL DE AGUA (m)																	
	< 290																	
ALTURA PIEZOMÉTRICA (m)																		
0																		
CAUDAL INFILTRADO (l/s/m)																		
0																		
MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN EXTENSIÓN E (MPa)																		
83 / 366																		
COEF. DE POISSON																		
0,3																		
COHESIÓN C' (KPa)																		
15 / 32																		
ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)																		
34 / 39																		
Y <sub>sp</sub> (KWh/m³)																		
20 / 22																		
SOSTENIMIENTO	SECCIÓN TIPO																	
	10 50 40 50 % A 30 % B 20 %																	
	70 % A 20 % B 10 % C																	
	90 % A 10 % B																	
LONGITUD FASE (m)																		
A: 2 m B: 1m C: 1m																		
EXCAVABILIDAD																		
90 % Medios mecánicos 10 % Martillo																		
OBSERVACIONES																		

PANTALLAS

PANTALLAS

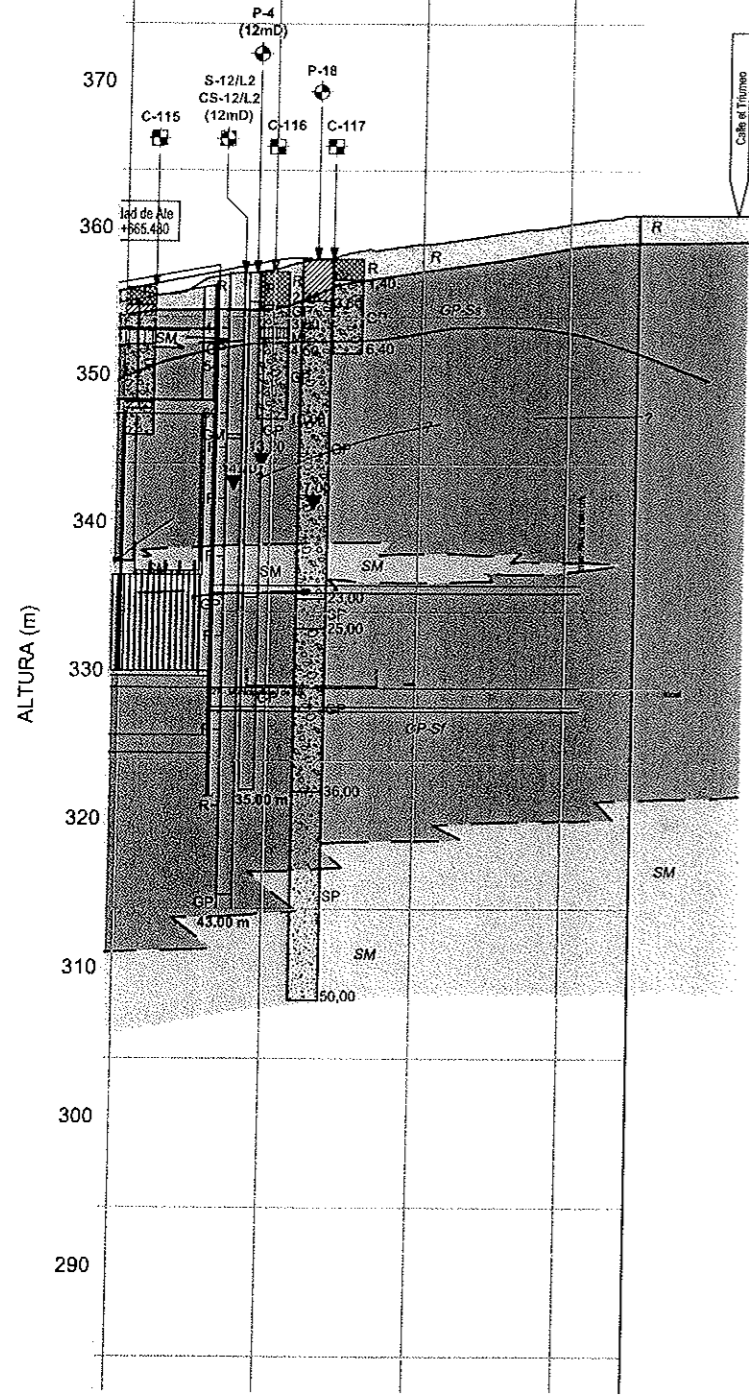
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A):  
FECHA: FEBRERO 2014

MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES  
TÚNEL DE LÍNEA  
PERFIL LONGITUDINAL  
MÉTODOS CONVENCIONALES  
PLANO N° 1201-PLOC-TUN-ESR-LN-P001  
HOJA 6 de 7  
REVISIÓN 1



P.K.	26+700	26+800	26+900	27+000	27+100
TRAMO (m)	357.22				
RECUBRIMIENTO (m)	25.09 / 19.61				
DATOS GEOLÓGICOS	UNIDADES AFECTADAS	GP-S GP-S			
	COTA NIVEL DE AGUA (m)	345.84345.84			
	ALTURA PIEZOMÉTRICA (m)	10 10			
DATOS GEOMECÁNICOS	CAUDAL INFILTRADO (l/s/m)	Max. 8.5 l/seg durante excavación del avance			
	MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN EXTENSIÓN E (MPa)	83 / 3683 / 366			
	COEF. DE POISSON	0,3 0,3			
	COHESIÓN C (KPa)	15 / 3215 / 32			
	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	34 / 3934 / 39			
SOSTENIMIENTO	γ <sub>ap</sub> (KN/m³)	20 / 2220 / 22			
	SECCIÓN TIPO	90 % A 10 % B			
	LONGITUD PASE (m)	A: 2 m B: 1 m C: 1m			
	EXCAVABILIDAD	90 % Medios mecánicos 10 % Martillo			
OBSERVACIONES	PANTALLAS				

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A):  
H: 1/2.500  
V: 1/250  
FECHA:  
FEBRERO 2014

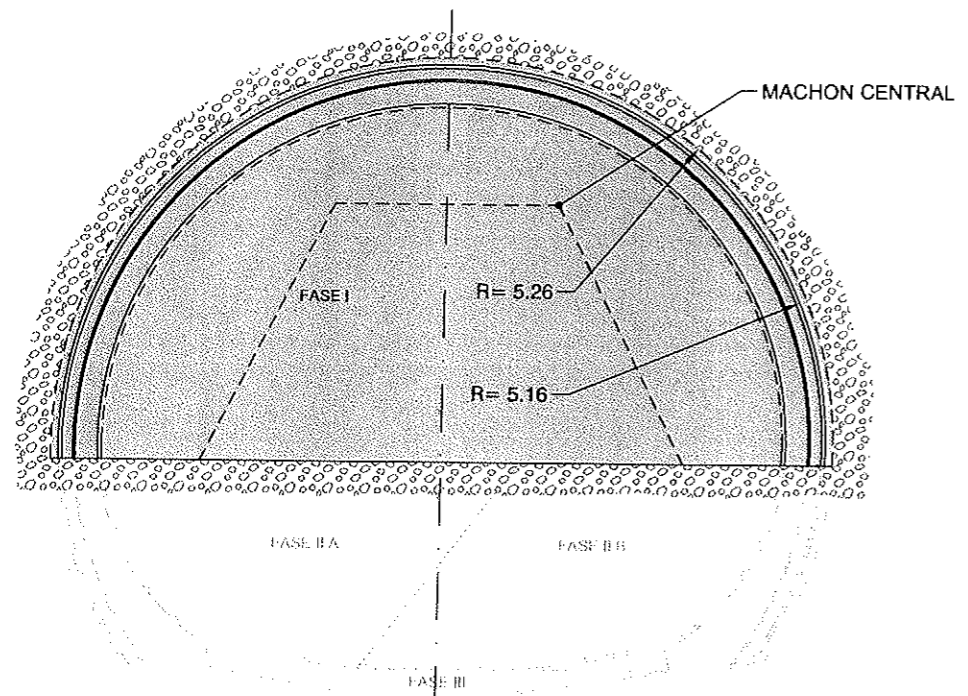


MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES  
TUNEL DE LÍNEA  
PERFIL LONGITUDINAL  
MÉTODOS CONVENCIONALES

PLANO N°	1201-PLOC-TUN-ESR-LN-P001	HOL:	7 de 7	REVISIÓN:	1
----------	---------------------------	------	--------	-----------	---

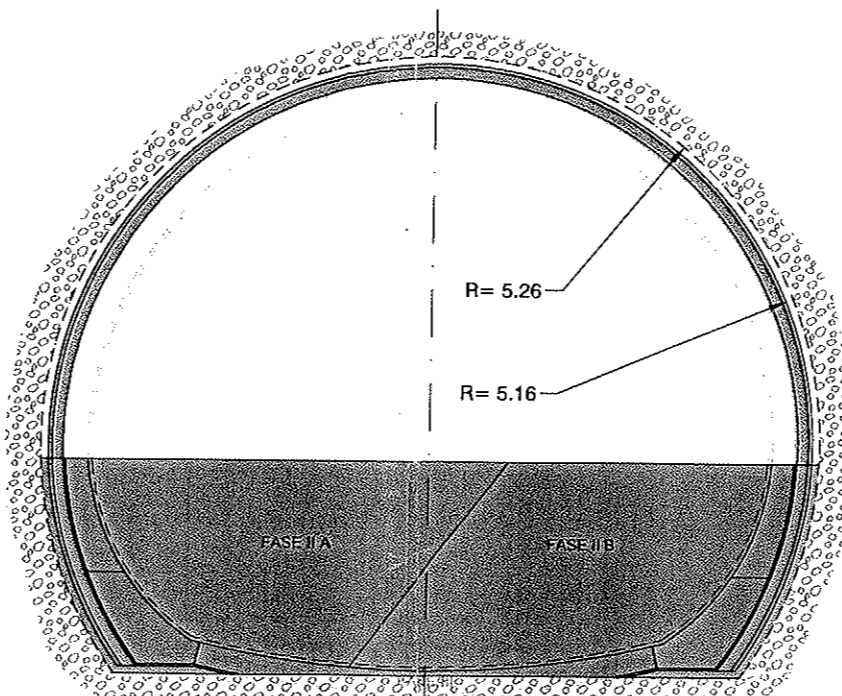
SECCIÓN TIPO A

ETAPA I



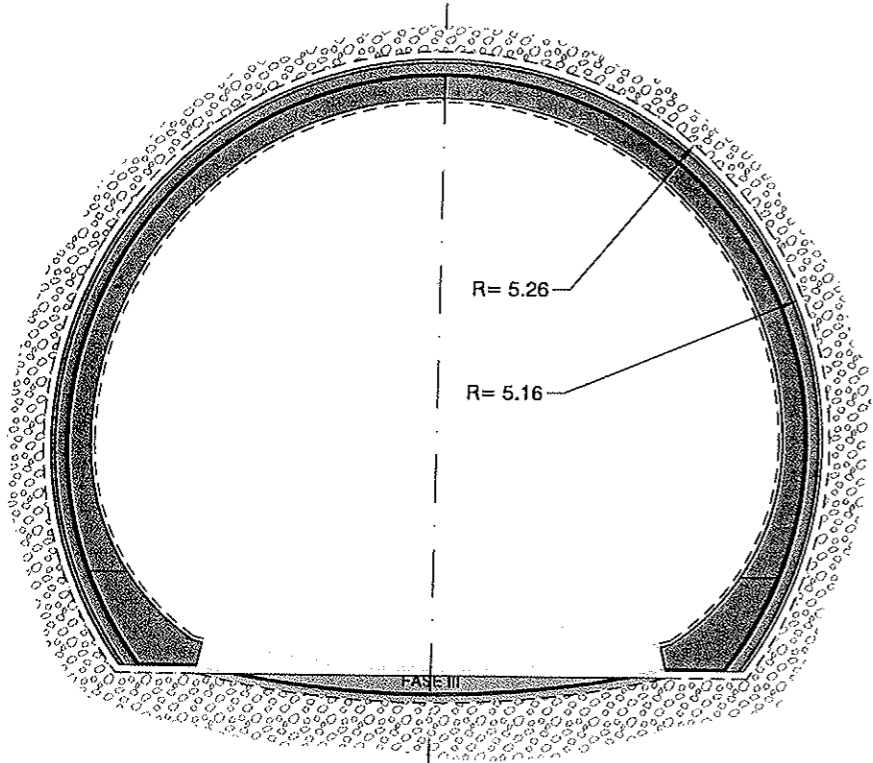
SECCIÓN TIPO A  
Escala 1:50

ETAPA II



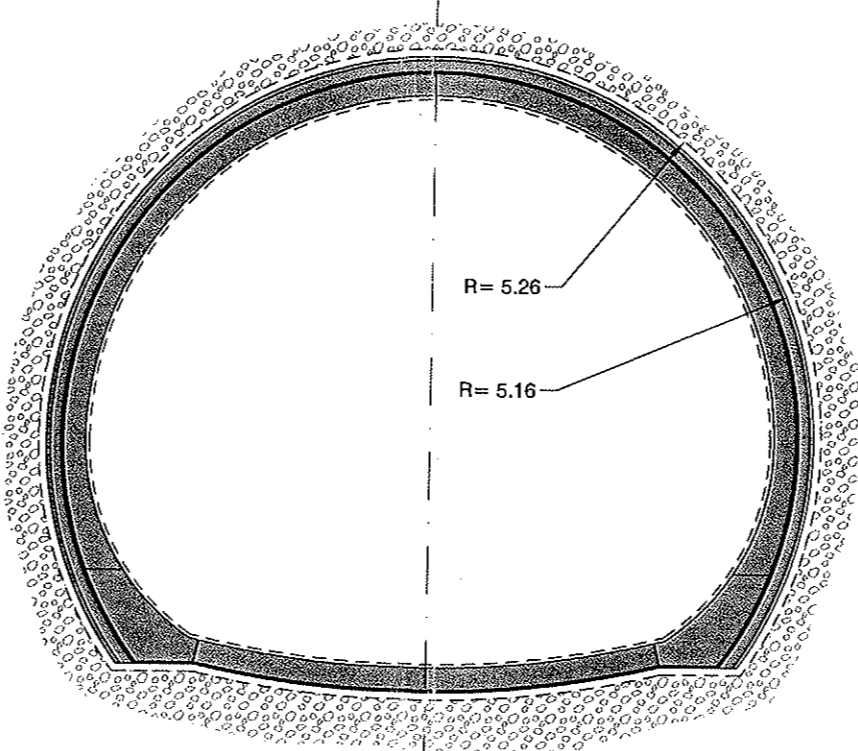
SECCIÓN TIPO A  
Escala 1:50

ETAPA III



SECCIÓN TIPO A  
Escala 1:50

ETAPA IV



SECCIÓN TIPO A  
Escala 1:50

SECCIÓN	APLICACIÓN SECCION TIPO
A	TODO EL FRENTE EN GRAVAS MUY DENSAS

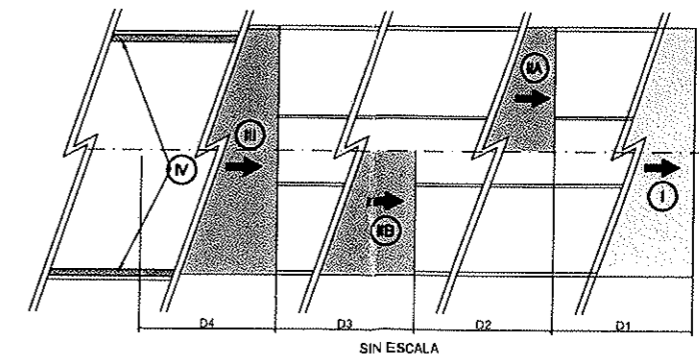
SECCION TIPO	FASES	AVANCE	DESTROZA	TOTAL
A	I	45.98		
	II A		14.16	
	II B		14.16	
	III		1.53	
TOTALES		45.98	29.85	75.83

SECCION TIPO	GEOMETRÍAS DE EXCAVACIÓN (m)		FASES	MEDICIONES (m³/m)		
	RADIOS TEORICO EXCAV.	ABONO		AVANCE	DESTROZA	TOTAL
A	5.16	5.26	I	45.98		
			II A		14.16	
			II B		14.16	
			III		1.53	
			TOTALES	45.98	29.85	75.83

NOTA: LA EXCAVACIÓN SE HA MEDIDO HASTA LA LÍNEA DE ABONO.

- \* Etapa I:
  - a) Excavación de la bóveda con machón central (FASE I).
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la bóveda.
  - c) Excavación del machón central.
- \* Etapa II:
  - a) Excavación de la destroza lateral izquierda (FASE II A).
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la destroza lateral izquierda.
  - c) Excavación de la destroza lateral derecha (FASE II B).
  - d) Ejecución del revestimiento primario de la destroza lateral derecha.
  - e) Ejecución muros de arranque y bóveda del revestimiento secundario.
- \* Etapa III:
  - a) Excavación de la contrabóveda (FASE III)
- \* Etapa IV:
  - a) Ejecución del revestimiento secundario de la contrabóveda.

ESQUEMA PLANIMÉTRICO

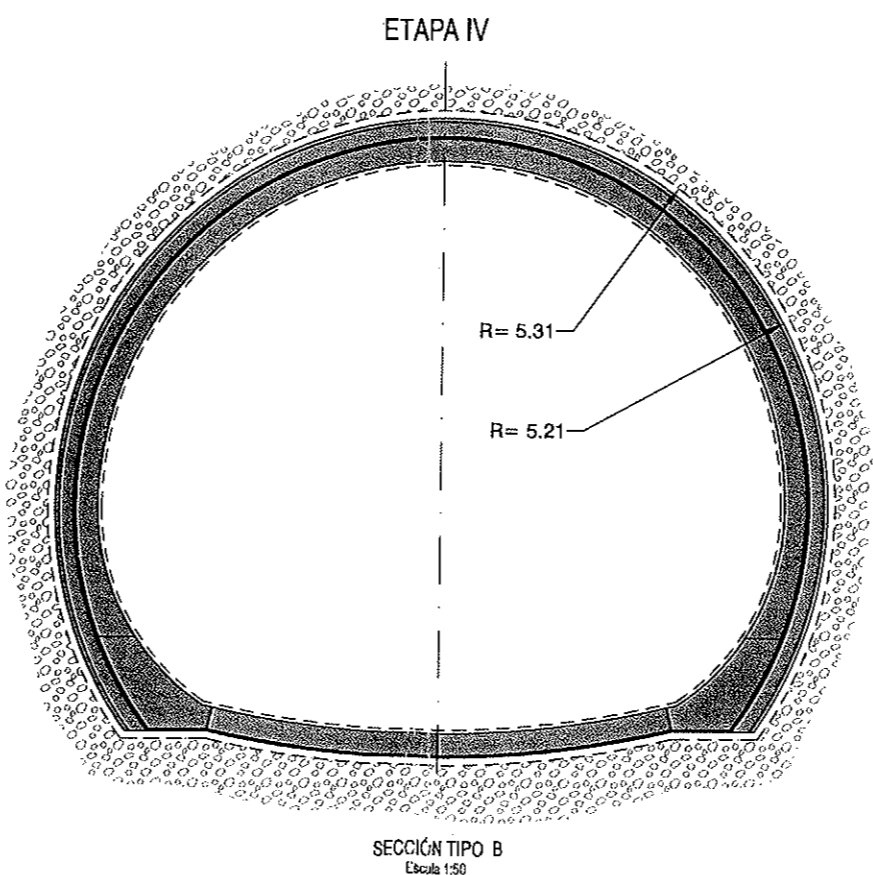
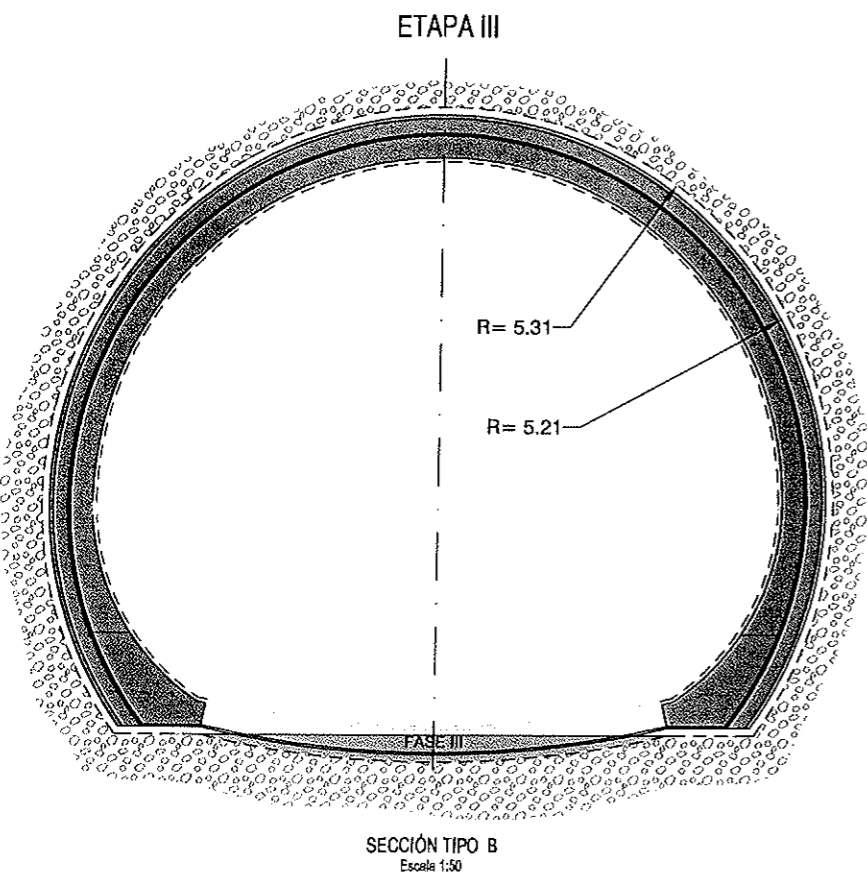
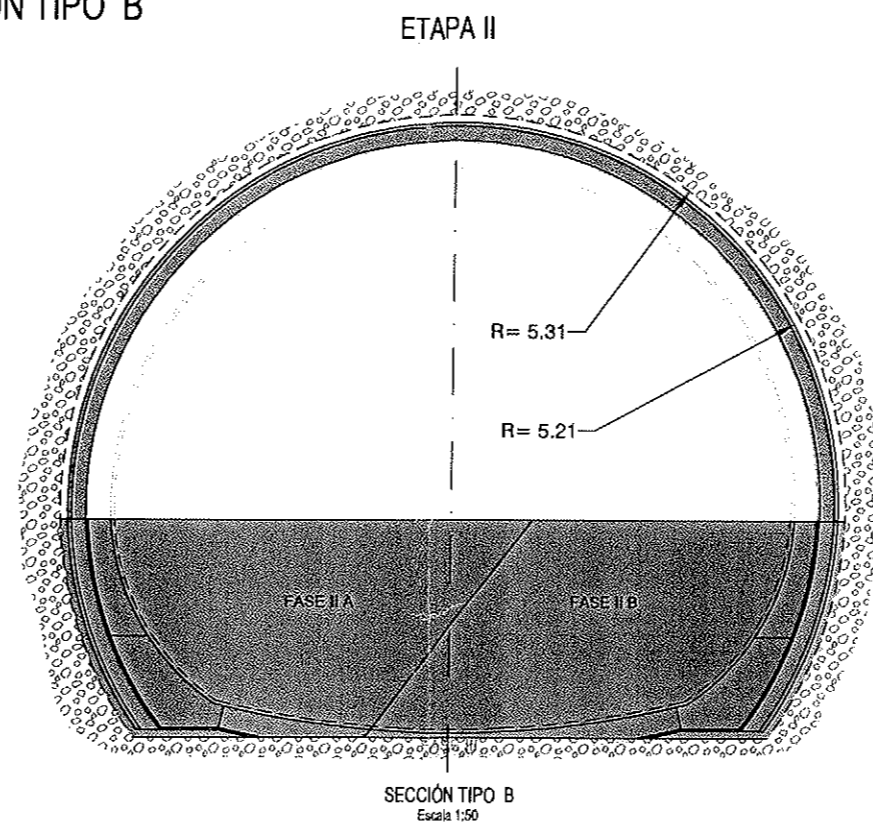
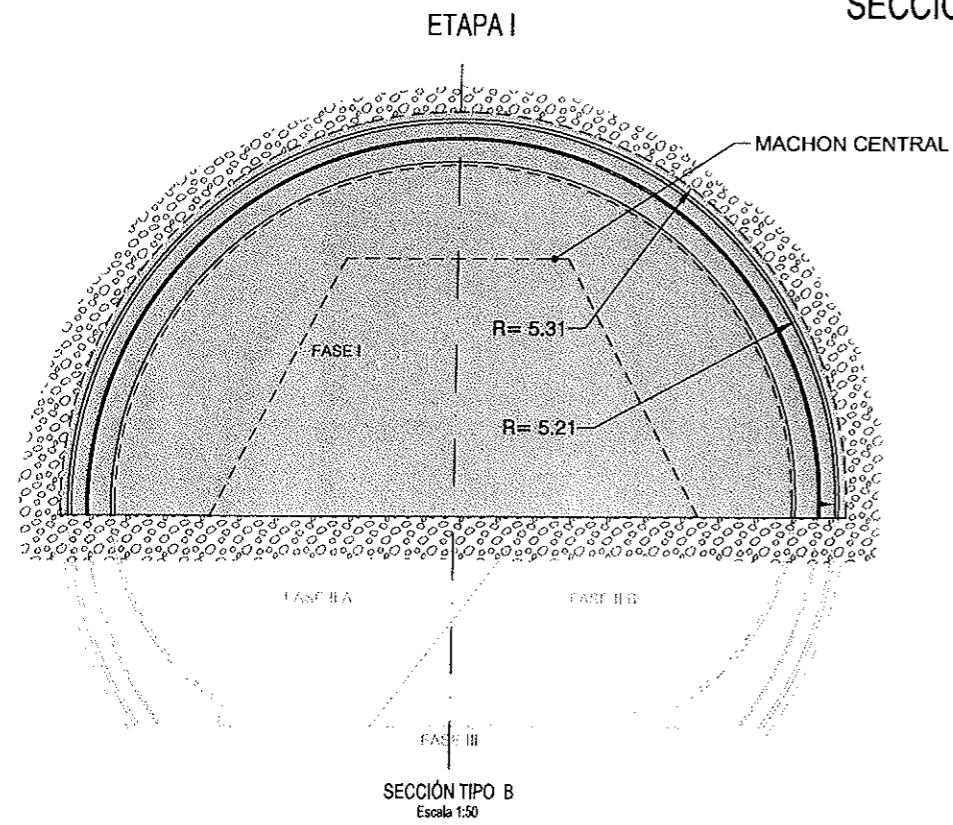


Distancias entre los frentes de excavación:  
 - D1 ≥ 15 m.  
 - D2 ≥ 10 m.  
 - D3 ≥ 10 m.  
 - D4 ≥ 15 m.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

x:\mauro\trabajos\delin\mauro\1201-ploc-tun-esr-ln-p011.dwg - 10/02/2014 - 09:50

SECCIÓN TIPO B



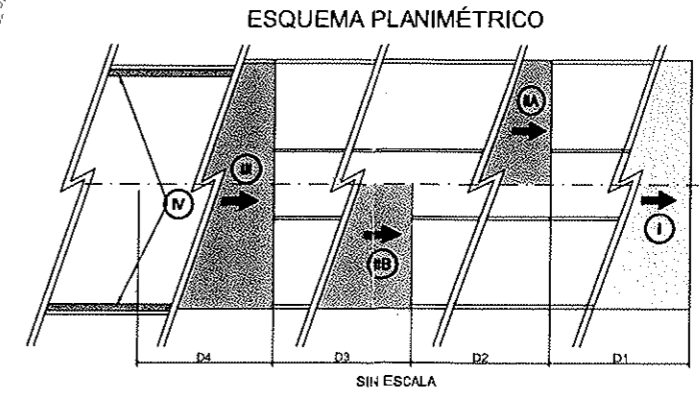
APLICACIÓN SECCIÓN TIPO	
SECCIÓN	CRITERIO
B	PARTE DEL FRENTE EN GRAVAS MUY DENSAS

SECCION TIPO	EXCAVACIÓN			EXCAVABILIDAD
	FASES	LONGITUD MÁXIMA DE EXCAVACIÓN		
B	I	BÓVEDA	1	90% M.MECANICOS 10% MARTILLO
	II A	DESTROZA	2	90% M.MECANICOS 10% MARTILLO
	II B	DESTROZA	2	90% M.MECANICOS 10% MARTILLO
	III	CONTRABÓVEDA	2	90% M.MECANICOS 10% MARTILLO

SECCION TIPO	GEOMETRÍAS DE EXCAVACIÓN (m)		FASES	MEDICIONES (m³/m)		
	RADIOS TEORICO EXCAV.	ABONO		AVANCE	DESTROZA	TOTAL
B	5.21	5.31	I	46.31		
			II A		14.57	
			II B		14.57	
			III		1.54	
			TOTALES	46.31	30.68	76.99

NOTA: LA EXCAVACIÓN SE HA MEDIDO HASTA LA LÍNEA DE ABONO.

- \* Etapa I:
  - a) Excavación de la bóveda con machon central (FASE I).
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la bóveda.
  - c) Excavación del machon central.
- \* Etapa II:
  - a) Excavación de la destroza lateral izquierda (FASE II A).
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la destroza lateral izquierda.
  - c) Excavación de la destroza lateral derecha (FASE II B).
  - d) Ejecución del revestimiento primario de la destroza lateral derecha.
  - e) Ejecución muros de arranque y bóveda del revestimiento secundario.
- \* Etapa III:
  - a) Excavación de la contrabóveda (FASE III)
- \* Etapa IV:
  - a) Ejecución del revestimiento secundario de la contrabóveda.



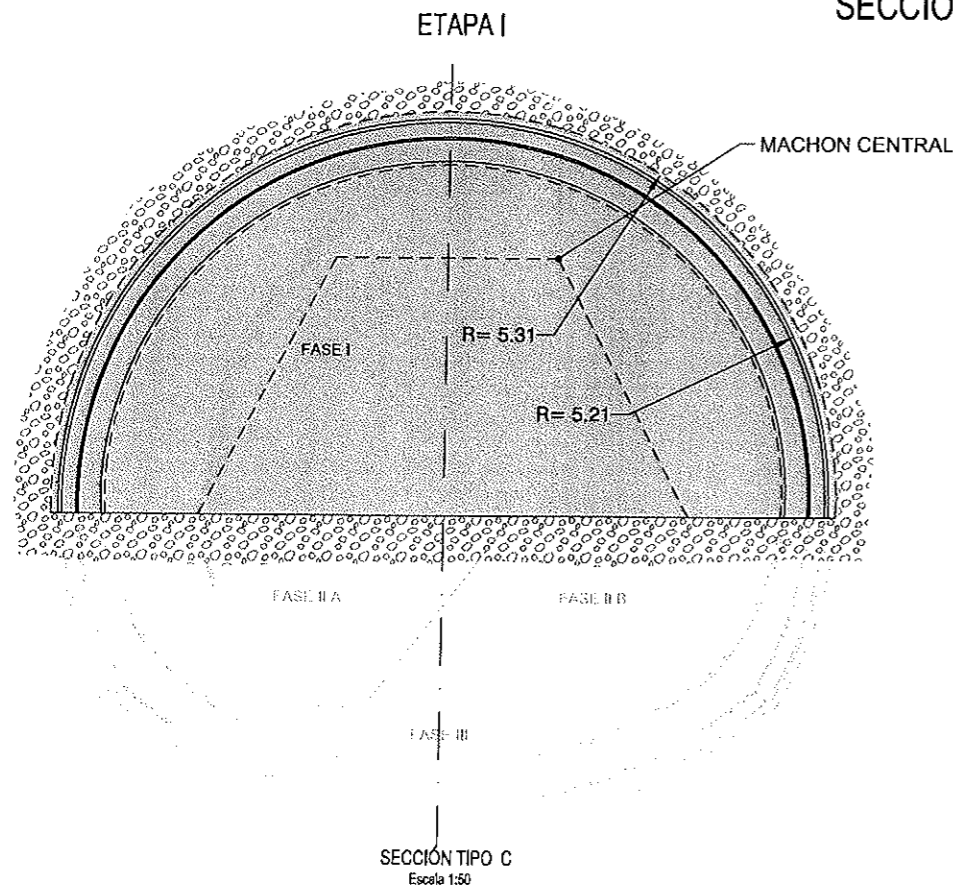
Distancias entre los frentes de excavación:

- D1 ≥ 15 m.
- D2 ≥ 10 m.
- D3 ≥ 10 m.
- D4 ≥ 15 m.

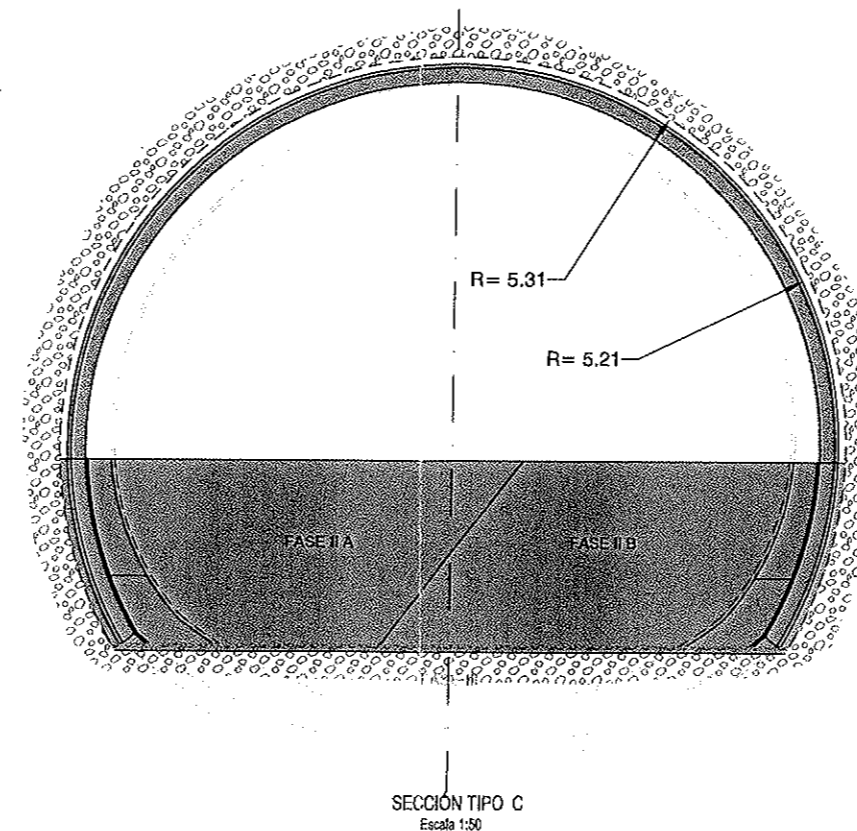
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

X:\trabajo\trabajos de ingeniería\2015\metro de lima\1201-ploc-tun-esr-ln-p001-p011.dwg - 10/02/2014 - 09:50

SECCIÓN TIPO C



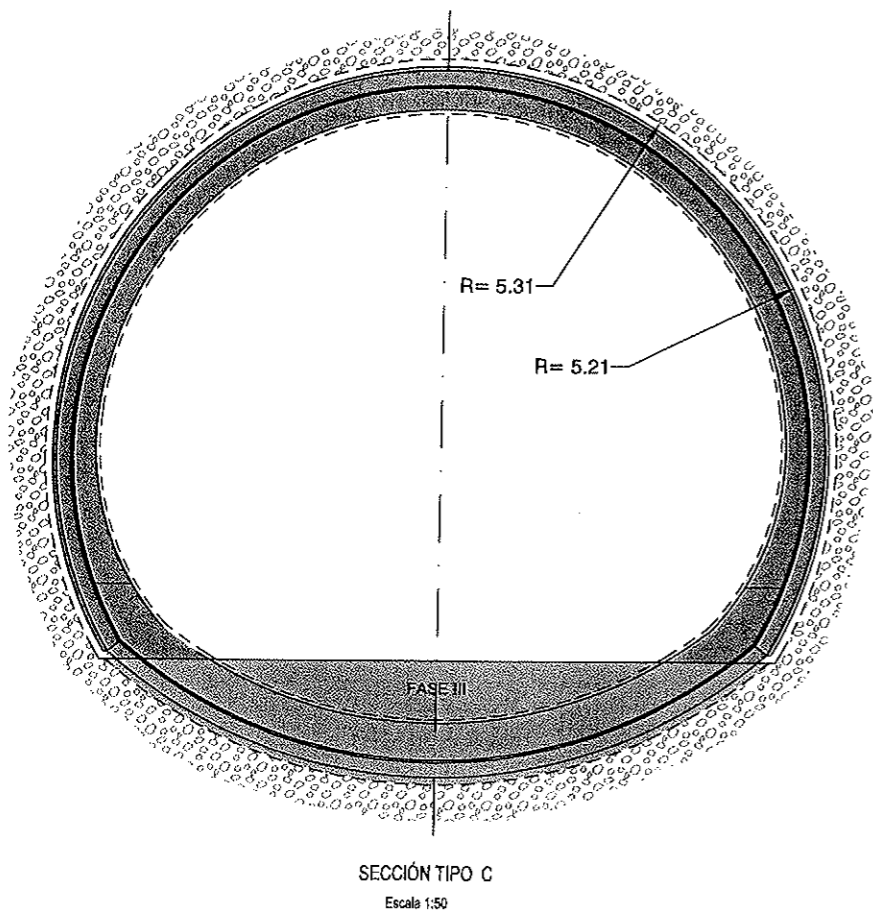
ETAPA II



SECCIÓN TIPO C  
Escala 1:50

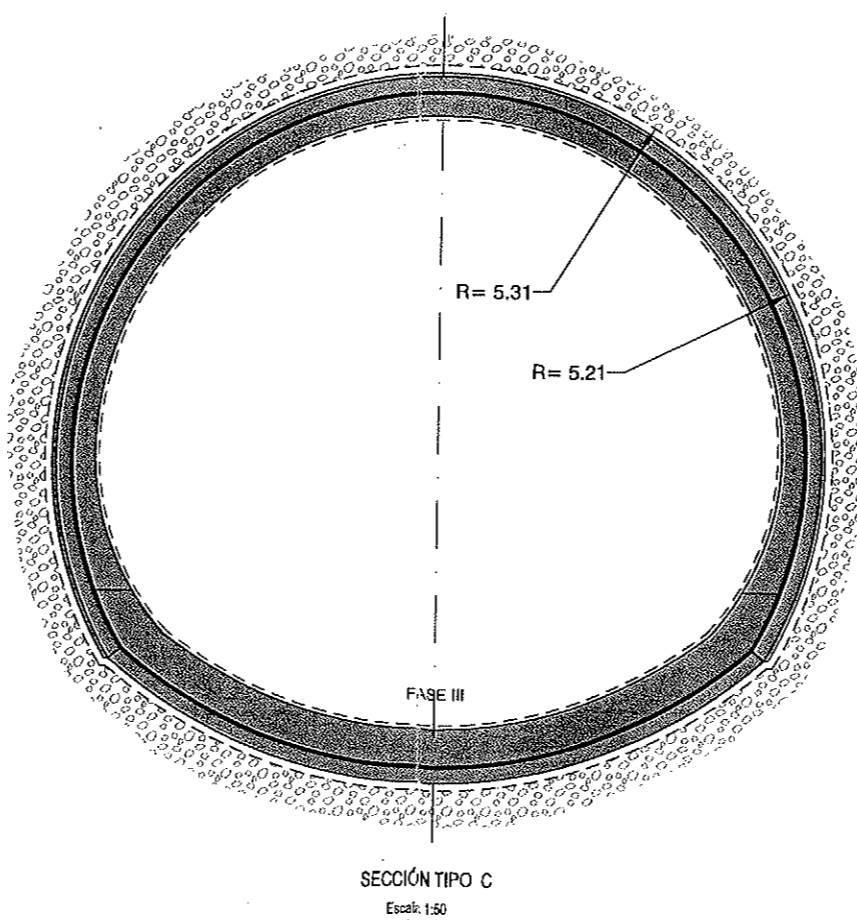
SECCIÓN TIPO C  
Escala 1:50

ETAPA III



SECCIÓN TIPO C  
Escala 1:50

ETAPA IV



SECCIÓN TIPO C  
Escala 1:50

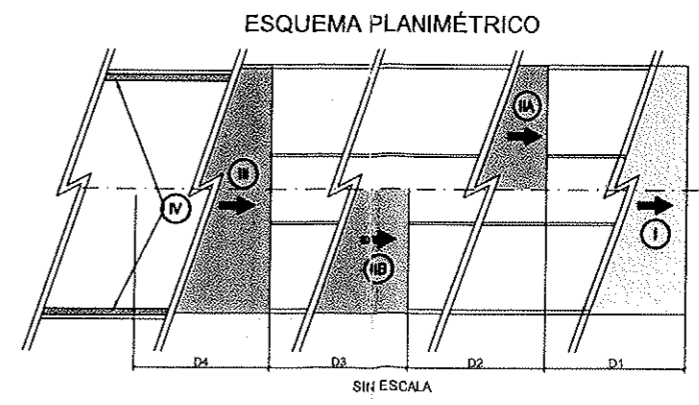
APLICACIÓN SECCION TIPO	
SECCION	CRITERIO
C	TODO EL FRENTE, EN GRAVAS MEDIANAMENTE DENSAS, DE BAJA DENSIDAD RELATIVA

SECCION TIPO	EXCAVACIÓN			EXCAVABILIDAD
	FASES	LONGITUD MÁXIMA DE EXCAVACIÓN		
C	I	BÓVEDA	1	90% M.MECANICOS 10% MARTILLO
	II A	DESTROZA	2	90% M.MECANICOS 10% MARTILLO
	II B	DESTROZA	2	90% M.MECANICOS 10% MARTILLO
	III	CONTRABÓVEDA	2	90% M.MECANICOS 10% MARTILLO

SECCION TIPO	GEOMETRÍAS DE EXCAVACIÓN (m)		FASES	MEDICIONES (m <sup>2</sup> /m)		
	RADIOS TEORICO EXCAV.	ABONO		AVANCE	DESTROZA	TOTAL
C	5.21	5.31	I	46.31		
			II A		13.02	
			II B		13.02	
			III		10.22	
			TOTALES	46.31	36.26	82.57

NOTA: LA EXCAVACIÓN SE HA MEDIDO HASTA LA LÍNEA DE ABONO.

- \* Etapa I:
  - a) Excavación de la bóveda con machón central (FASE I).
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la bóveda.
  - c) Excavación del machón central.
- \* Etapa II:
  - a) Excavación de la destroza lateral izquierda (FASE II A).
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la destroza lateral izquierda.
  - c) Excavación de la destroza lateral derecha (FASE II B).
  - d) Ejecución del revestimiento primario de la destroza lateral derecha.
- \* Etapa III:
  - a) Excavación de la contrabóveda (FASE III)
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la contrabóveda.
- \* Etapa IV:
  - a) Ejecución de la contrabóveda y muros de arranque del revestimiento secundario.
  - b) Ejecución de la bóveda del revestimiento secundario.

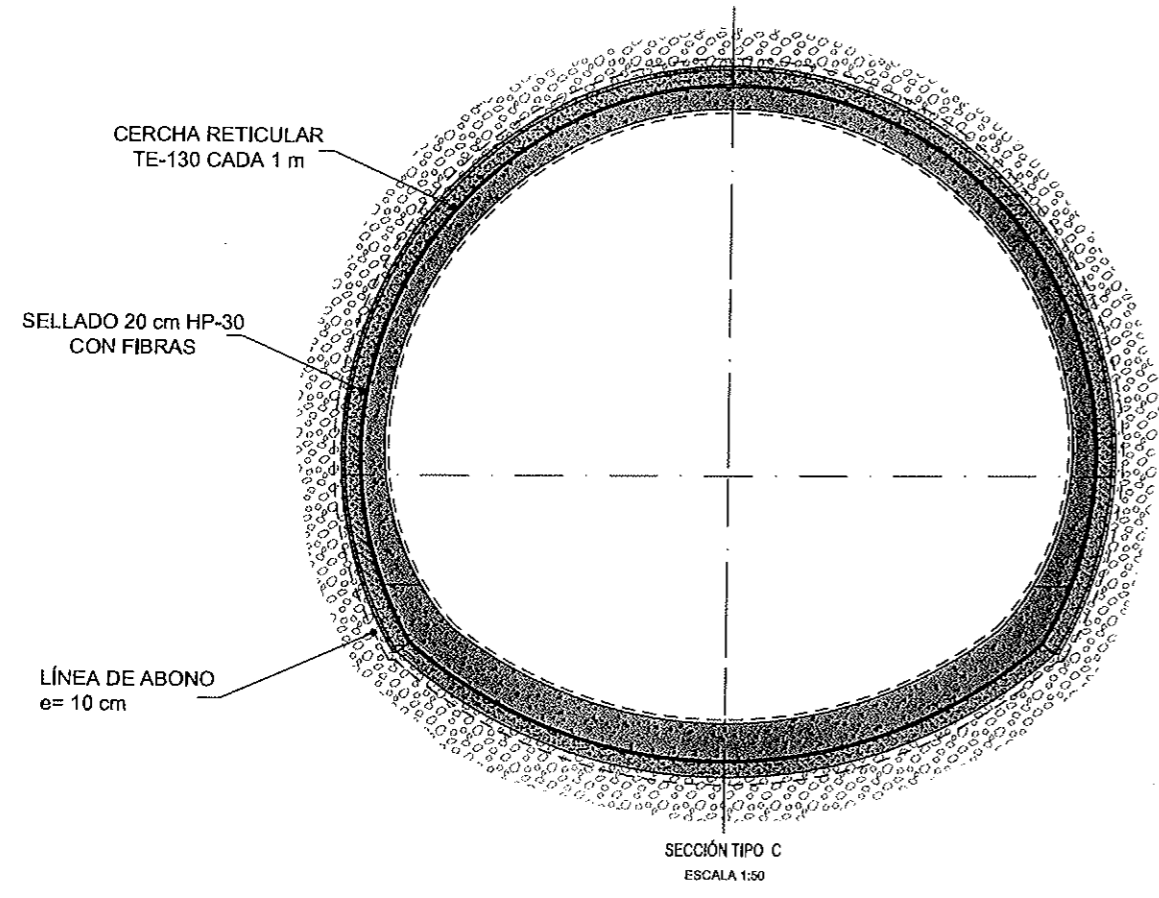
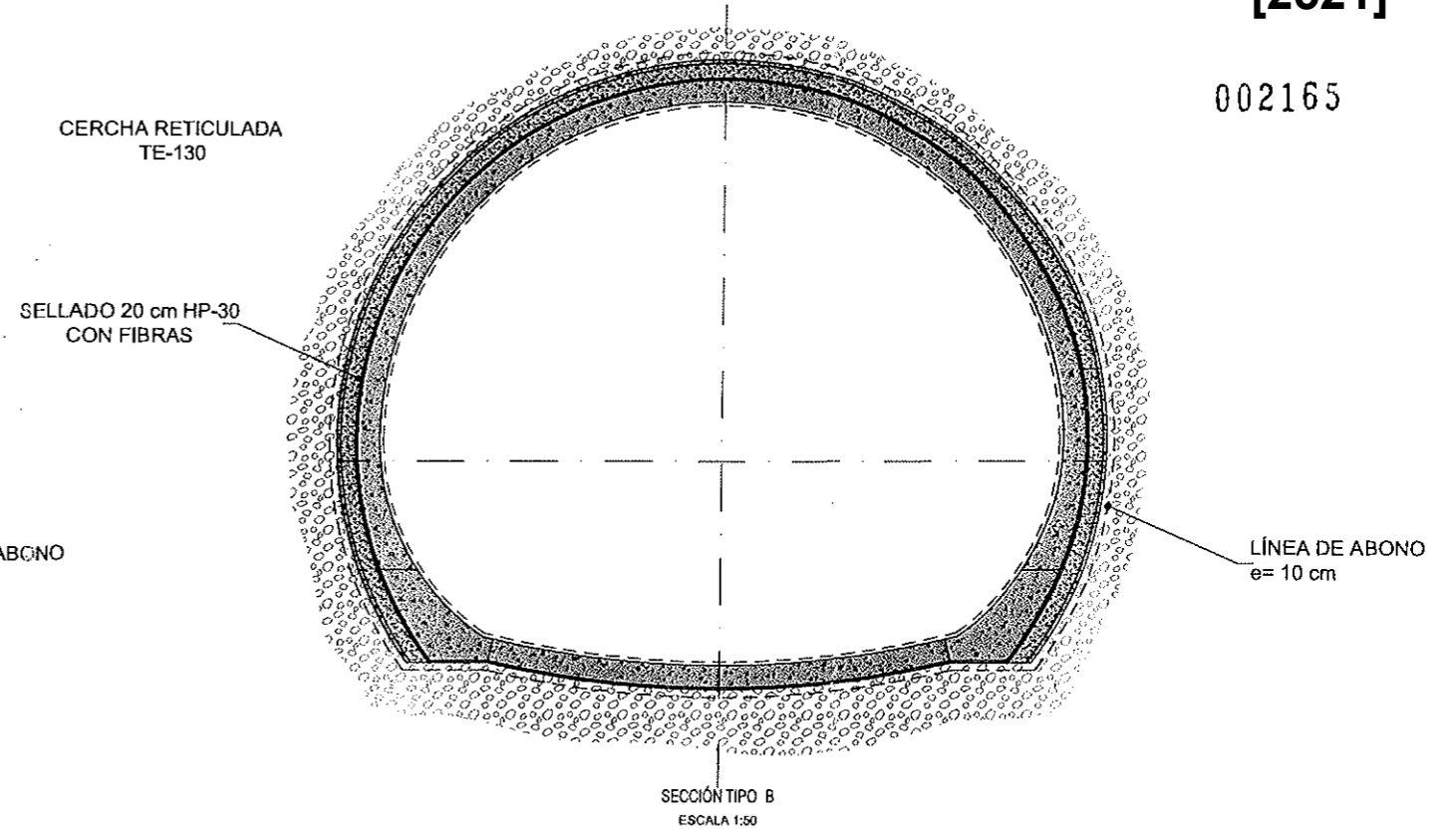
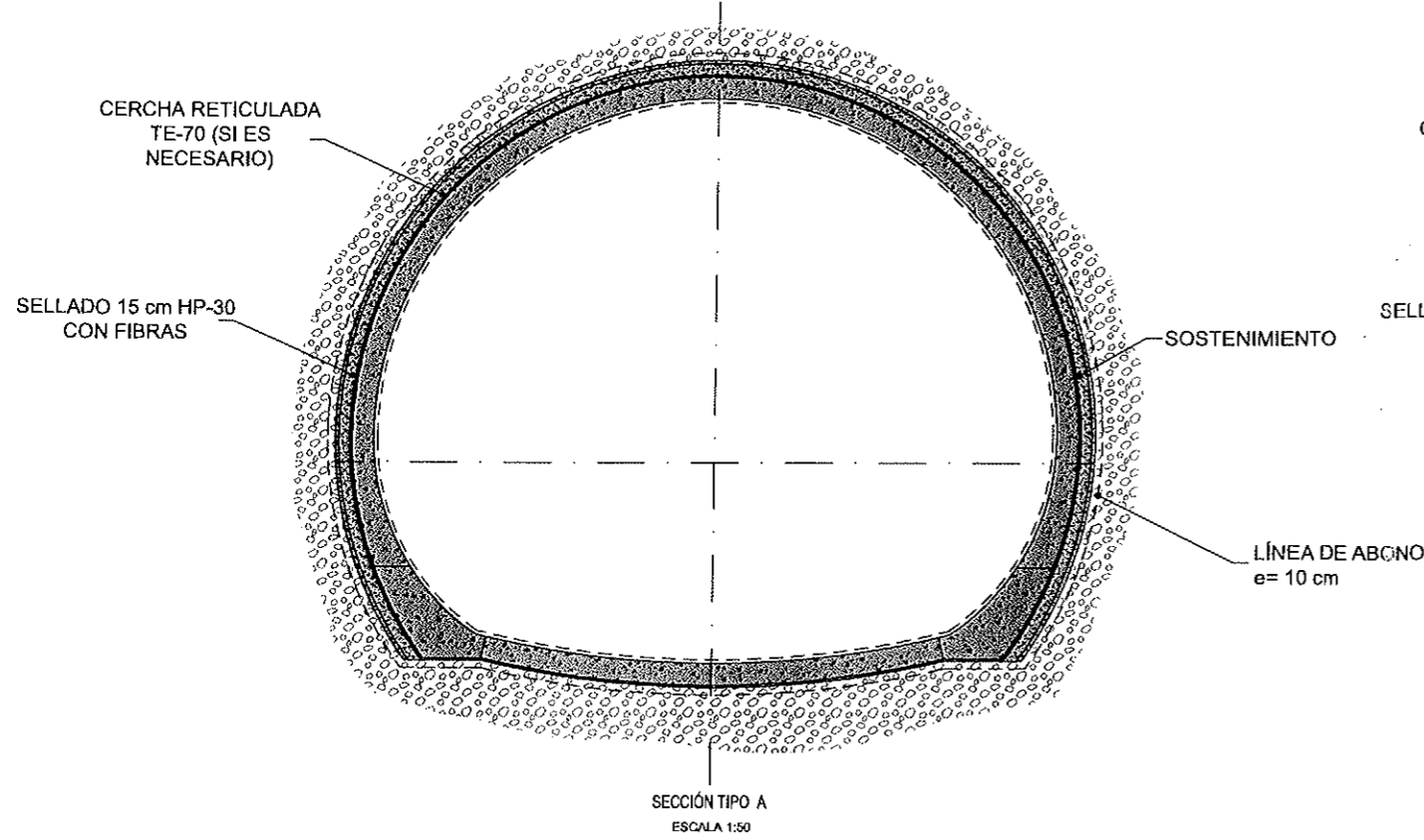


Distancias entre los frentes de excavación:

- D1 ≥ 15 m.
- D2 ≥ 10 m.
- D3 = 5 m.
- D4 ≥ 10 m.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





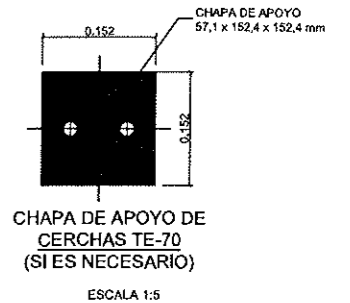
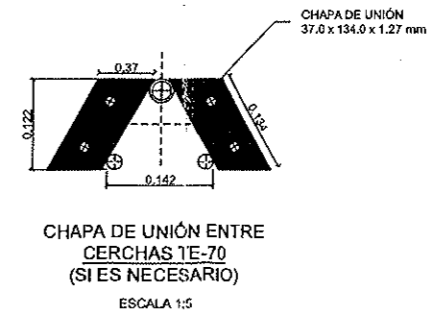
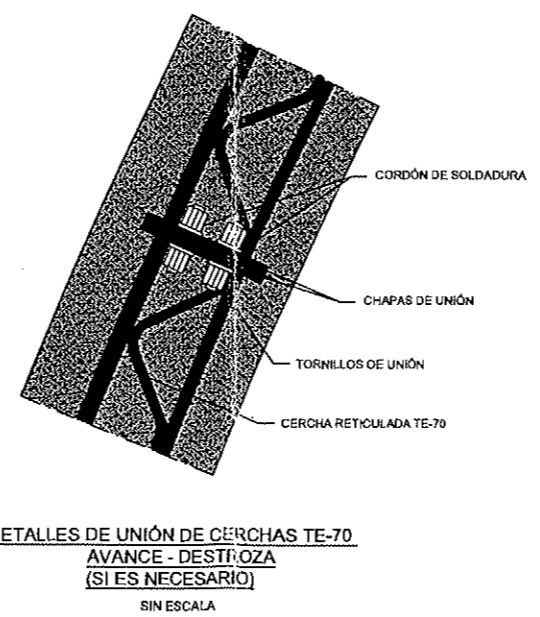
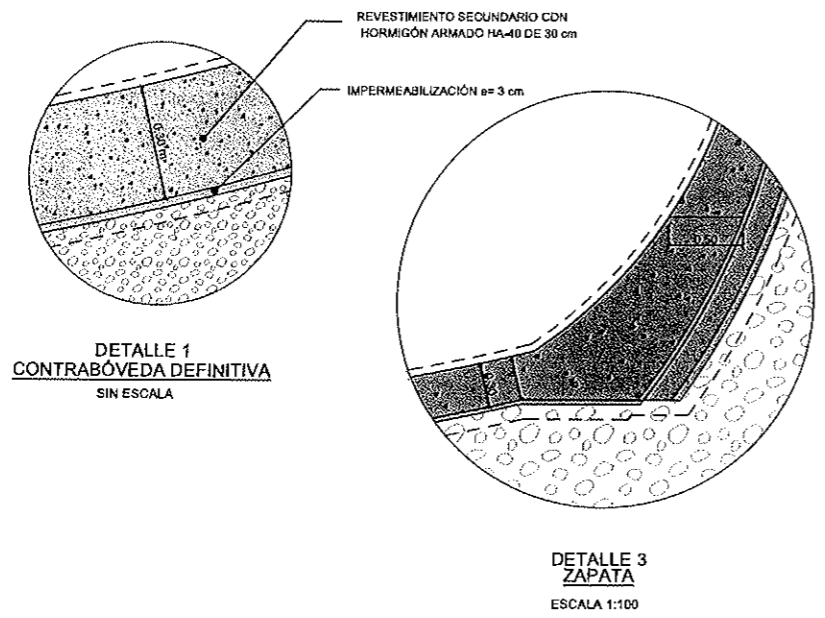
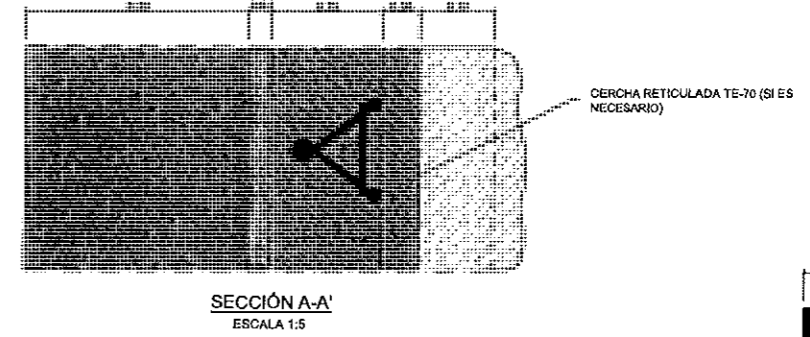
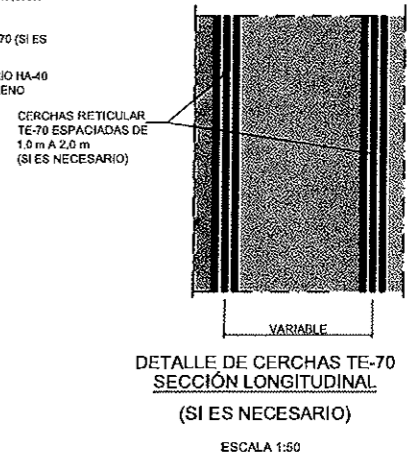
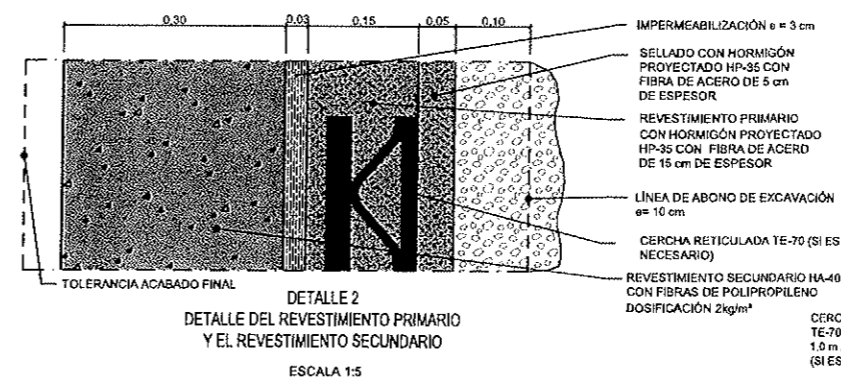
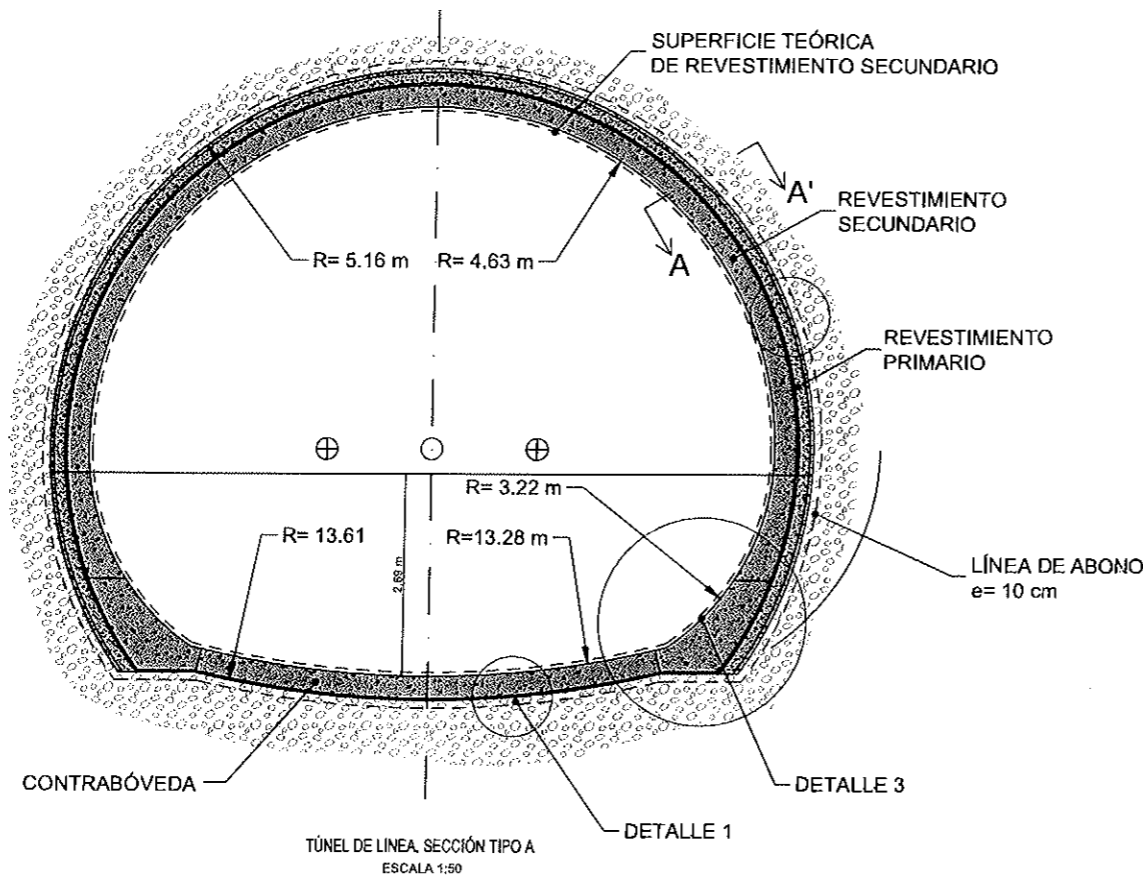
APLICACIÓN SECCIÓN TIPO	
SECCIÓN	CRITERIO
A	TODO EL FRENTE EN GRAVAS MUY DENSAS
B	PARTE DEL FRENTE EN GRAVAS MUY DENSAS
C	TODO EL FRENTE EN GRAVAS MEDIANAMENTE DENSAS, DE BAJA DENSIDAD RELATIVA

LÍNEA	DESCRIPCIÓN	MATERIALES		
		HP-30	HP-130	HP-70
REVESTIMIENTO PRIMARIO	REVESTIMIENTO	100	100	100
	PROTECCIÓN	5	5	5
	SELLADO CON FIBRAS	1.00	0.50	1.00
	SELLADO 15 cm HP-30	10	10	10
	SELLADO 20 cm HP-30	10	10	10
	SELLADO 10 cm HP-30	10	10	10
CERCHAS	TE-70	100	100	100
	TE-130	100	100	100
	TE-130	100	100	100
FORMACIÓN BOMBEADA	TE-70	100	100	100
	TE-130	100	100	100
	TE-130	100	100	100
REVESTIMIENTO SECUNDARIO	REJILLA	CM-100	100	100
		CM-150	100	100
	BOLEA Y SUPERFACIA	CM-100	100	100
		CM-150	100	100
	BARRA	CM-100	100	100
		CM-150	100	100

\* LA DOSIFICACIÓN INDICADA DE FIBRAS PODRÁ DISMINUIRSE SIEMPRE Y CUANDO SE COMPRUEBE QUE LA ENERGÍA ABSORBIDA EN EL ENSAYO SOBRE PLACA SUPERA LOS 750 J.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

### SECCIÓN TIPO A

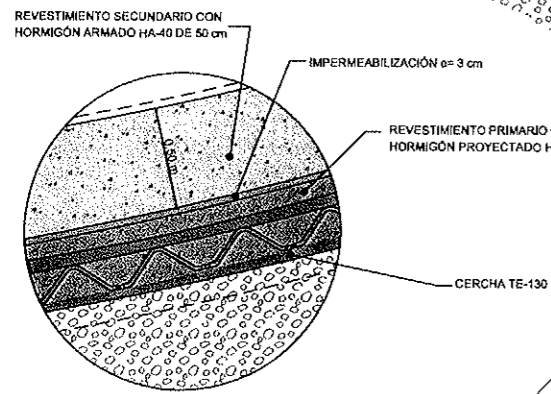
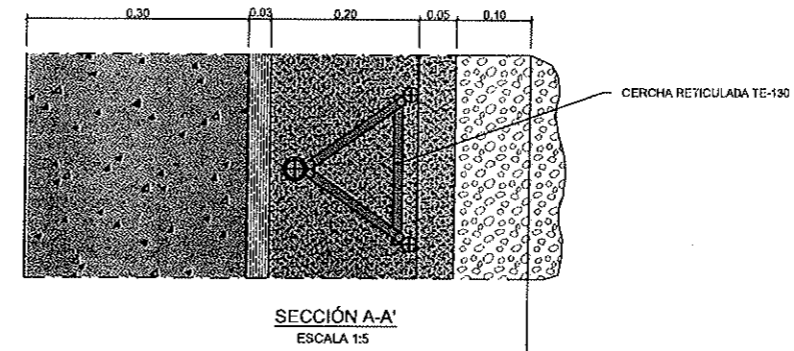
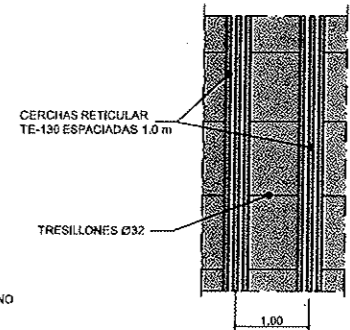
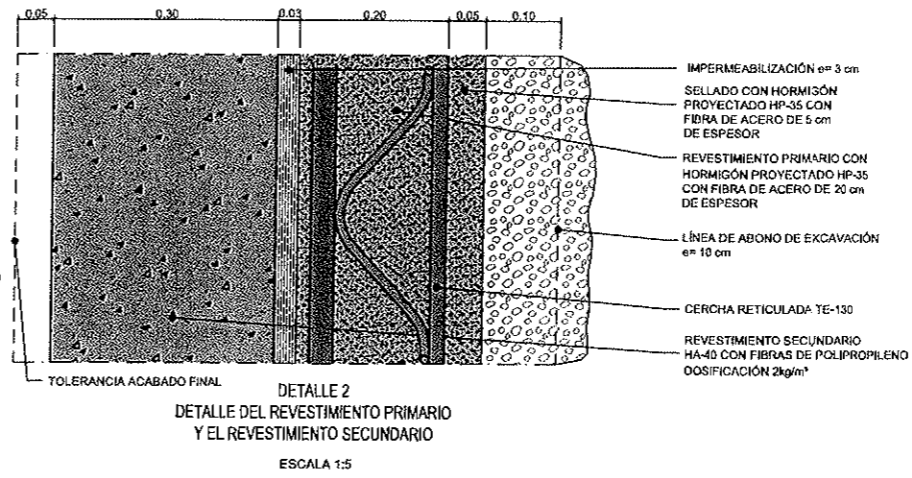
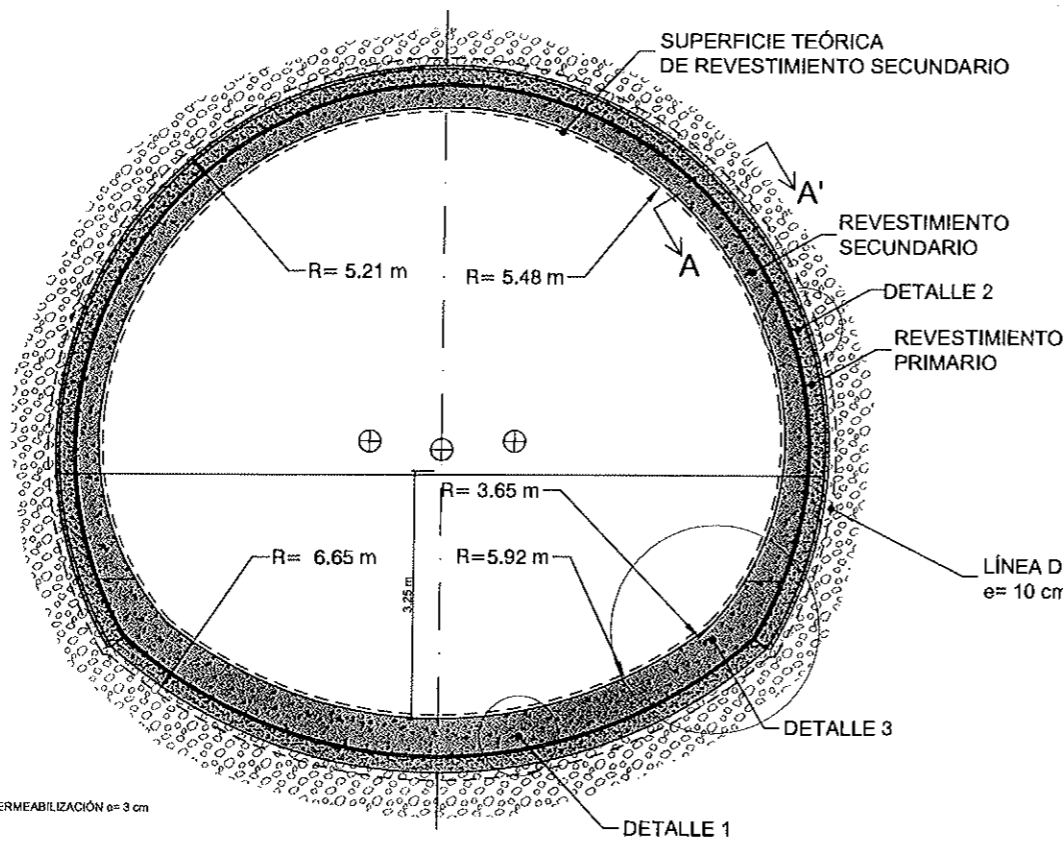


CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

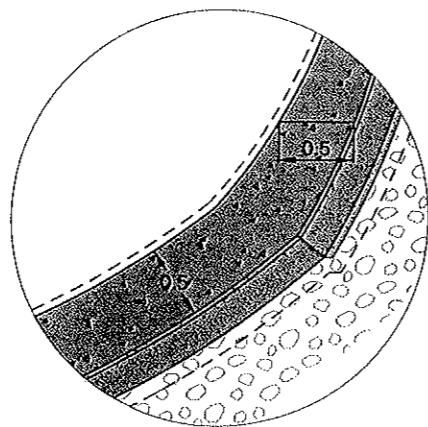
X:\mastrabajos\definición\202057 metro de línea\túnel de línea\formativos\membres\_metro\lma\_12122013 - 12.04



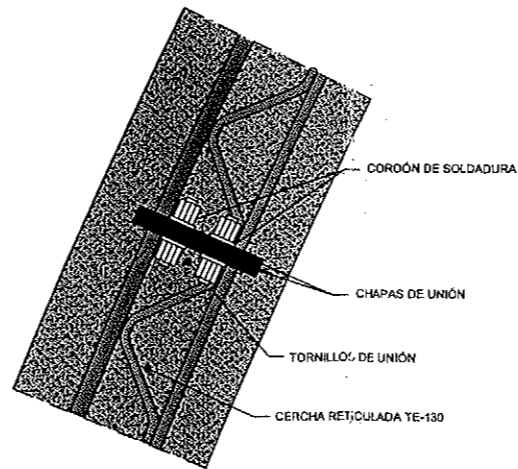
SECCIÓN TIPO C



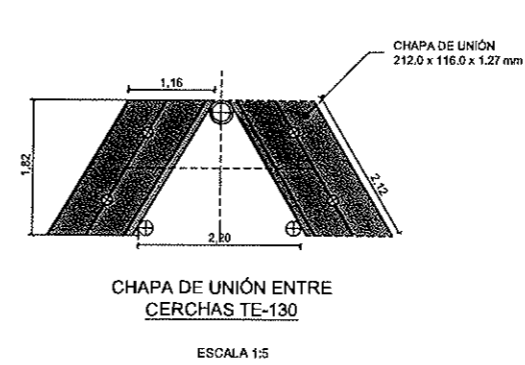
TÚNEL DE LÍNEA SECCIÓN TIPO C ESCALA 1:50



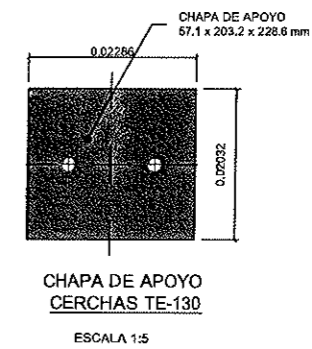
DETAILLE 3 ZAPATA ESCALA 1:100



DETALLES DE UNIÓN DE CERCHAS TE-130 AVANCE - DESTROZA SIN ESCALA

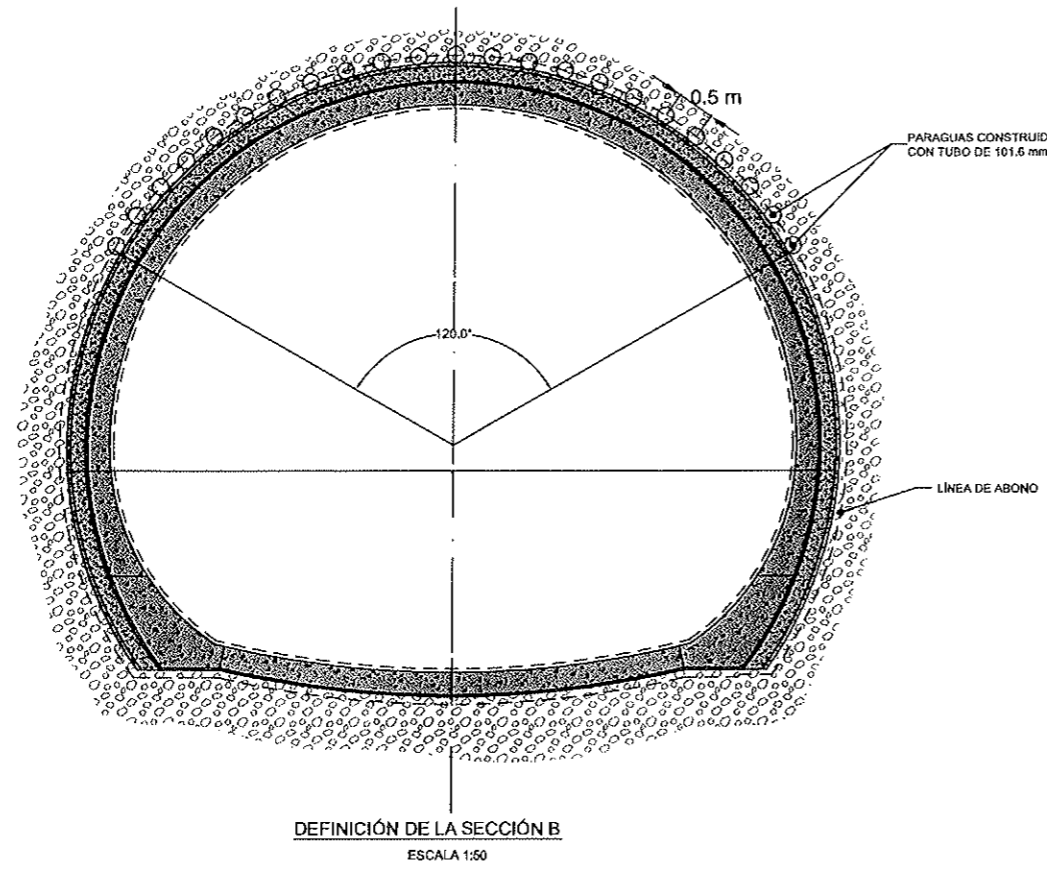


CHAPA DE UNIÓN ENTRE CERCHAS TE-130 ESCALA 1:5

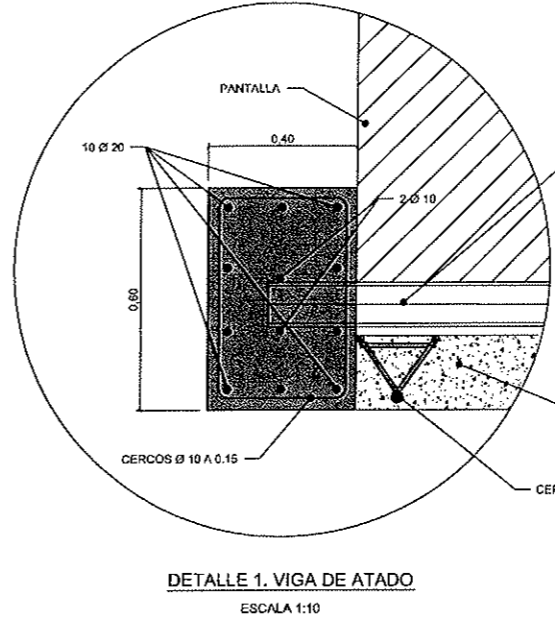


CHAPA DE APOYO CERCHAS TE-130 ESCALA 1:5

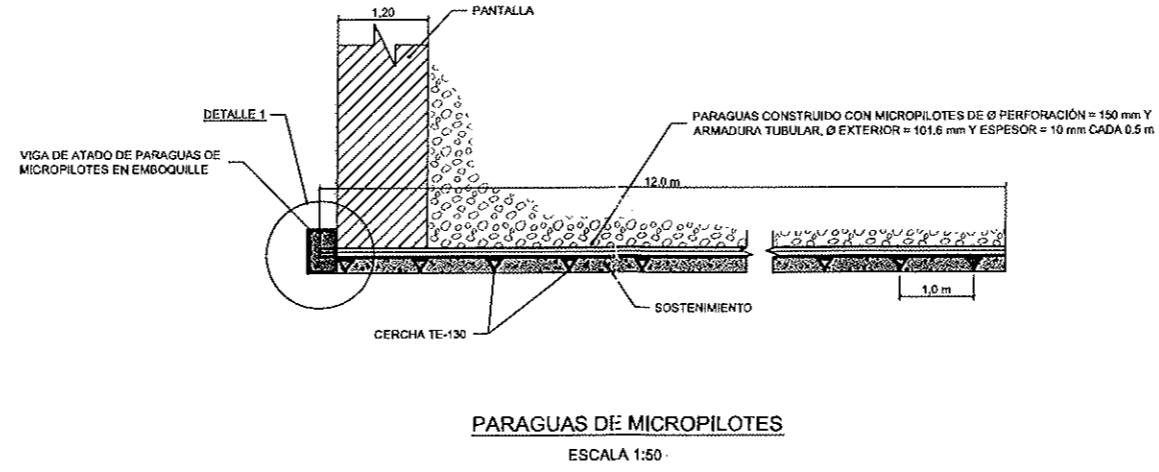
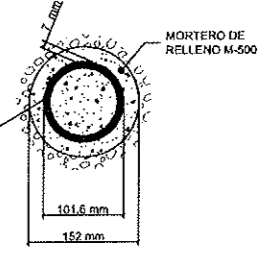
x:\trabajo\trabajos de ingeniería\2020\7 metro de lima\túnel de línea\1201-ploc-tun-esr-ln-p001-p011.dwg - 10/02/2014 - 09:51



PARAGUAS CONSTRUÍDO CON MICROPILOTES DE Ø PERFORACIÓN = 150 mm  
CON TUBO DE 101.6 mm, e = 10 mm Y 20 m DE LONGITUD, ESPACIADOS 0.50 m.

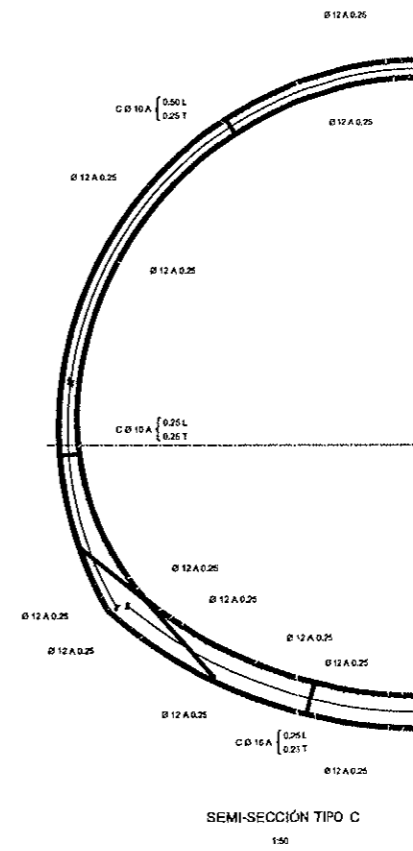
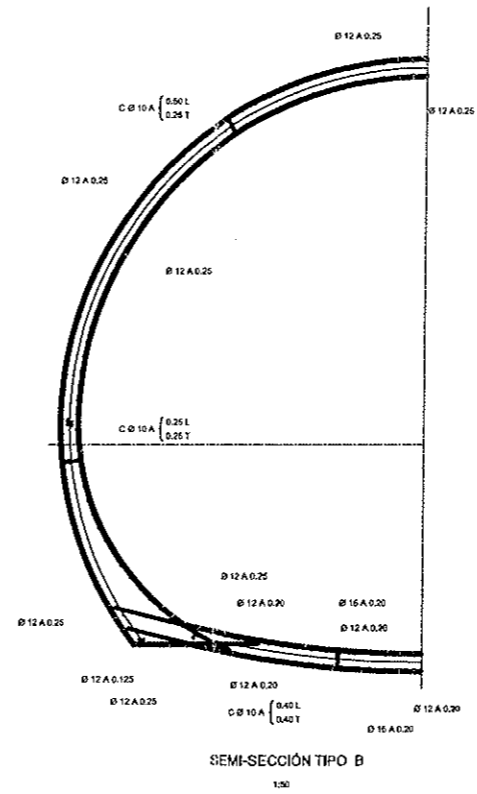
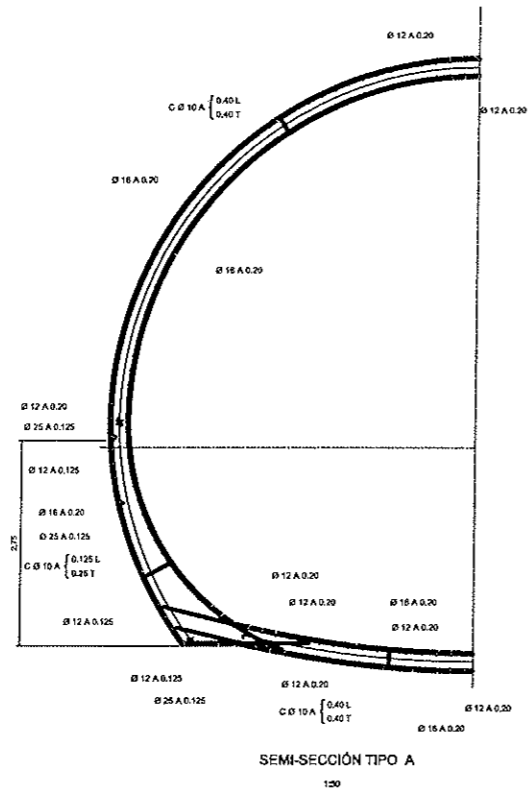


TUBO DE ACERO N80 DE  
Ø101.6 mm x 7 mm



x:\mauro\trabajos de Inversión\2020617 metro de lima\informe\energia 7-2-2014\informe de linea\1201-ploc-tun-esr-ln-p001-p011.dwg - 10/02/2014 - 09:52

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



x:\mauro\trabajos de linea\2020\257 metro de lima\trabajo de linea\1201-ploc-bun-esc-ln-p006-p011.dwg - 10/02/2014 - 09:52



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A1):  
VARIAS  
FECHA:  
FEBRERO 2014

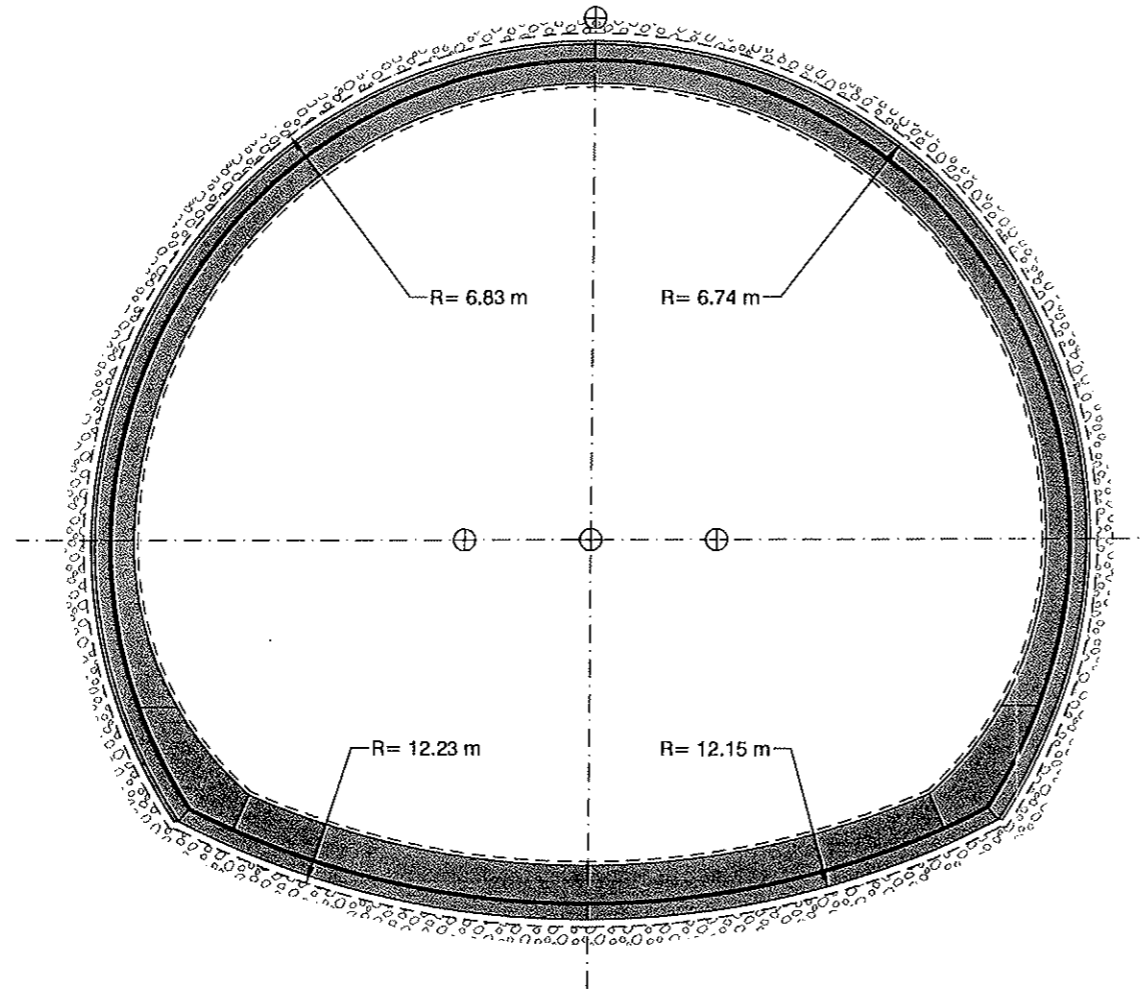


MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES  
TÚNEL DE LÍNEA  
ARMADO

PLANO N°	1201-PLOC-TUN-ESR-LN-P006	HOJA:	1 de 1	REVISIÓN:	1
----------	---------------------------	-------	--------	-----------	---



ETAPA IV



CRUCE L4 BAJO L2

ESCALA 1:50

CRUCE L4 BAJO L2

\* Etapa IV:

- a) Ejecución de la contrabóveda y muros de arranque del revestimiento secundario.
- b) Ejecución de la bóveda del revestimiento secundario.

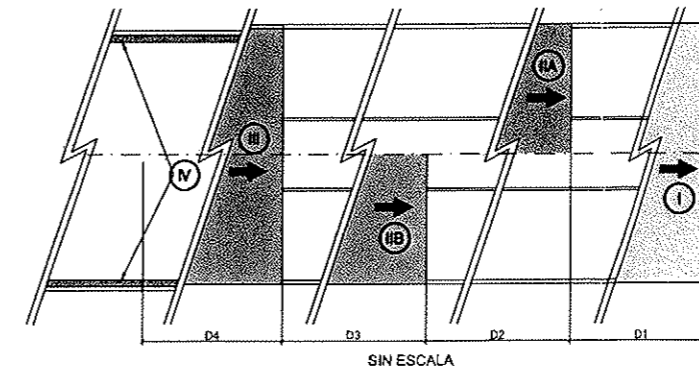
NOTAS:

- La longitud máxima de avance en cada FASE de excavación será de 1 m.

Distancias entre los frentes de excavación:

- D1 ≥ 15 m.
- D2 ≥ 10 m.
- D3 ≥ 10 m.
- D4 ≥ 15 m.

ESQUEMA PLANIMETRICO



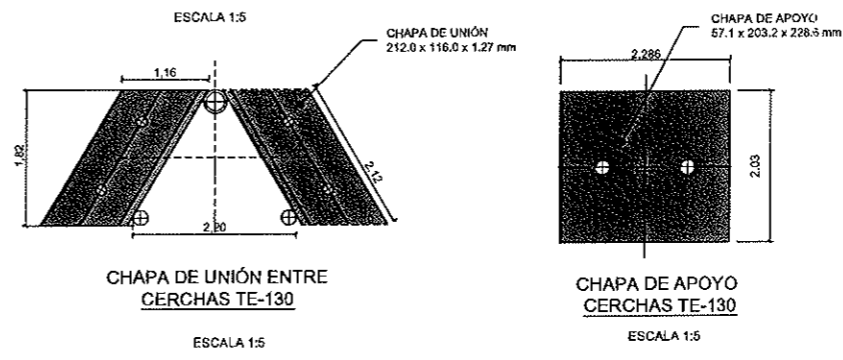
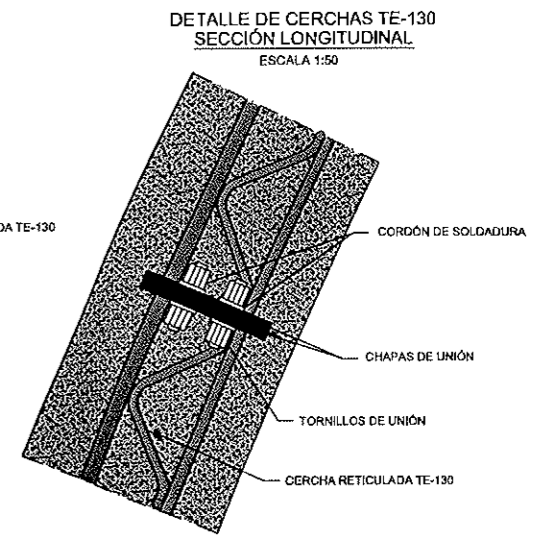
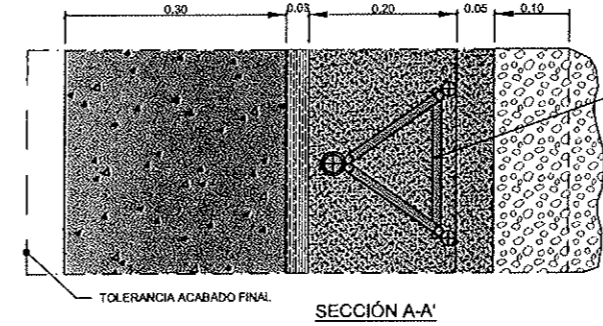
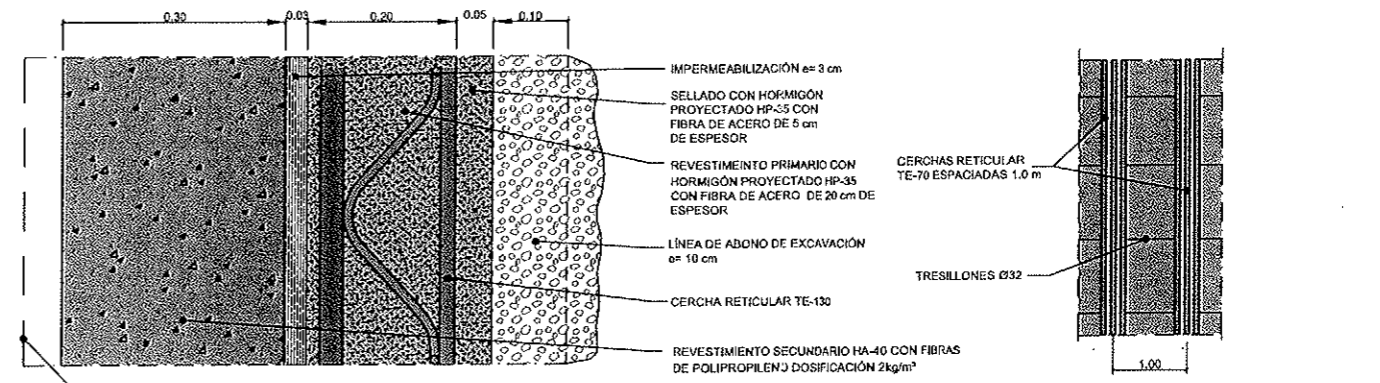
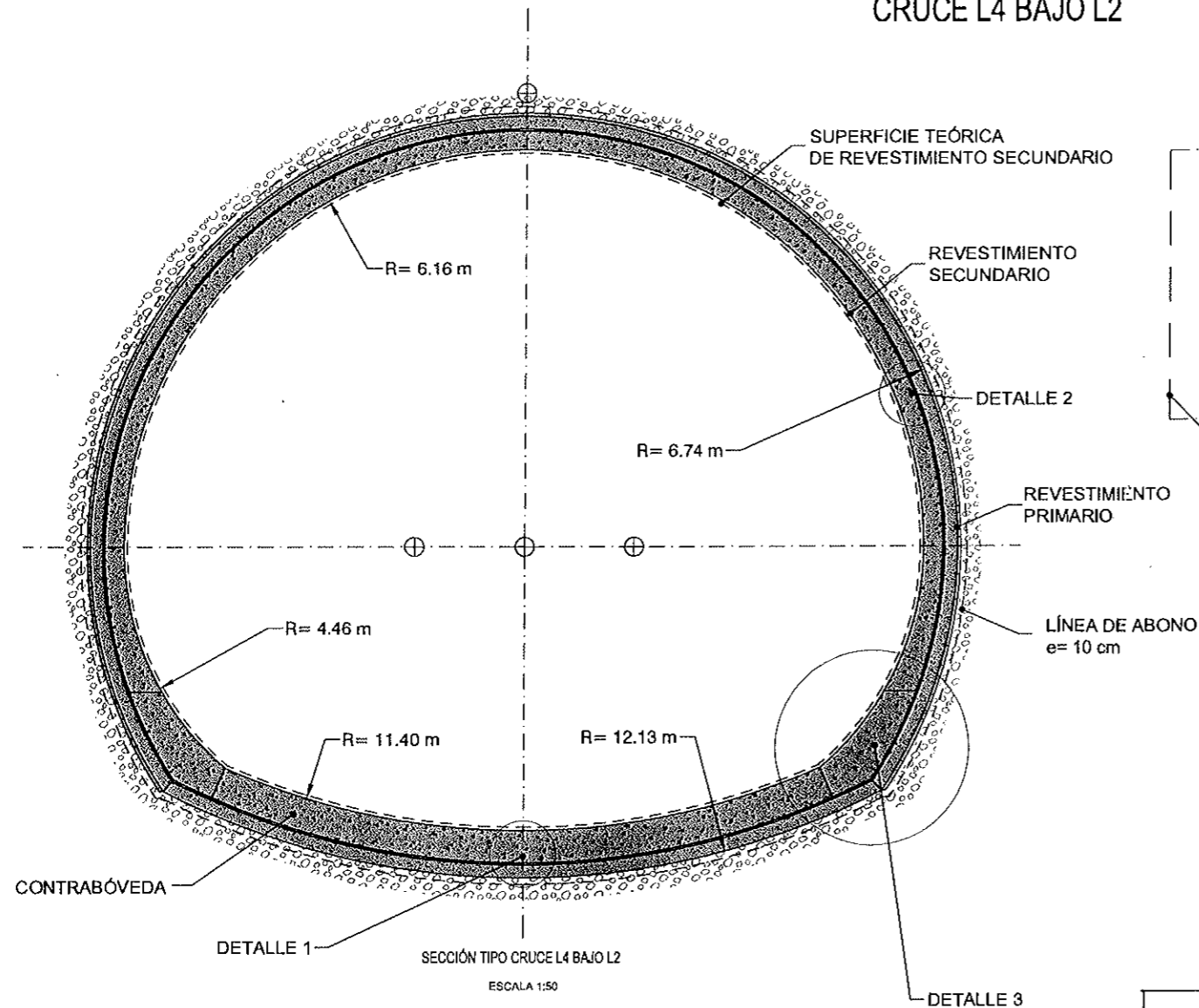
SIN ESCALA

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

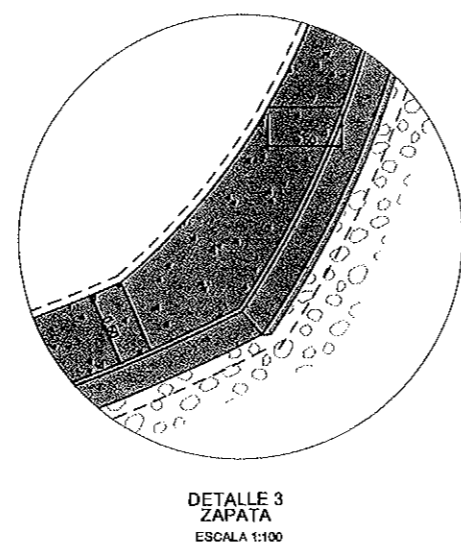
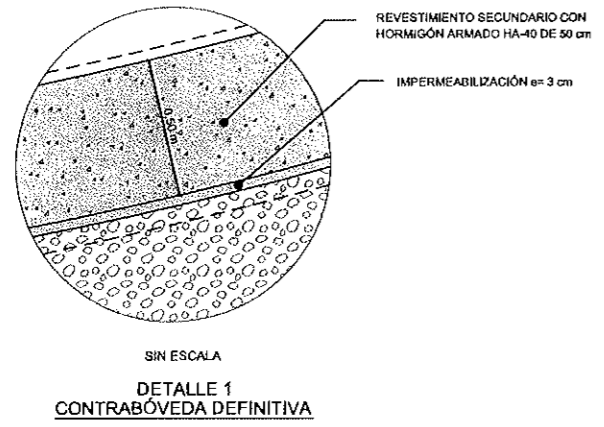
x:\metro\trabajos\delimitación\2007\_metro de lima\tunel\etapa IV\p011.dwg - 10/02/2014 - 09:53



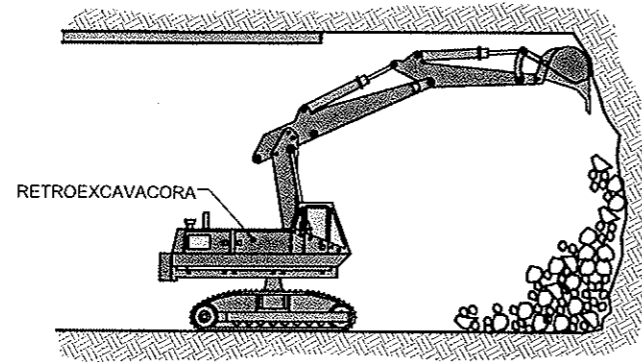
### CRUCE L4 BAJO L2



DETALLES DE UNIÓN DE CERCHAS TE-130 AVANCE - DESTROZA SIN ESCALA



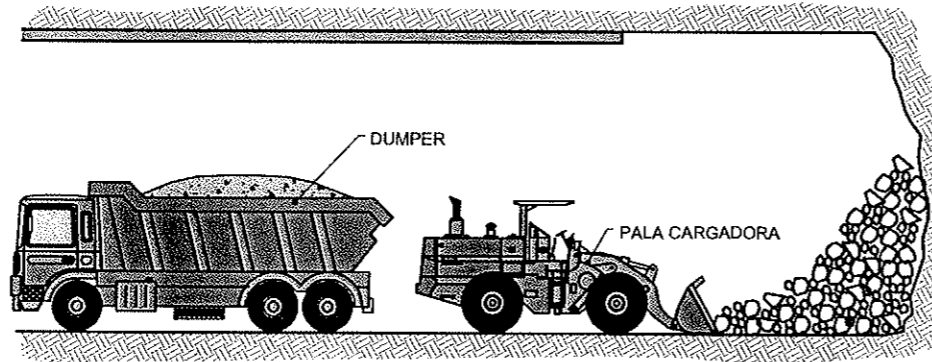
x:\trabajo\trabajos de la red\1201-ploc-tun-esr-ln-p001-p011.dwg - 10/02/2014 - 08:53



FASE 1: EXCAVACIÓN DEL AVANCE CON MEDIOS MECÁNICOS.

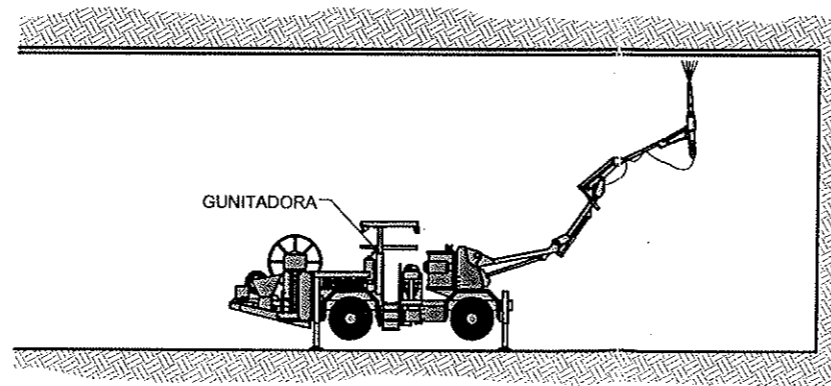
FASES DE EXCAVACIÓN DEL TÚNEL.

NOTA: EL DESFASE ENTRE LAS FASES DE AVANCE Y DESTROZA SERÁ, AL MENOS, DE 30 m.



FASE 2: DESESCOMBRO

EXCAVACIÓN CON MEDIOS MECÁNICOS



FASE 4: SOSTENIMIENTO. PREVIAMENTE AL SOSTENIMIENTO SE REALIZA EL REPERFILADO DE LA SECCIÓN MEDIANTE MARTILLOS MECÁNICOS Y SE PROYECTA UNA CAPA DE HORMIGÓN PROYECTADO DE 5 cm DE ESPESOR (SELLADO). A CONTINUACIÓN SE COLOCAN, LAS CERCHAS Y EL HORMIGÓN PROYECTADO HASTA COMPLETAR EL ESPESOR TEÓRICO.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

X:\trabajo\imagenes\delineación\202057 metro de lima\tunel de lima\1201-ploc-tun-est-n-p001-p011.dwg - 10/02/2014 - 09:53



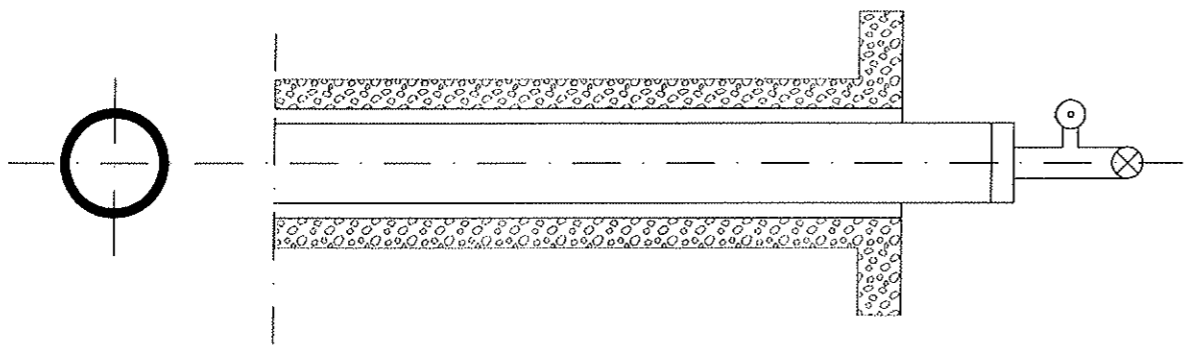
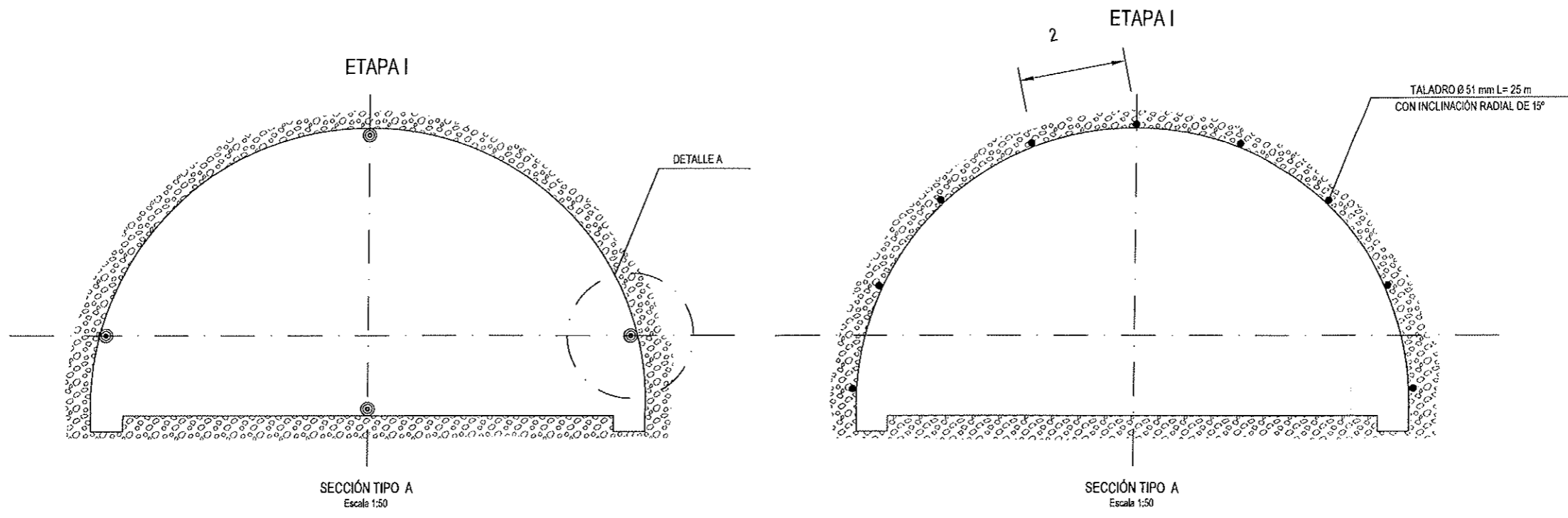
CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

ESCALA (A1): S/E  
FECHA: FEBRERO 2014

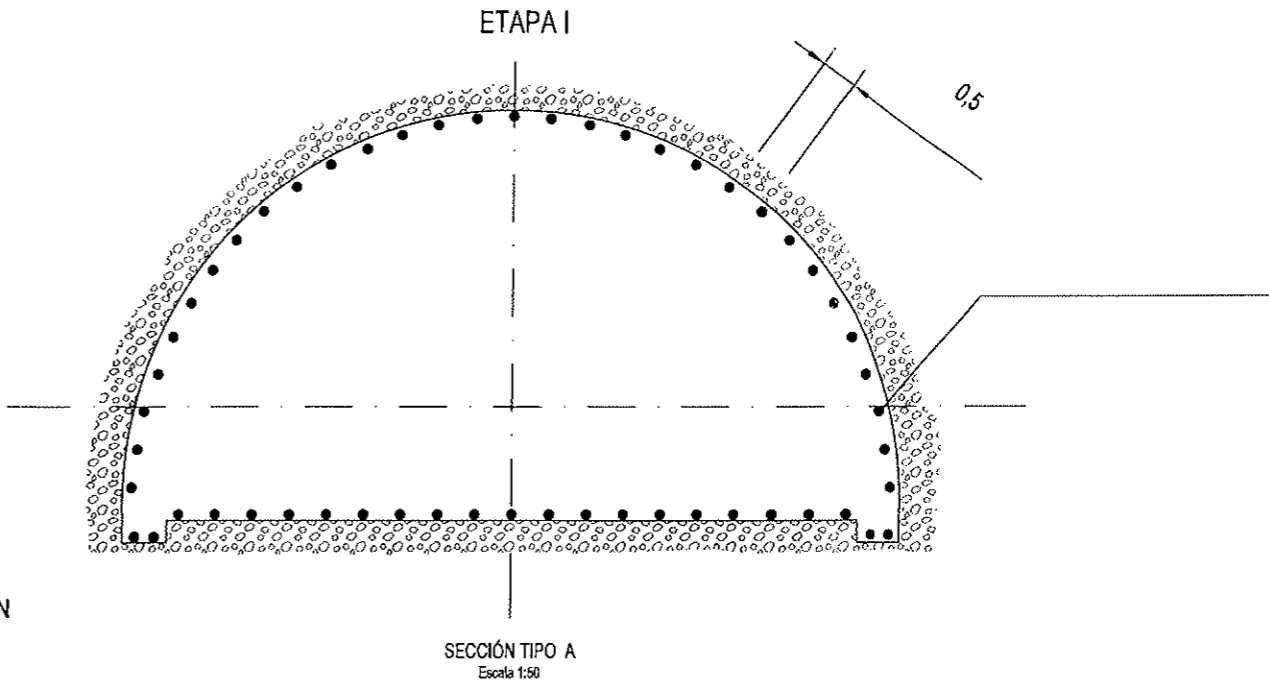


MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN. TÚNELES  
TÚNEL DE LÍNEA  
SIMULACIÓN PROCESO CONSTRUCTIVO NATM

PLANO N°	1201-PLOC-TUN-ESR-LN-P009	HOJA:	1 de 1	REVISIÓN:	1
----------	---------------------------	-------	--------	-----------	---

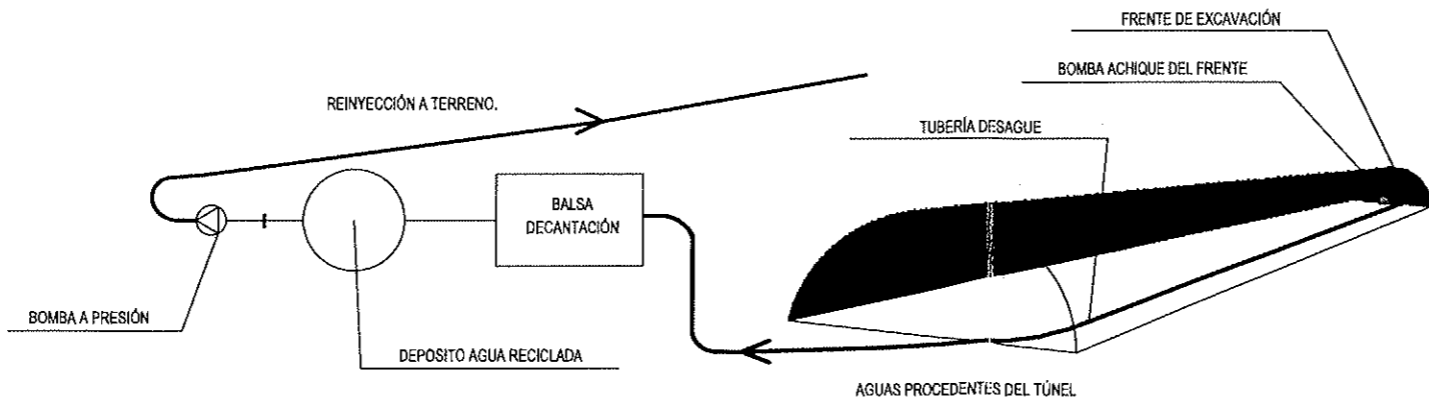


DETALLE A:  
SONDEO DE RECONOCIMIENTO.



TALADRO Ø 64 mm L= 20 m  
PARA INYECCIONES DE  
LECHADA DE MICROCEMENTO  
INCLINACIÓN RADIAL DE 10°

INYECCIONES PERIMETRALES DE IMPERMEABILIZACIÓN



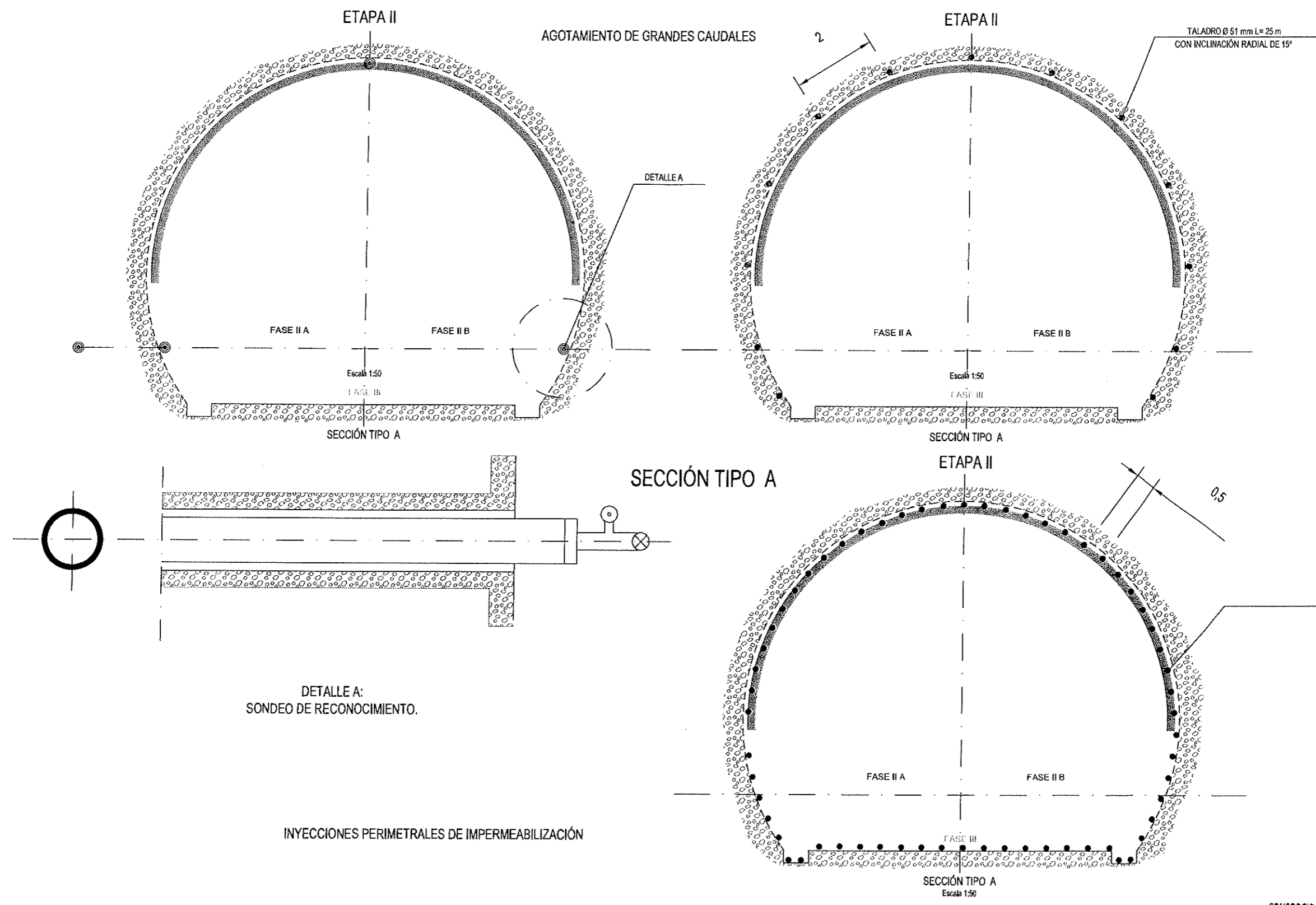
AGOTAMIENTO DE GRANDES CAUDALES

CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE LA BOMBA	
TIPO DE BOMBA	ACHIQUE DE LODOS
POTENCIA	18 Kw
CAUDAL MÁX.	12 M3/S.

NOTA:  
-SE INSTALARÁ UN SISTEMA DE RECICLAJE DE AGUA INFILTRADA EN CADA TAJO DE EXCAVACIÓN DE TÚNEL.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

X:\mauro\trabajos\del\Iniciación\202057\_memo de línea\túnel\armega 1-2-2014\túnel de línea\1201-ploc-tun-esr-ln-p011.dwg - 10/02/2014 - 09:53

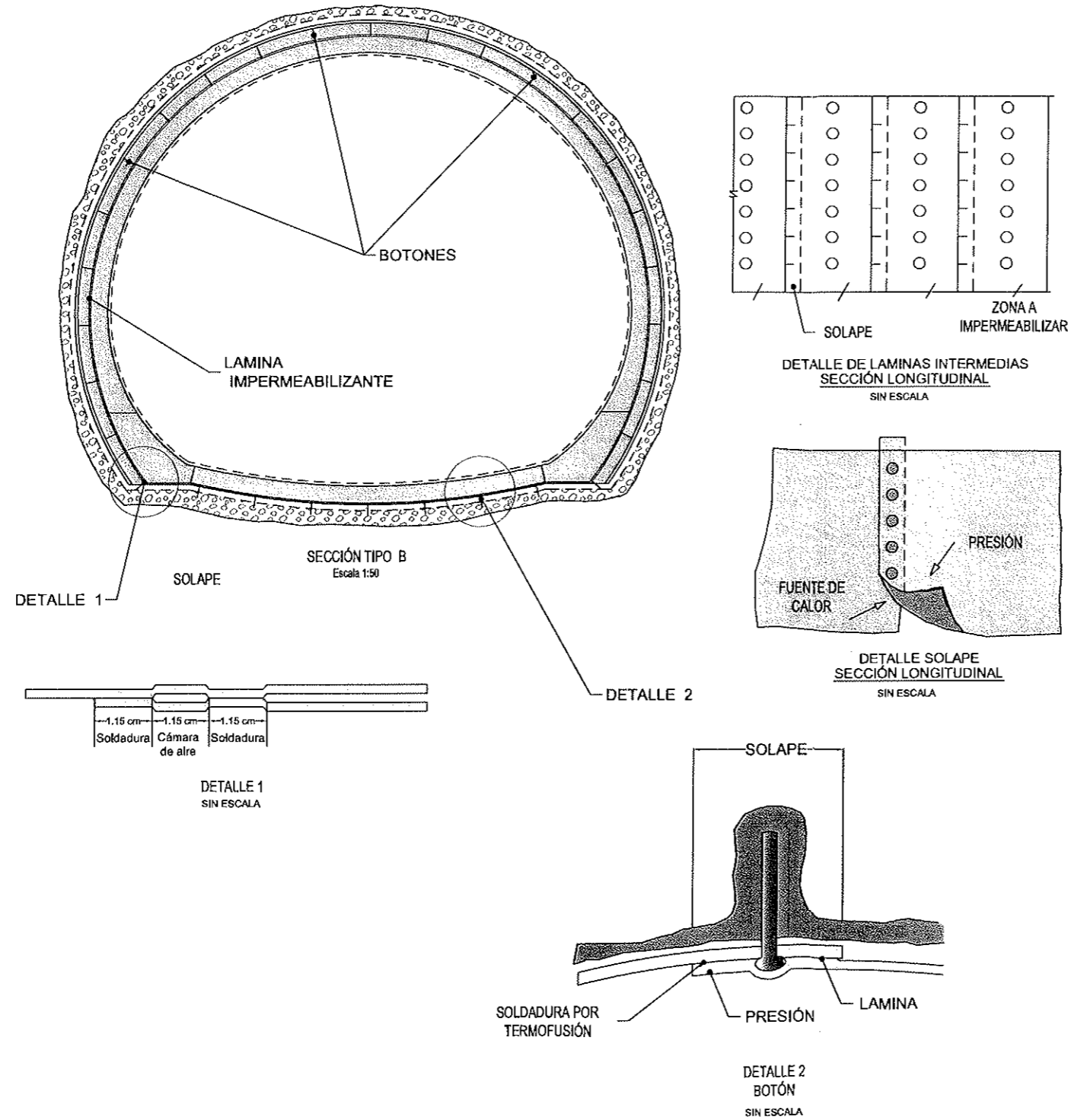


TALADRO Ø 64 mm L= 20  
PARA INYECCIONES DE  
LECHADA DE MICROCEMENTO  
CON INCLINACIÓN RADIAL DE...

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

x:\mauro\trabajos de ingeniería\2020\1201-ploc-tun-esr-ln-p011.dwg - 10/02/2014 - 09:54

IMPERMEABILIZACIÓN



LOS PROCESOS QUE SE DAN PARA INSTALAR LAS MEMBRANAS IMPERMEABLES

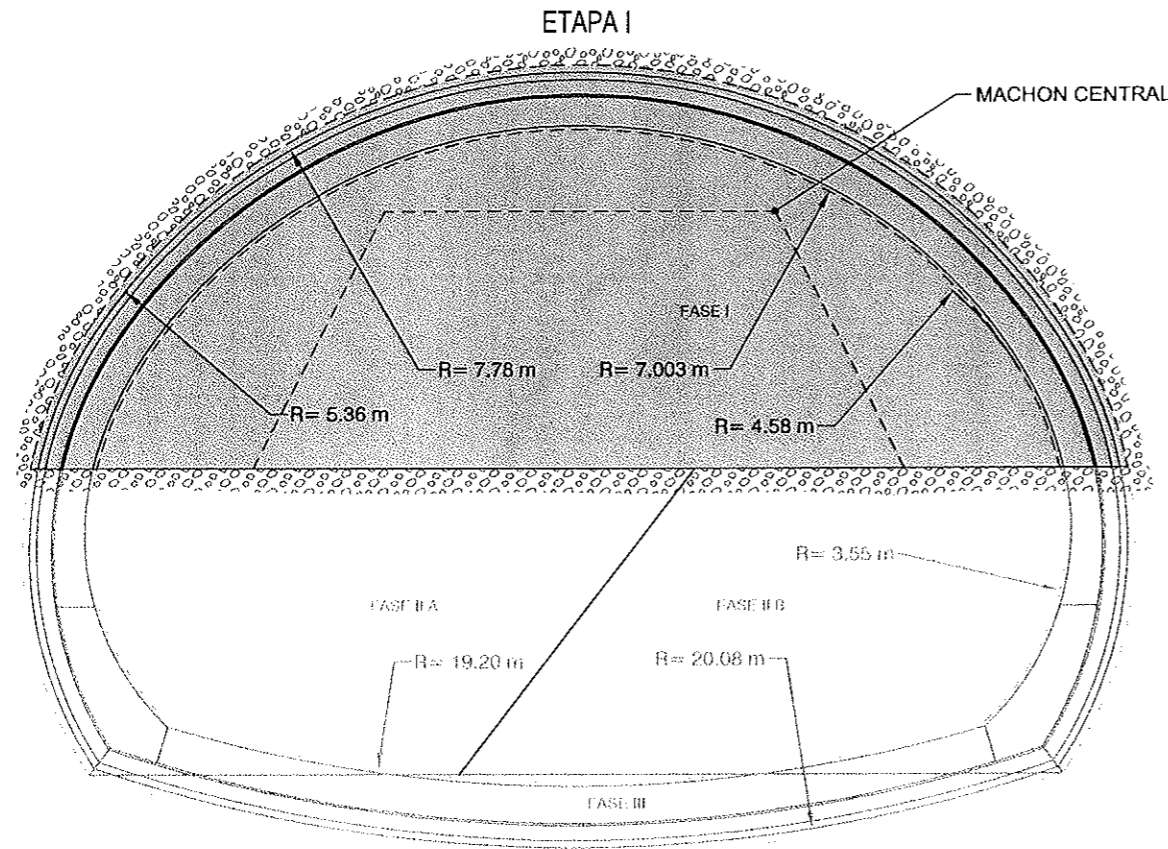
- Colocación de una capa drenante sobre el soporte excavado una vez regularizado, mediante geotextil de gramajes comprendidos entre 250 a 600 g/m<sup>2</sup>, sujetos mediante arandelas o botones especiales de PVC.
- Fijar la lámina a la bóveda mediante los botones elegidos, estos se aplicarán cada 25 a 35 cm. (densidad 6 botones/m<sup>2</sup>) y en función del soporte. Después de fijar en la bóveda todo el ancho de la lámina, se va descendiendo, adaptando la lámina a la superficie del túnel y fijándola por el borde exterior mediante los botones elegidos.
- A medida que se deja la bóveda para entrar en el hastial los tacos pueden separarse mas, hasta colocarse a 50 cm. en el hastial.
- Una vez fijada la lámina por el borde superior (clave) y el primer borde lateral, se procede a fijar el 2º borde lateral aplicando el mismo principio.

PASOS PARA INSTALAR LAS LÁMINAS SUCESIVAS

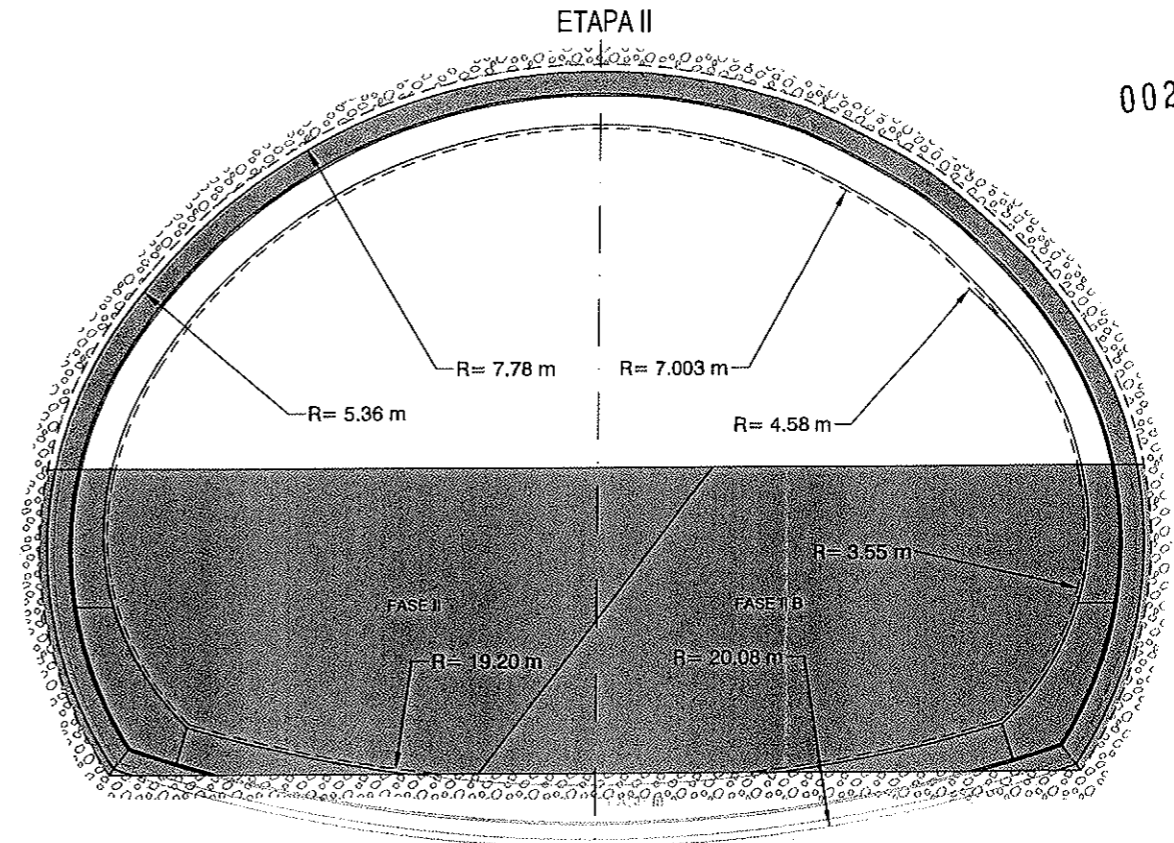
- La segunda lámina se solapará un mínimo de 12 cm. con la primera lámina, cubriendo la totalidad de las cabezas de los botones colocados en sentido vertical.
- Se empezará fijando al igual que la 1ª lámina el borde superior a la clave, desplazada unos 20 a 30 cm. y conservando el paralelismo con la lámina anterior.
- Fijando el borde superior se procederá a fijar el borde contrario a la lámina, siguiendo las mismas pautas indicadas anteriormente, asegurando que el solape a soldar posteriormente será de unos 12 cm. y cubriendo la cabeza de los tacos.
- Fijada esta lámina por los bordes superior y contrario a la lámina anterior, se procederá a efectuar la soldadura del solape con la primera lámina.
- Como las láminas son homogéneas, se utiliza la técnica de soldadura termoplástica. Se solapará siempre un mínimo de 12 cm. para asegurar que queda soldado en toda la anchura de la banda, se cubrirán las cabezas de los botones en su totalidad y se evitarán arrugas en la lámina.
- Control de cada una de las soldaduras, mediante ensayo con aire comprimido a 203 kPa de presión durante 5 minutos, permitiéndose una pérdida del 20% debido a la flexibilidad de la membrana.
- Remates de encuentro con drenajes longitudinales y emboquilles con pletinas metálicas mediante sellados flexibles.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

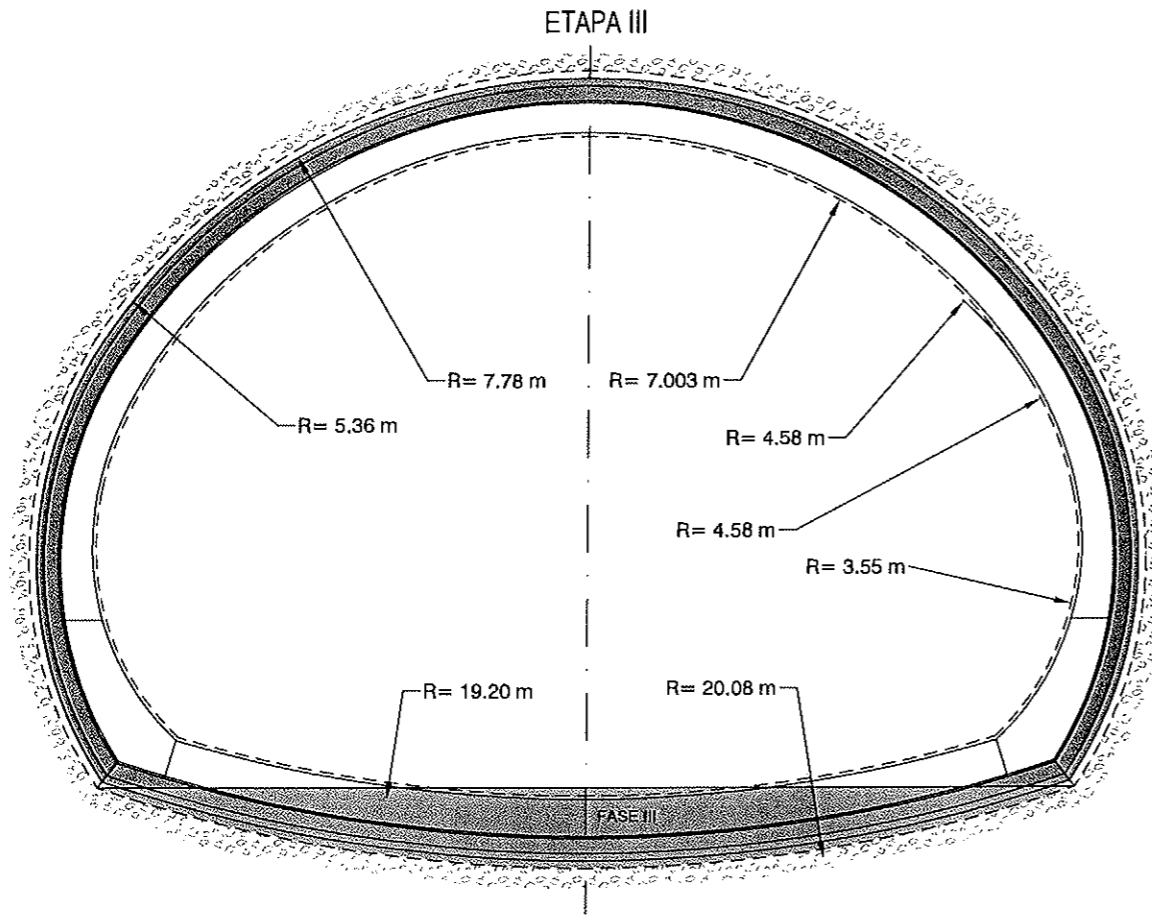
X:\mauro\trabajos\_dibujos\proyectos\metro de lima\trabajo de linea\1201-ploc-tun-esr-ln-p011.dwg - 10/02/2014 - 08:54



SECCIÓN TIPO TERCERA VÍA  
Escala 1:50



SECCIÓN TIPO TERCERA VÍA  
Escala 1:50



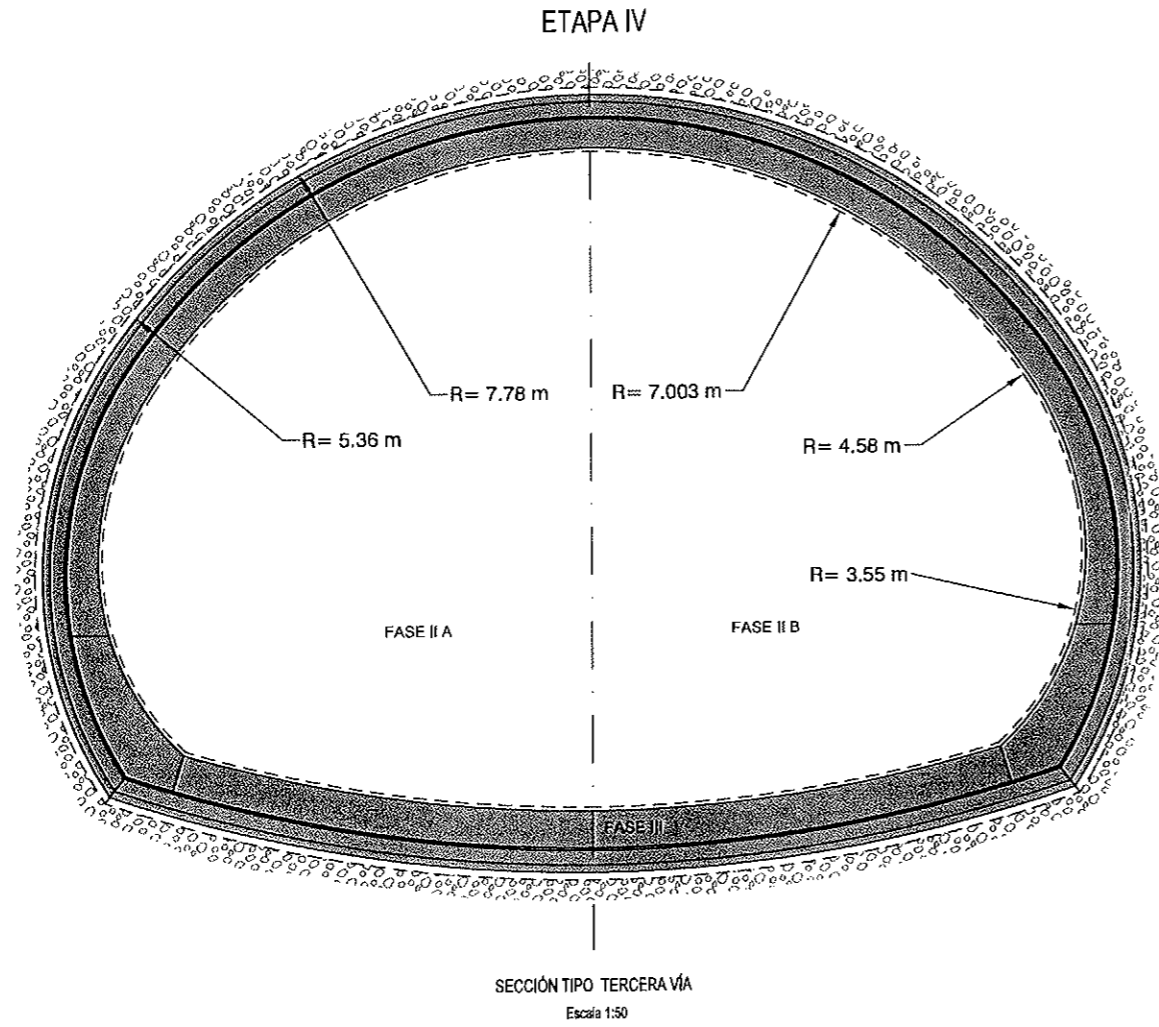
SECCIÓN TIPO TERCERA VÍA  
Escala 1:50

### SECCIÓN TIPO TERCERA VÍA

- \* Etapa I:
  - a) Excavación de la bóveda (FASE I) con machón central.
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la bóveda.
  - c) Excavación del machón central.
- \* Etapa II:
  - a) Excavación de la destroza lateral izquierda (FASE II A).
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la destroza lateral izquierda.
  - c) Excavación de la destroza lateral derecha (FASE II B).
  - d) Ejecución del revestimiento primario de la destroza lateral derecha.
- \* Etapa III:
  - a) Excavación de la contrabóveda (FASE III)
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la contrabóveda.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

x:\macrotrabajos\delin\asac\020057 metro de lima\urban\metr\1203-ploc-tun-con-ap-p001-p002.dwg - 07/02/2014 - 13:13



### TERCERA VÍA

\* Etapa IV:

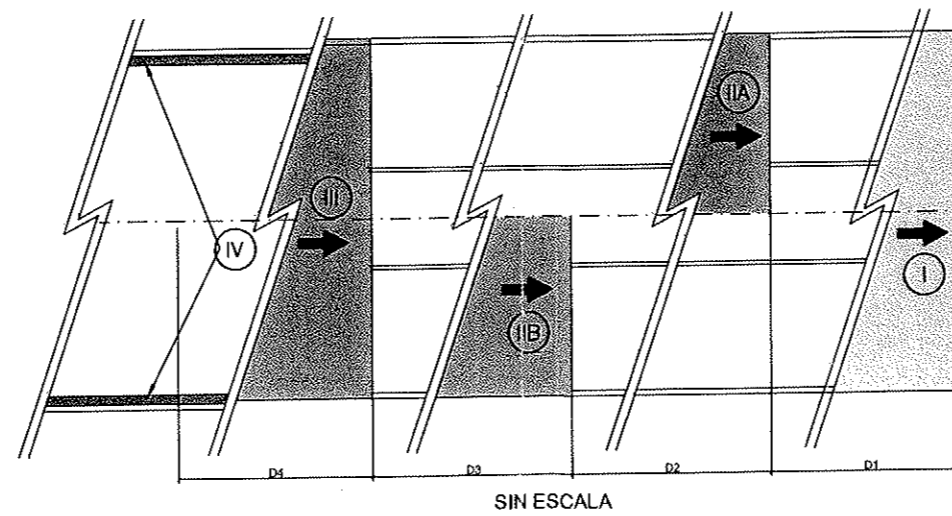
- a) Ejecución de la contrabóveda y muros de arranque del revestimiento secundario.
- b) Ejecución de la bóveda del revestimiento secundario.

NOTAS:

- La longitud máxima de avance en cada FASE de excavación será de 1 m, excepto en la FASE III que no tiene limitación en este sentido.
- La FASE I de excavación se ejecutará utilizando "machón central".

SECCIÓN TIPO TERCERA VÍA  
Escala 1:50

### ESQUEMA PLANIMÉTRICO



Distancias entre los frentes de excavación:

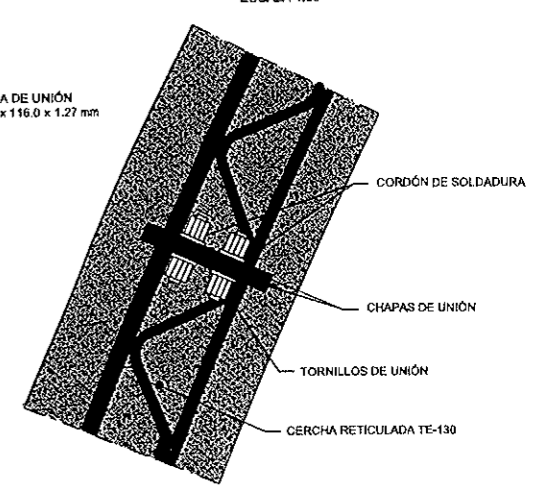
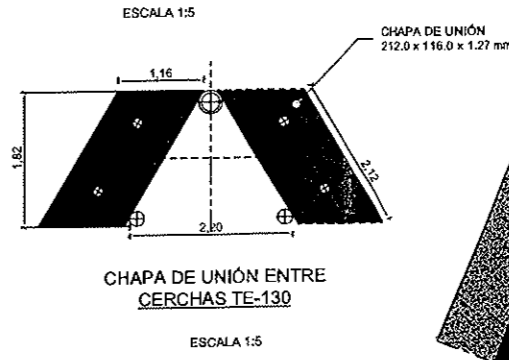
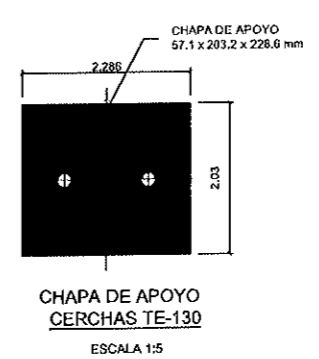
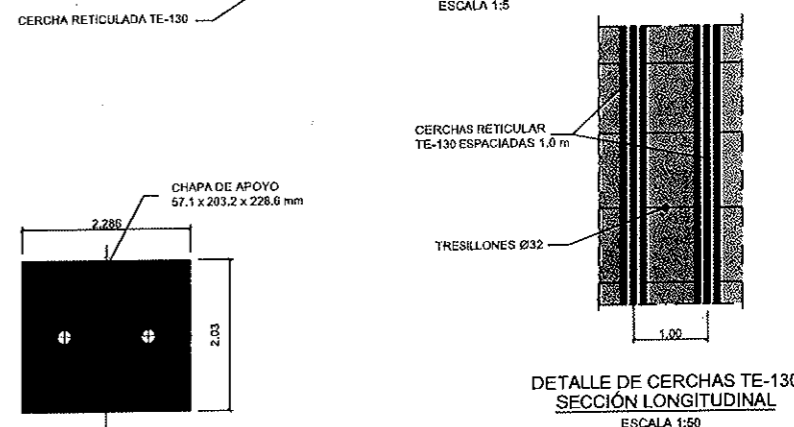
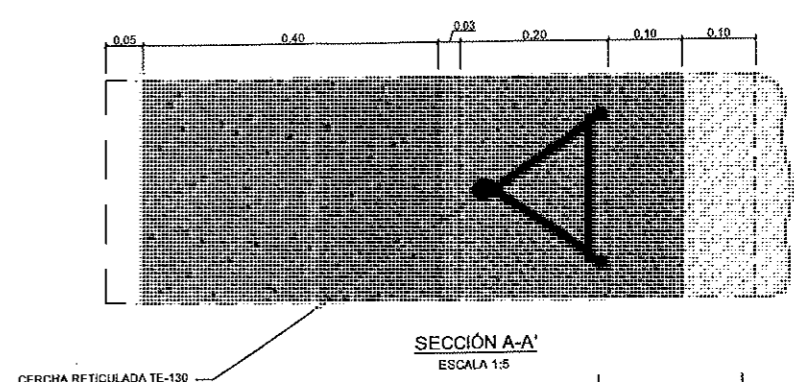
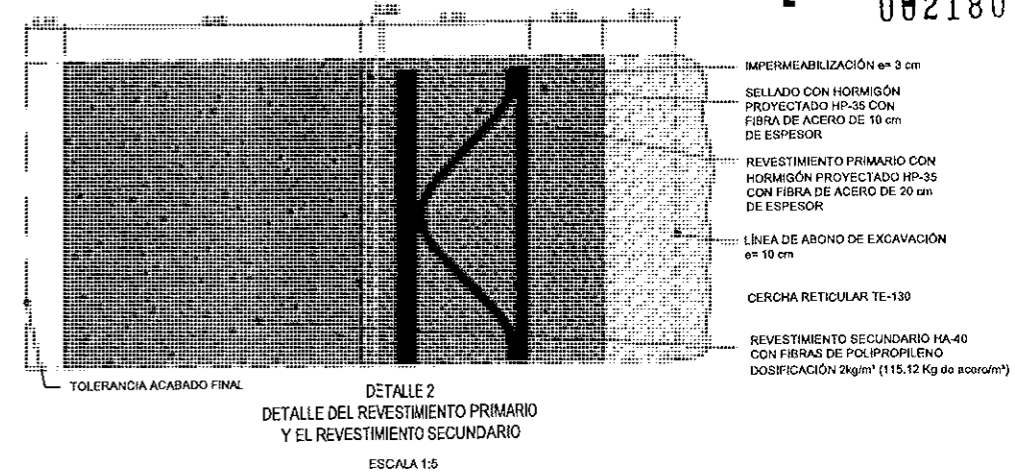
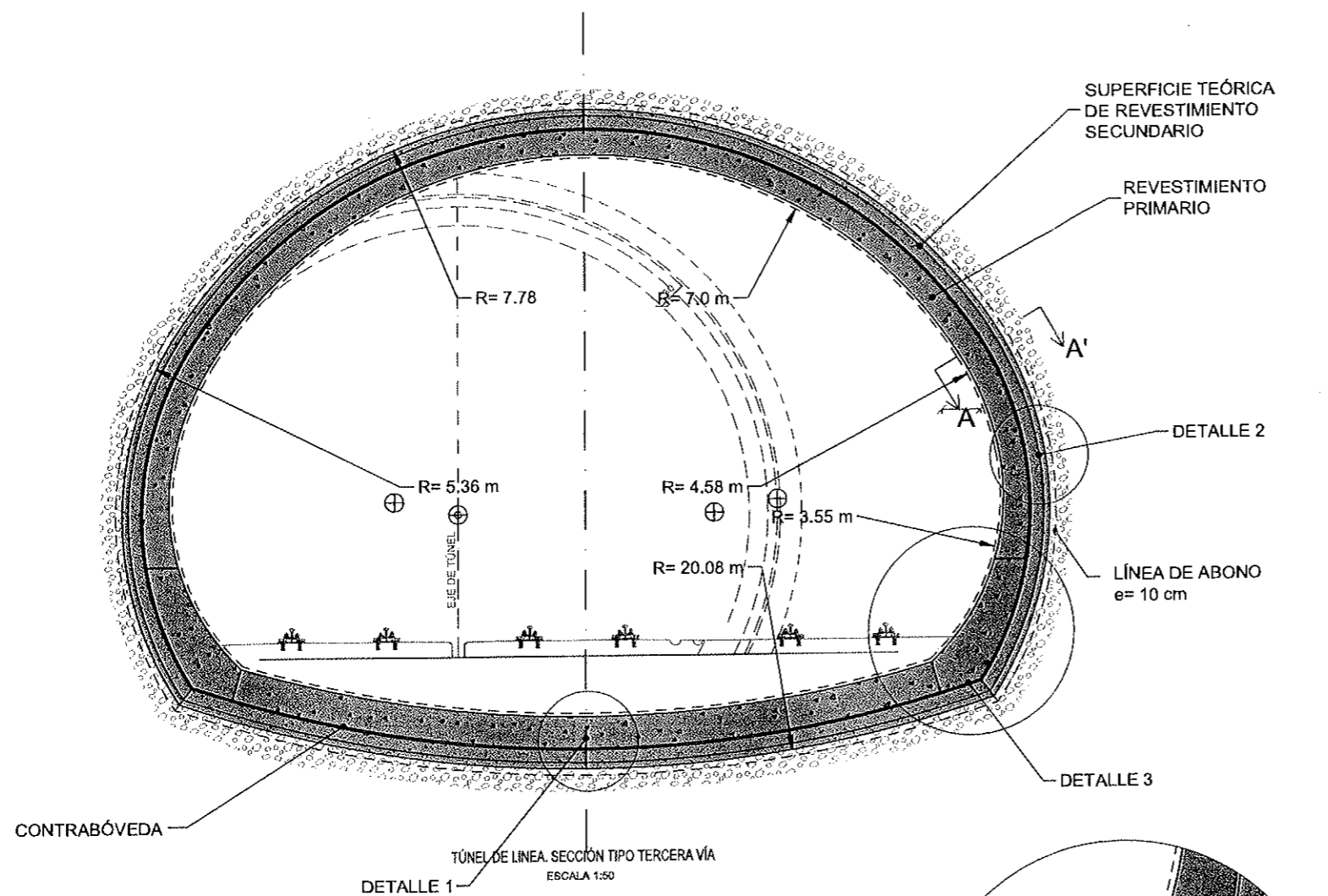
- D1 ≥ 15 m.
- D2 ≥ 10 m.
- D3 ≥ 10 m.
- D4 ≥ 15 m.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

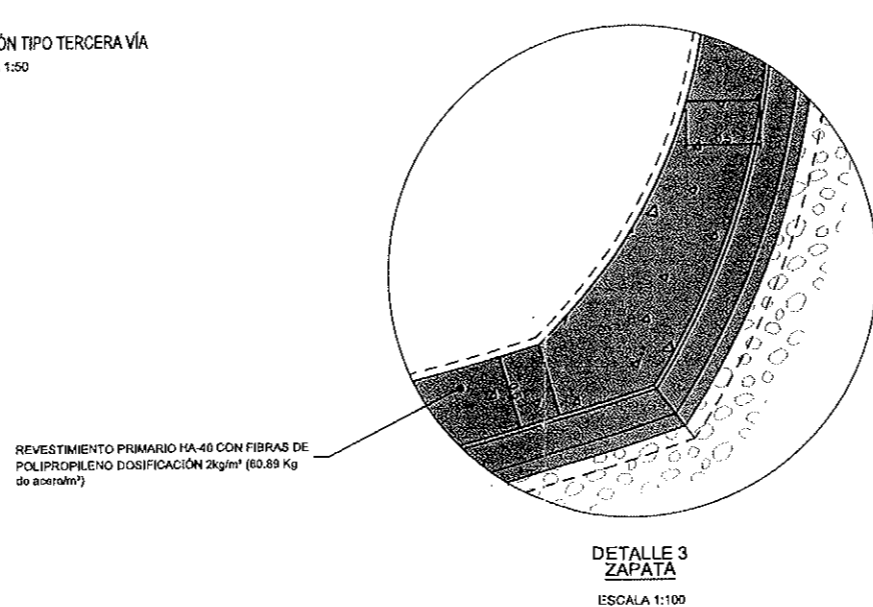
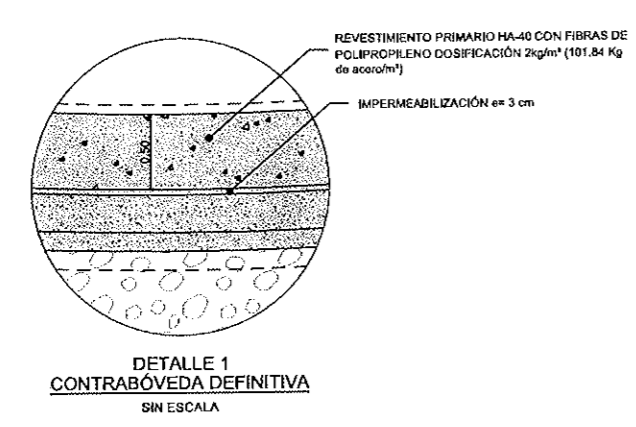


x:\trabajo\trabajo de linea\cfd\202057 metro de lima\tunel\entrega 7-2-2014\tercera via\203-plo-tun-con-ap-p001-p002.dwg - 07/02/2014 - 13:13

# TERCERA VÍA



DETALLES DE UNIÓN DE CERCHAS TE-130 AVANCE - DESTROZA SIN ESCALA

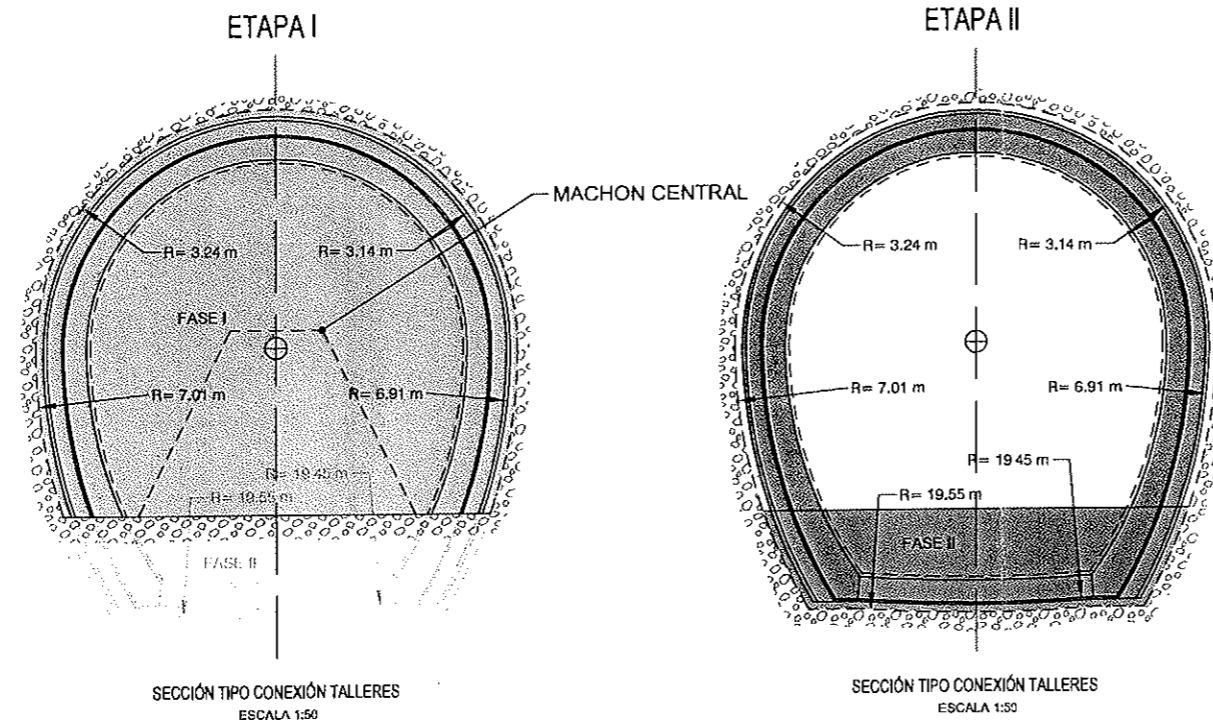


x:\metro\trabajos de línea\sección\202057 metro de línea\sección\trab\_membrete\_metro\trab\_membrete\_metro.dwg - 12/12/2013 - 12:04

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCÍA  
REPRESENTANTE LEGAL



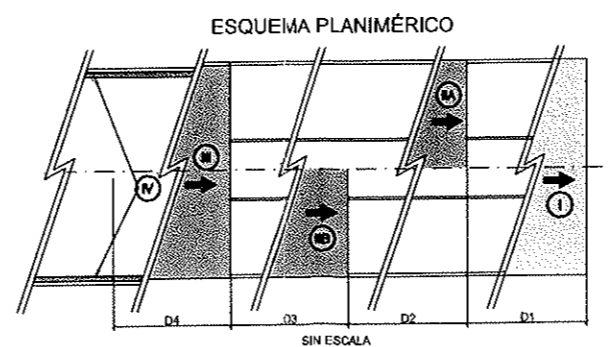
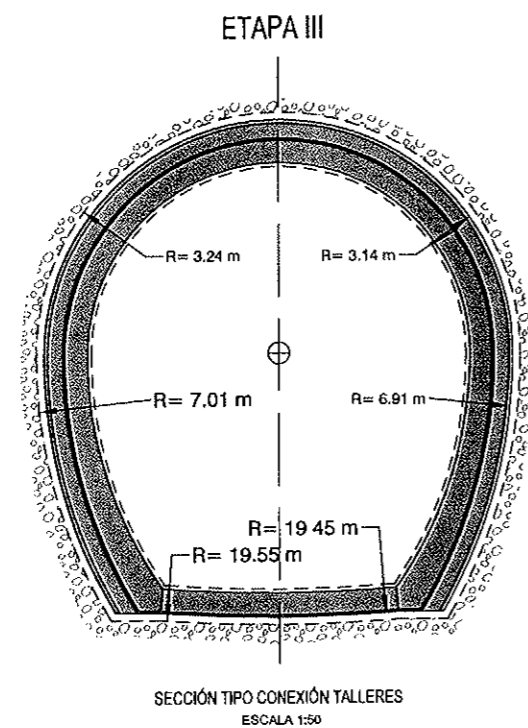
### SECCIÓN TIPO CONEXIÓN TALLERES



- \* Etapa I:
  - a) Excavación de la bóveda (FASE I) con machón central.
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la bóveda.
  - c) Excavación del machón central.
- \* Etapa II:
  - a) Excavación de la destroza (FASE II).
  - b) Ejecución del revestimiento primario de la destroza.
- \* Etapa III:
  - a) Ejecución del revestimiento primario de la contraboveda.

**NOTAS:**

- La longitud máxima de avance en cada FASE de excavación será de 1 m, excepto en la FASE III que no tiene limitación en este sentido.
- La FASE I de excavación se ejecutará utilizando "machón central".



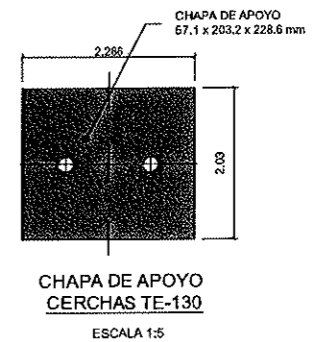
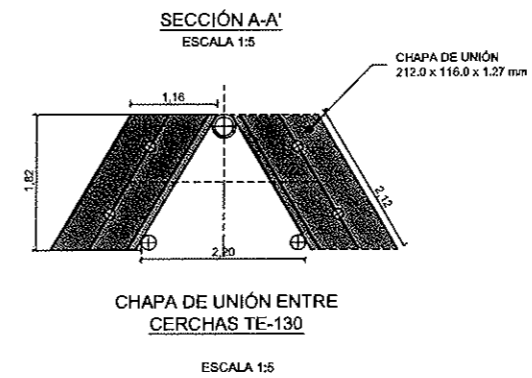
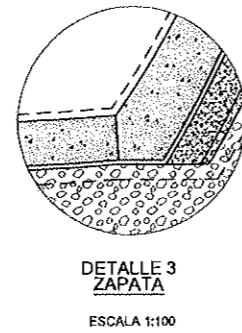
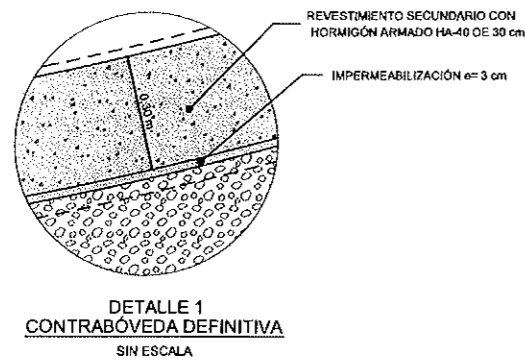
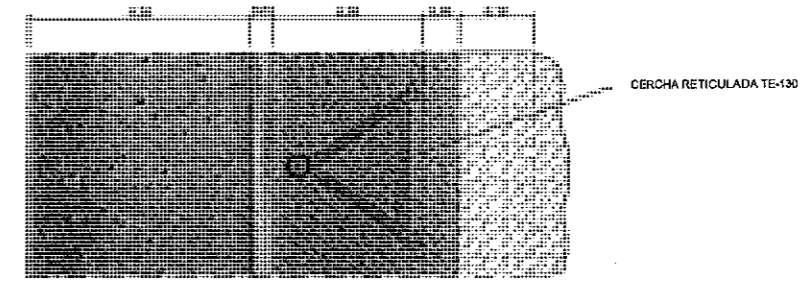
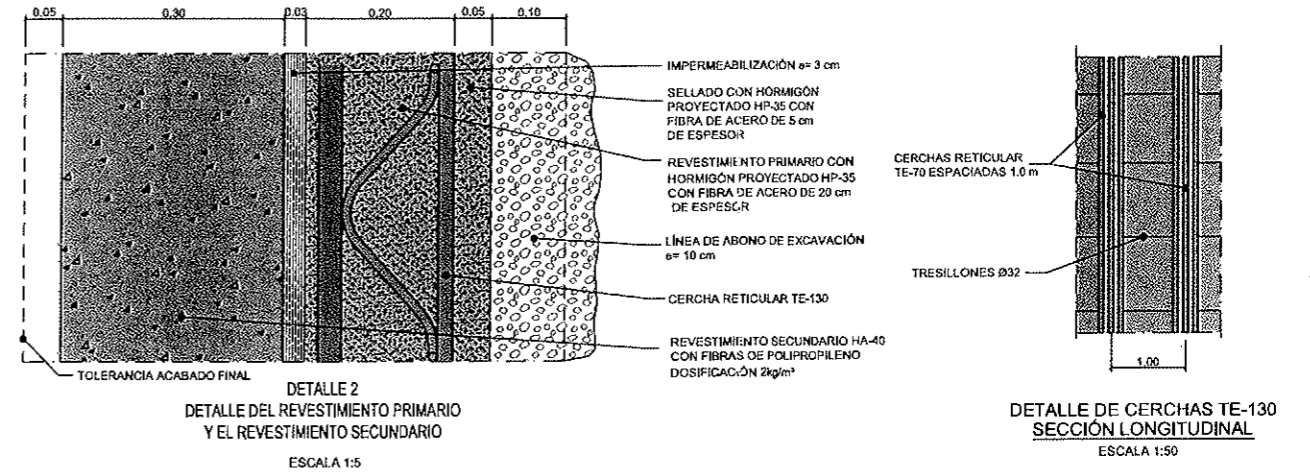
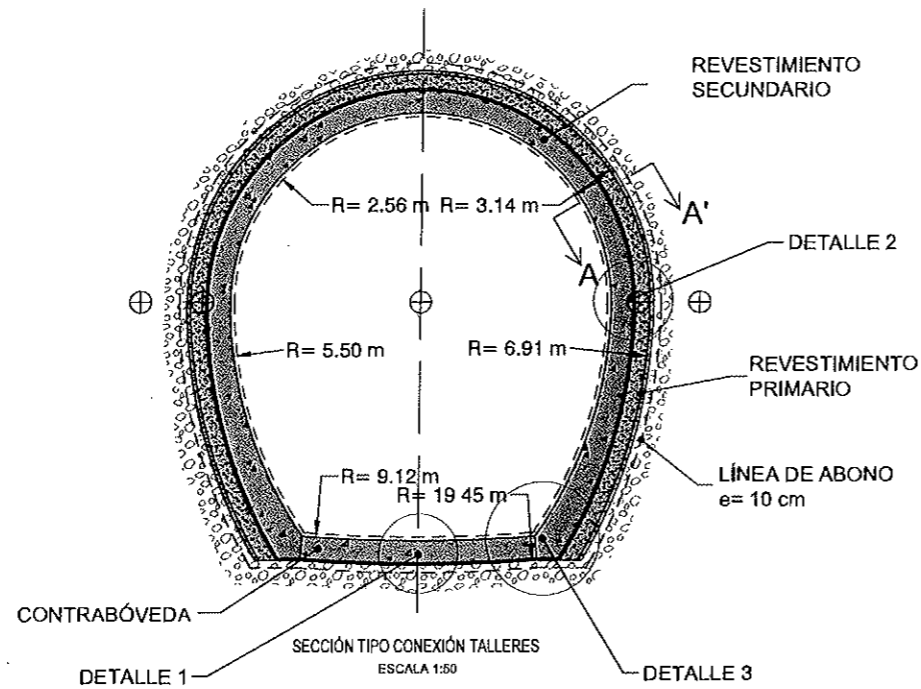
Distancias entre los frentes de excavación:

- D1 ≥ 15 m.
- D2 ≥ 10 m.
- D3 ≥ 10 m.
- D4 ≥ 15 m.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

c:\mauro\trabajos\edificacion\202057\_metro de lima\mauro\metro 7-2-2014\planos\1205-ploc-tun-con-rt-sa-p001-p002.dwg - 07/02/2014 - 13:14

### SECCIÓN TIPO CONEXIÓN TALLERES



DETALLES DE UNIÓN DE CERCHAS TE-130 AVANCE - DESTROZA SIN ESCALA

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

xt:\mauro\trabajos de ingeniería\1205-ploc-tun-con-rt-sa-p001-r002.dwg - 07/02/2014 - 13:15

A.6.4.  Nº DOCUMENTO	A) DISEÑO DE INGENIERÍA  TIPO DE DOCUMENTO
----------------------------	--

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

## A.6.4. MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS PERMANENTES

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



<b>0</b>	<b>CONTENIDO MÍNIMO .....</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>REVESTIMIENTO CON DOVELAS.....</b>	<b>5</b>
1.1	Materiales y coeficientes de seguridad.....	5
1.2	Geometría del anillo .....	6
1.3	Dimensionamiento.....	8
1.3.1	Túnel en servicio.....	8
1.3.1.1	Altura de tierras hasta 26,0 m (HA-40) .....	8
1.3.1.1.1	Estado Límite Último de Tensiones Normales .....	9
1.3.1.1.2	Estado Límite Último de Cortante .....	10
1.3.1.1.3	Acciones en las juntas radiales .....	10
1.3.1.1.3.1	Tensión en la junta.....	10
1.3.1.1.3.2	Estudio del efecto Bursting.....	11
1.3.1.1.3.3	Estudio del efecto Spalling .....	12
1.3.1.2	Altura de tierras hasta 28,75 m (HA-45) .....	13
1.3.1.2.1	Estado Límite Último de Tensiones Normales .....	14
1.3.1.2.2	Estado Límite Último de Cortante .....	15
1.3.1.2.3	Acciones en las juntas radiales .....	15
1.3.1.2.3.1	Tensión en la junta.....	15
1.3.1.2.3.2	Estudio del efecto Bursting.....	16
1.3.1.2.3.3	Estudio del efecto Spalling .....	17
1.3.2	Avance de la tuneladora .....	18
1.3.2.1	Altura de tierras hasta 26,0 m (HA-40) .....	19
1.3.2.1.1	Tensión media en el anillo.....	19
1.3.2.1.2	Efecto Bursting.....	19
1.3.2.1.3	Efecto Spalling .....	21
1.3.2.2	Altura de tierras hasta 28,75 m (HA-45) .....	22
1.3.2.2.1	Tensión media en el anillo.....	22
1.3.2.2.2	Efecto Bursting.....	22
1.3.2.2.3	Efecto Spalling .....	24
1.3.3	Desencofrado de las dovelas .....	24
1.3.3.1	Estado Límite Último de Flexión.....	24
1.3.3.2	Estado Límite Último de Cortante.....	25
1.3.4	Almacenamiento de las dovelas .....	25
1.3.4.1	Estado Límite Último de Flexión.....	26
1.3.4.2	Estado Límite Último de Cortante.....	27
1.3.5	Conclusiones.....	27
1.3.5.1	Altura de tierras hasta 26,0 m (HA-40) .....	27
1.3.5.2	Altura de tierras hasta 28,75 m (HA-45) .....	27
1.3.5.3	Propuesta de armado .....	28
<b>2</b>	<b>DISEÑO DEL REVESTIMIENTO (MÉTODOS CONVENCIONALES).....</b>	<b>29</b>
2.1	Generalidades.....	29

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALEJANDRO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL

002185

<b>2.2</b>	<b>Revestimiento primario</b> .....	<b>29</b>
2.2.1	Pre-dimensionamiento inicial revestimiento primario.....	29
2.2.2	Secciones tipo de revestimiento primario para el Túnel de Línea y conexiones.....	29
2.2.3	Secciones tipo de revestimiento primario para las cavernas (Tercera Vía y Estación) .....	30
2.2.4	Comprobaciones Numéricas.....	31
2.2.5	Estabilidad del Frente.....	32
2.2.6	Tratamientos Especiales .....	33
<b>2.3</b>	<b>Revestimiento definitivo</b> .....	<b>33</b>
2.3.1	Bases de diseño.....	33
2.3.2	Esfuerzos sobre el revestimiento definitivo.....	34
2.3.3	Dimensiones revestimiento definitivo .....	34
<b>2.4</b>	<b>IMPERMEABILIZACIÓN</b> .....	<b>35</b>
<b>2.5</b>	<b>MAQUINARIA PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO E IMPERMEABILIZACIÓN</b>	<b>36</b>
<b>APÉNDICE 1. MODELIZACIÓN NUMÉRICA (FLAC3D) PARA LA COMPROBACIÓN DE LAS SECCIONES TIPO DE REVESTIMIENTO PRIMARIO DEL METRO DE LIMA.....</b>		<b>37</b>
<b>APÉNDICE 2. OBTENCIÓN DE LOS ESFUERZOS EN EL REVESTIMIENTO POR MÉTODOS ANALÍTICOS.....</b>		<b>116</b>
<b>APÉNDICE 3. MODELIZACIÓN NUMÉRICA (PHASE2D) PARA LA OBTENCIÓN DE LOS ESFUERZOS EN EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO.....</b>		<b>129</b>
<b>APÉNDICE 4. DIMENSIONAMIENTO REVESTIMIENTO DEFINITIVO DEL TÚNEL DE LÍNEA.....</b>		<b>167</b>
<b>APÉNDICE 5. DIMENSIONAMIENTO REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE LAS CAVERNAS</b>		<b>212</b>

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DESAHE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



0 CONTENIDO MÍNIMO

002186

El contenido mínimo del Punto A.6.4 Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes es el siguiente:

1. Definición y selección de las secciones representativas a lo largo del trazado, según el método de excavación propuesto.  
Se desarrolla en el *Apartado 1.1 Materiales y Coeficientes de Seguridad* (páginas 5 a 6) y en el *Apartado 2.2 Revestimiento primario* (páginas 29 a 30). En el caso de tuneladora se analiza un anillo de seis dovelas más la clave y con un diámetro interior de 9,20 m, con una altura de tierras de hasta 26,0 m y para una altura de tierras de entre 26,00 m y 28,75 m que es el máximo recubrimiento. En el caso del túnel convencional, se definen y seleccionan tres secciones tipo para el túnel de línea convencional, cuya aplicación depende de la situación del túnel respecto a la frontera entre las gravas muy densas y las gravas más superficiales y menos densas que las subyacentes.
2. Análisis estructural preliminar de los elementos de revestimiento del túnel en las fases de vida de la estructura, según el método de excavación propuesto.  
Se desarrolla en el *Apartado 1 Revestimiento con dovelas* (página 5 a 28) y en el *Apartado 2 Diseño del revestimiento* (página 29 a 34) y se consideran todas las situaciones posibles en el ciclo de vida de los elementos estructurales, teniendo en cuenta la carga estática del terreno a largo plazo, así como las carga debida a eventos sísmicos. Con todo ello, se definen los espesores de hormigón y el armado necesario.
3. Descripción de los elementos integrantes del anillo de revestimiento para el caso de TBM:  
Se desarrolla en el *Apartado 1.2 Geometría del Anillo* (página 6 a 7) y consiste en un anillo circular de siete dovelas de 0,32 m de espesor y un diámetro interior de 9,20 m.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



**1 REVESTIMIENTO CON DOVELAS**

**1.1 MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD**

En este estudio se realiza el cálculo de las dovelas como elemento estructural con el fin de estudiar la respuesta a las sollicitaciones que se les ha de aplicar tanto en la fase definitiva (túnel construido) como en la provisional durante la ejecución de la obra.

Los materiales considerados en este cálculo son los siguientes:

**Hormigón** (dovelas prefabricadas):

Altura de tierras hasta 26,0 m:

Resistencia característica a compresión:  $f_c \geq 40 \text{ N/mm}^2$

Resistencia característica al desencofrar:  $f_c \geq 20 \text{ N/mm}^2$

Resistencia característica al apilar:  $f_c \geq 20 \text{ N/mm}^2$

Resistencia a tracción:  $f_{c,tk} \geq 2,46 \text{ N/mm}^2$

Coefficientes de minoración de la resistencia:  $\gamma_c = 1,50$

Tamaño máximo del árido: 17 mm

Apertura de fisura para comprobación: 0,40 mm

Módulo elástico:  $E_c = 34290 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente de Poisson:  $\nu = 0,25$

Altura de tierras entre 26,0 m y 28,75 m:

Resistencia característica a compresión:  $f_c \geq 45 \text{ N/mm}^2$

Resistencia característica al desencofrar:  $f_c \geq 20 \text{ N/mm}^2$

Resistencia característica al apilar:  $f_c \geq 20 \text{ N/mm}^2$

Resistencia a tracción:  $f_{c,tk} \geq 2,66 \text{ N/mm}^2$

Coefficientes de minoración de la resistencia:  $\gamma_c = 1,50$

Tamaño máximo del árido: 17 mm

Apertura de fisura para comprobación: 0,40 mm

Módulo elástico:  $E_c = 34290 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente de Poisson:  $\nu = 0,25$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

**Acero de Refuerzo:** (Barras corrugadas):

002188

Tensión de fluencia:  $f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$

Tensión de rotura:  $f_u = 540 \text{ N/mm}^2$

Tensión de cálculo:  $f_{yd} = 375 \text{ N/mm}^2$

Coefficientes de minoración de la resistencia:  $\gamma_c = 1,12$

Módulo elástico:  $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$

Recubrimiento de armaduras: 30 mm

Los coeficientes de mayoración de acciones considerados, son los siguientes:

Acciones permanentes:  $\gamma_G = 1,40$

Sobrecargas:  $\gamma_Q = 1,70$

Empuje de gatos:  $\gamma_{\text{EMPUJE}} = 1,25$

Sobrecargas con sismo:  $\gamma_{Q,\text{SISMO}} = 1,25$

Acción sísmica:  $\gamma_{\text{SISMO}} = 1,0$

Coefficiente de mayoración dinámico durante la manipulación:  $\gamma_{F,\text{din}} = 2,5$

#### 1.2 GEOMETRÍA DEL ANILLO

El anillo estará formado por 7 (6 +1) dovelas prefabricadas de hormigón, con dovela de cierre de longitud 1/3 con respecto al resto. La geometría del anillo es la siguiente:

Diámetro interior: 9,20 m

Diámetro exterior: 9,84 m

Espesor de dovela: 0,32 m

Longitud del anillo: 1,70 m

Ángulo de dovelas: 56,84°

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASADE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





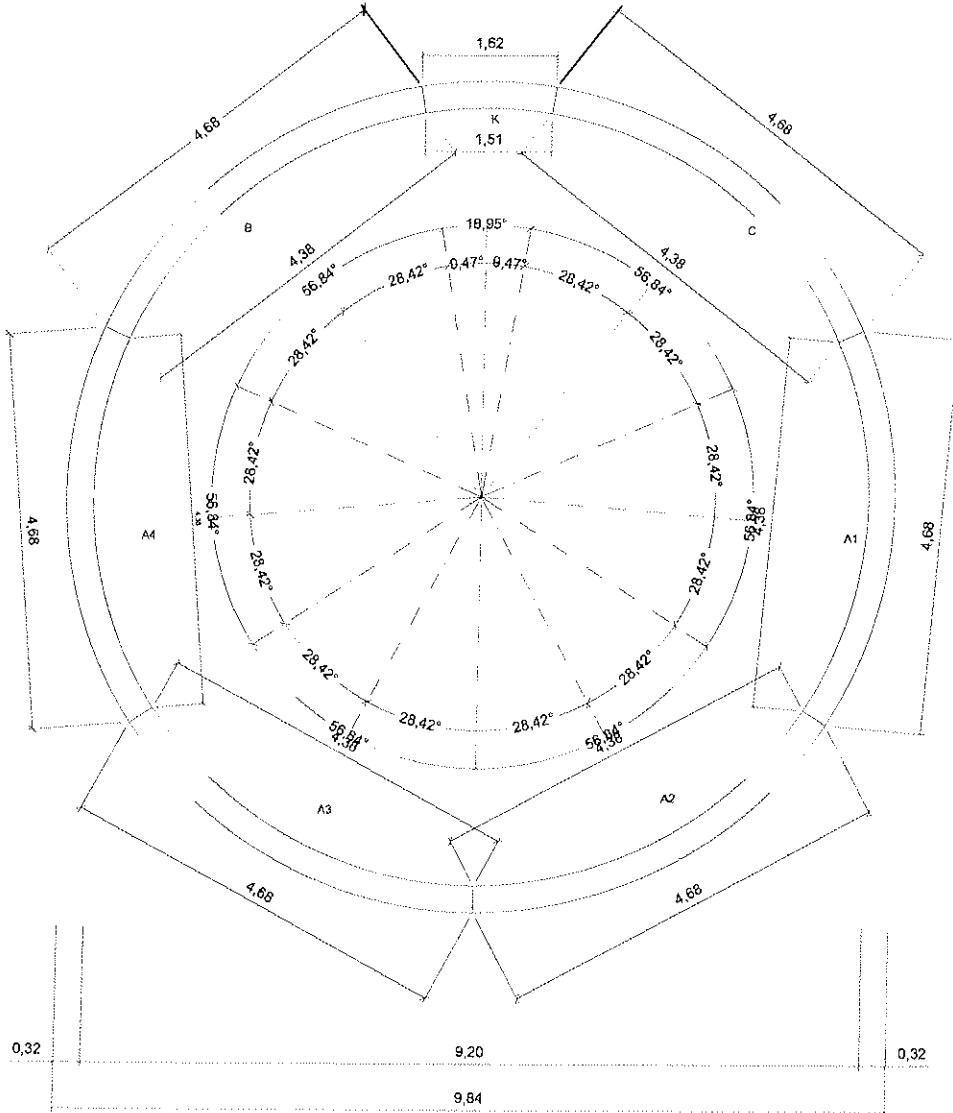
A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

Altura de tierras sobre clave: Se han realizado dos cálculos

002189

Dovelas HA-40: Hasta 26,00 m

Dovelas HA-45: Hasta 28,75 m



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN CASARE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



### 1.3 DIMENSIONAMIENTO

#### 1.3.1 Túnel en servicio

Se ha realizado un estudio tenso-deformacional del túnel con el fin de definir el anillo de dovelas. Los cálculos se han abordado mediante el empleo del Método de los Elementos Finitos con el programa de ordenador Phase2 (programa de mecánica de medios continuos aplicados a la Geotecnia) y mediante métodos analíticos (A. Bobet).

##### 1.3.1.1 *Altura de tierras hasta 26,0 m (HA-40)*

Se han adoptado los resultados más desfavorables de los métodos empleados, para la altura de tierras considerada (26,0 m).

Los esfuerzos máximos obtenidos son:

$$\text{Axil: } N = 288,41 \text{ t/m}$$

$$\text{Momento: } M = 4,50 \text{ m}\cdot\text{t/m}$$

$$\text{Cortante: } Q = 32,7 \text{ t/m}$$

Adicionalmente se ha realizado el cálculo de los efectos del sismo para los siguientes parámetros:

$$\text{Aceleración básica } a_B = 0,4 \text{ g}$$

$$\text{Coeficiente del terreno } S = 1$$

$$\text{Aceleración máxima: } a_{MAX,S} = S \cdot a_B = 0,4 \text{ g}$$

$$\text{Coeficiente de profundidad } C = 0,8$$

$$\text{Aceleración máxima en profundidad: } a_{Z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S} = 0,32 \text{ g}$$

$$\text{Velocidad pico del terreno } C_S = 750 \text{ m/s}$$

$$\text{Coeficiente de la velocidad de pico: } k = 1,52$$

$$\text{Velocidad de las ondas de cortante del sismo: } V_S = k \cdot a_{Z,MAX} = 0,4864 \text{ m/s}$$


$$\text{Distorsión angular máxima: } \gamma_{MAX} = V_S / C_S = 0,00065 \text{ rad}$$

Los esfuerzos obtenidos para la hipótesis sísmica son los siguientes:

$$\text{Axil: } N = 32,95 \text{ t/m}$$

$$\text{Momento: } M = 1,26 \text{ m}\cdot\text{t/m}$$

$$\text{Cortante: } Q = 0,73 \text{ t/m}$$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 

## A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

002191

A efecto de cálculo de las dovelas, con criterio conservador, se han considerado los valores máximos de los esfuerzos, aunque realmente estos valores de axil y momento no se darán a la vez por no ser concomitantes. Sin embargo, se puede deducir que si las dovelas soportan estos esfuerzos, cualquier pareja de valores concomitantes reales también los soportará. También se ha considerado la pareja de esfuerzos  $N_D = \gamma_Q \cdot N_K$  y  $M_D = 0$ .

Por lo tanto se analizan dos hipótesis:

### 1 Hipótesis 1: Momento máximo:

#### 1.a Situación sin sismo:

$$N_d = N_k = 288,41 \text{ t/m}$$

$$M_d = \gamma_Q \cdot M_K = 1,7 \cdot 4,50 = 7,65 \text{ m} \cdot \text{t/m}$$

#### 1.b Situación con sismo:

$$N_d = N_k + N_{\text{SISMO}} = 288,41 + 32,95 = 321,36 \text{ t/m}$$

$$M_d = \gamma_{Q,\text{SISMO}} \cdot M_K + M_{\text{SISMO}} = 1,25 \cdot 4,5 + 1,26 = 6,89 \text{ m} \cdot \text{t/m}$$

### 2 Hipótesis 1: Axil Máximo:

#### 2.a Situación sin sismo:

$$N_d = \gamma_Q \cdot N_k = 1,70 \cdot 288,41 = 490,29 \text{ t/m}$$

$$M_d = \gamma_Q \cdot M_K = 1,7 \cdot 4,50 = 7,65 \text{ m} \cdot \text{t/m}$$

#### 2.b Situación con sismo:

$$N_d = \gamma_{Q,\text{SISMO}} \cdot N_k + N_{\text{SISMO}} = 1,25 \cdot 288,41 + 32,95 = 393,46 \text{ t/m}$$

$$M_d = \gamma_{Q,\text{SISMO}} \cdot M_K + M_{\text{SISMO}} = 1,25 \cdot 4,5 + 1,26 = 6,89 \text{ m} \cdot \text{t/m}$$

#### 1.3.1.1.1 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO DE TENSIONES NORMALES

### 3 Hipótesis 1: Momento máximo

$$N_d = 288,41 \text{ t/m}$$

$$M_d = 7,65 \text{ m} \cdot \text{t/m}$$

La armadura necesaria para resistir estos esfuerzos es:  $A_S = 0 \text{ cm}^2/\text{m}$

### 4 Hipótesis 2: Axil máximo

$$N_d = 490,21 \text{ t/m}$$

$$M_d = 7,65 \text{ m} \cdot \text{t/m}$$

La armadura necesaria para resistir estos esfuerzos es:  $A_S = 0 \text{ cm}^2/\text{m}$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO HUAMI BASADE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



## A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes



002192

Para cumplir con los requisitos de armadura del método del momento tope, en los casos de compresión compuesta, se debe disponer una armadura mínima igual a  $8,09 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

5 Cuantía mínima (120 % de momento de fisuración)

Momento de fisuración:  $M_{CR} = 1.2 \cdot f_R \cdot I_G / Y_T$

Resistencia a rotura por tracción del hormigón  $f_R = 3.92 \text{ N/mm}^2$

Inercia de la sección bruta:  $I_G = 0.002730667 \text{ m}^4/\text{m}$

Distancia desde el cdg a la fibra extrema :  $Y_T = 0,16 \text{ m}$

$N_d = 0,0 \text{ t/m}$

$M_d = 8,03 \text{ m} \cdot \text{t/m}$

La armadura necesaria para resistir estos esfuerzos es:  $A_S = 7,38 \text{ cm}^2/\text{m}$

La armadura máxima para las tres hipótesis resulta:  $A_S = 8,09 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

Puesto que la dovela mide 1,70 m de longitud, la armadura total es  $A_S = 13,75 \text{ cm}^2$ .

### 1.3.1.1.2 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO DE CORTANTE

El esfuerzo de cortante máximo será:

$V_d = 1,70 \cdot 1,70 \cdot 32,70 = 94,50 \text{ t} \Rightarrow$  No hace falta armadura de cortante

### 1.3.1.1.3 ACCIONES EN LAS JUNTAS RADIALES

Las cargas provenientes del terreno ejercen sobre las juntas radiales tensiones de tracción que pueden dar lugar a fenómenos de estallido o escamado, por lo que es necesario un estudio individualizado de éstas.

#### 1.3.1.1.3.1 TENSION EN LA JUNTA

El axil máximo actuante es el axil resultante del cálculo de las secciones del túnel:  $N_d = 490,29 \text{ t}$ .

La máxima compresión en la junta de la dovela que puede resistir el hormigón es:

Cálculo 1: Compresión triaxial

$$N_d = 0,85 \times f_{cd} \times \sqrt{\frac{A_1}{A}} \times A = 0,85 \times \frac{4000}{1,5} \times \sqrt{\frac{0,141}{0,32}} \times 0,32 = 490,97 \text{ t/m} > N_D = 490,29 \text{ t}$$

donde:

$A_1$ : Canto reducido de la sección de hormigón por las juntas y la barra de guiado:  $A_1 = 0,141 \text{ m}$

$A$ : Canto de la sección de hormigón:  $A = 0,32 \text{ m}$

$\sqrt{\frac{A_1}{A}}$  es el factor de reducción debido a la disminución de la sección de contacto provocada por la existencia de juntas de estanqueidad y la barra de guiado.

Cálculo 2: Compresión biaxial (sin considerar la reducción de sección por barra de guiado)

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN CASABE GARLÍA  
REPRESENTANTE LEGAL



002193

$$N_d = f_{cd} \times A_2 = \frac{4000}{1,5} \times 0,199 = 530,67 \text{ t/m} > N_D = 490,29 \text{ t}$$

donde:

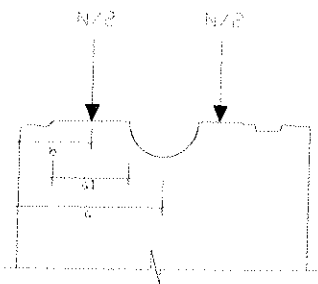
$A_2$ : Canto reducido de la sección de hormigón por las juntas:  $A_1 = 0,199 \text{ m}$

Por lo tanto la resistencia de la junta ( $N_{RD}$ ) es mayor que el axil solicitante ( $N_D$ ).

### 1.3.1.1.3.2 ESTUDIO DEL EFECTO BURSTING

La fuerza máxima de compresión, proveniente del terreno, que puede actuar en la junta radial de la dovela es de 490,29t.

Pero, al existir una barra de guiado en las juntas radiales, la superficie de contacto disminuye, por lo que la definición de la nueva geometría y cargas a estudio se discretiza de la siguiente forma:



$a_1$  es la superficie eficaz de contacto de la carga  $N/2$ , descontando los espacios ocupados por los rebajes de esquina y la barra de guiado.

$b$  es la distancia del punto de aplicación de la carga considerada al paramento.

$$a = 2 \times b$$

La barra de guiado está a 18 cm del intradós de la dovela y tiene un diámetro de 58 mm y las juntas una longitud de 36 y 85 mm, y con puesto que la dovela tiene un ancho de 32 cm, resulta.

1 Trasdós de la dovela:

$$\text{Área cargada total: } S = 32 - 8,5 - 3,6 - 5,8 = 14,1 \text{ cm}$$

$$a_1 = 18,0 - 5,8/2 - 3,6 = 11,5 \text{ cm}$$

$$b = 11,5/2 + 3,6 = 9,35 \text{ cm}$$

$$a = 2 \cdot 9,35 = 18,70 \text{ cm}$$

La carga en la zona cargada junto al trasdós es proporcional al área cargada:

$$R_{d, \text{Trasdós}} = N_d \cdot \frac{a_1}{S} = 490,29 \cdot \frac{11,5}{14,1} = 399,88 \text{ t/m}$$

La tensión de tracción máxima que se produce según Leonhardt es:

Para  $a/a_1 = 1,63$  resulta que  $\sigma_y = 0,15 \cdot \sigma_x$  ;

$$\sigma_x = \frac{R_{d, \text{Trasdós}}}{a} = \frac{399,88}{0,187} = 2138,41 \text{ t/m}^2$$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL





#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

002194

Por lo tanto:

$$\sigma_y = 0,15 \cdot \sigma_x = 0,15 \cdot 2138,41 = 320,76 \text{ t/m}^2 > f_{ct,d} = 163,6 \text{ t/m}^2$$

Puesto que la tracción es mayor que la resistencia a tracción minorada del hormigón, será necesario disponer de la armadura de refuerzo definida por:

$$T_d = 0,25 \times R_{d,Trasdós} \times \left( \frac{a - a_1}{a} \right) = 0,25 \times 399,88 \times \left( \frac{0,187 - 0,115}{0,187} \right) = 38,49 \text{ t}$$

$$A > \frac{T}{f_{yd}} = \frac{38,49}{3750} = 0,001007 \text{ m}^2 = 10,07 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Este valor ha sido obtenido por metro lineal de dovela, por lo tanto, para la longitud de 1,7 metros serán necesarios  $1,7 \times 10,07 \text{ cm}^2 = 17,11 \text{ cm}^2$ .

#### 2 Intradós de la dovela:

$$\text{Área cargada total: } S = 32 - 8,5 - 3,6 - 5,8 = 14,1 \text{ cm}$$

$$a_2 = 14,0 - 5,8/2 - 8,5 = 2,6 \text{ cm}$$

$$b = 2,6/2 + 8,5 = 9,80 \text{ cm}$$

$$a = 2 \cdot 9,80 = 19,60 \text{ cm}$$

La carga en la zona cargada junto al intradós es proporcional al área cargada:

$$R_{d,Intradós} = N_d \cdot \frac{a_2}{S} = 490,29 \cdot \frac{2,6}{14,1} = 90,41 \text{ t/m}$$

La tensión de tracción máxima que se produce según Leonhart es:

Para  $a/a_1 = 7,54$  resulta que  $\sigma_y = 0,35 \cdot \sigma_x$ ;

$$\sigma_x = \frac{R_{d,Intradós}}{a} = \frac{90,41}{0,196} = 461,27 \text{ t/m}^2$$

Por lo tanto:

$$\sigma_y = 0,35 \cdot \sigma_x = 0,35 \cdot 461,27 = 161,44 \text{ t/m}^2 < f_{ct,d} = 163,6 \text{ t/m}^2$$

Como las tensiones producidas son menores que la tensión de tracción minorada del hormigón ( $163,66 \text{ t/m}^2$ ) no es necesario disponer refuerzos de armadura.

#### 1.3.1.1.3.3 ESTUDIO DEL EFECTO SPALLING

Las fuerzas de rotura que se producen debido a que la carga radial en las juntas actúa en una sección menor son:

$$Z_x = 0,015 \times P = 0,015 \times \frac{490,29}{2} = 3,68 \text{ t}$$

$$Z_y = 0,010 \times P = 0,010 \times \frac{490,29}{2} = 2,45 \text{ t}$$

Estas fuerzas corresponden a la proyección de una fuerza "Z" perpendicular a la línea de rotura:

$$Z = Z_x \cdot \cos 45 + Z_y \cdot \cos 45 = 4,33 \text{ t}$$

#### 1 Trasdós de la dovela

Esta fuerza actúa sobre un ancho "b<sub>1</sub>" correspondiente al extradós de la dovela:

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN GASABE CARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

$$b_1 = 3,6/\cos 45 = 5,10 \text{ cm}$$

La tensión resultante es:

002195

$$\sigma = Z/b_1 = 4,33 / 0,051 = 85,12 \text{ t/m}^2$$

#### 2 Trasdós de la dovela

Esta fuerza actúa sobre un ancho "b<sub>1</sub>" correspondiente al extradós de la dovela:

$$b_2 = 8,5/\cos 45 = 12,0 \text{ cm}$$

La tensión resultante es:

$$\sigma = Z/b_1 = 4,33 / 0,12 = 36,05 \text{ t/m}^2$$

Como las tensiones producidas son menores que la tensión de tracción minorada del hormigón (163,66 t/m<sup>2</sup>) no es necesario disponer refuerzos de armadura.

#### 1.3.1.2 Altura de tierras hasta 28,75 m (HA-45)

Se han adoptado los resultados más desfavorables de los métodos empleados, para la altura de tierras máxima (28,75 m).

Los esfuerzos máximos obtenidos son:

$$\text{Axil: } N = 318,87 \text{ t/m}$$

$$\text{Momento: } M = 4,97 \text{ m}\cdot\text{t/m}$$

$$\text{Cortante: } Q = 36,16 \text{ t/m}$$

Adicionalmente se ha realizado el cálculo de los efectos del sismo para los siguientes parámetros:

$$\text{Aceleración básica } a_B = 0,4 \text{ g}$$

$$\text{Coeficiente del terreno } S = 1$$

$$\text{Aceleración máxima: } a_{\text{MAX,S}} = S \cdot a_B = 0,4 \text{ g}$$

$$\text{Coeficiente de profundidad } C = 0,8$$

$$\text{Aceleración máxima en profundidad: } a_{z,\text{MAX}} = C \cdot a_{\text{MAX,S}} = 0,32 \text{ g}$$

$$\text{Velocidad pico del terreno } C_S = 750 \text{ m/s}$$

$$\text{Coeficiente de la velocidad de pico: } k = 1,52$$

$$\text{Velocidad de las ondas de cortante del sismo: } V_S = k \cdot a_{z,\text{MAX}} = 0,4864 \text{ m/s}$$

$$\text{Distorsión angular máxima: } \gamma_{\text{MAX}} = V_S / C_S = 0,00065 \text{ rad}$$

Los esfuerzos obtenidos para la hipótesis sísmica son los siguientes:

$$\text{Axil: } N = 32,95 \text{ t/m}$$

#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

002196

Momento:  $M = 1,26 \text{ m}\cdot\text{t/m}$

Cortante:  $Q = 0,73 \text{ t/m}$

A efecto de cálculo de las dovelas, con criterio conservador, se han considerado los valores máximos de los esfuerzos, aunque realmente estos valores de axil y momento no se darán a la vez por no ser concomitantes. Sin embargo, se puede deducir que si las dovelas soportan estos esfuerzos, cualquier pareja de valores concomitantes reales también los soportará. También se ha considerado la pareja de esfuerzos  $N_D = \gamma_Q \cdot N_K$  y  $M_D = 0$ .

Por lo tanto se analizan dos hipótesis:

#### 1 Hipótesis 1: Momento máximo:

##### 1.a Situación sin sismo:

$$N_d = N_k = 318,87 \text{ t/m}$$

$$M_d = \gamma_Q \cdot M_K = 1,7 \cdot 4,97 = 8,45 \text{ m}\cdot\text{t/m}$$

##### 1.b Situación con sismo:

$$N_d = N_k + N_{\text{SISMO}} = 318,87 + 32,95 = 351,97 \text{ t/m}$$

$$M_d = \gamma_{Q,\text{SISMO}} \cdot M_K + M_{\text{SISMO}} = 1,25 \cdot 4,97 + 1,26 = 7,48 \text{ m}\cdot\text{t/m}$$

#### 2 Hipótesis 1: Axil Máximo:

##### 2.a Situación sin sismo:

$$N_d = \gamma_Q \cdot N_k = 1,70 \cdot 318,87 = 542,08 \text{ t/m}$$

$$M_d = \gamma_Q \cdot M_K = 1,7 \cdot 4,97 = 8,45 \text{ m}\cdot\text{t/m}$$

##### 2.b Situación con sismo:

$$N_d = \gamma_{Q,\text{SISMO}} \cdot N_k + N_{\text{SISMO}} = 1,25 \cdot 318,87 + 32,95 = 431,68 \text{ t/m}$$

$$M_d = \gamma_{Q,\text{SISMO}} \cdot M_K + M_{\text{SISMO}} = 1,25 \cdot 4,97 + 1,26 = 7,48 \text{ m}\cdot\text{t/m}$$

#### 1.3.1.2.1 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO DE TENSIONES NORMALES

#### 1 Hipótesis 1: Momento máximo

$$N_d = 318,87 \text{ t/m}$$

$$M_d = 8,45 \text{ m}\cdot\text{t/m}$$

La armadura necesaria para resistir estos esfuerzos es:  $A_S = 0 \text{ cm}^2/\text{m}$

#### 2 Hipótesis 2: Axil máximo


$$N_d = 542,08 \text{ t/m}$$

$$M_d = 8,45 \text{ m}\cdot\text{t/m}$$

La armadura necesaria para resistir estos esfuerzos es:  $A_S = 0 \text{ cm}^2/\text{m}$

Para cumplir con los requisitos de armadura del método del momento tope, en los casos de compresión compuesta, se debe disponer una armadura mínima igual a  $8,09 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL







#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

3 Cuantía mínima (120 % de momento de fisuración)

002197

Momento de fisuración:  $M_{CR} = 1.2 \cdot f_R \cdot I_G / Y_T$

Resistencia a rotura por tracción del hormigón  $f_R = 4,16 \text{ N/mm}^2$

Inercia de la sección bruta:  $I_G = 0.002730667 \text{ m}^4/\text{m}$

Distancia desde el cdg a la fibra extrema :  $Y_T = 0,16 \text{ m}$

$N_d = 0,0 \text{ t/m}$

$M_d = 8,52 \text{ m} \cdot \text{t/m}$

La armadura necesaria para resistir estos esfuerzos es:  $A_S = 7,82 \text{ cm}^2/\text{m}$

La armadura máxima para las tres hipótesis resulta:  $A_S = 8,09 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

Puesto que la dovela mide 1,70 m de longitud, la armadura total es  $A_S = 13,75 \text{ cm}^2$ .

##### 1.3.1.2.2 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO DE CORTANTE

El esfuerzo de cortante máximo será:

$V_d = 1,70 \cdot 1,70 \cdot 36,16 = 104,49 \text{ t} \Rightarrow$  No hace falta armadura de cortante

##### 1.3.1.2.3 ACCIONES EN LAS JUNTAS RADIALES

Las cargas provenientes del terreno ejercen sobre las juntas radiales tensiones de tracción que pueden dar lugar a fenómenos de estallido o escamado, por lo que es necesario un estudio individualizado de éstas.

##### 1.3.1.2.3.1 TENSIÓN EN LA JUNTA

El axil máximo actuante es el axil resultante del cálculo de las secciones del túnel:  $N_d = 542,08 \text{ t}$ .

La máxima compresión en la junta de la dovela que puede resistir el hormigón es:

Cálculo 1: Compresión triaxial

$$N_d = 0,85 \times f_{cd} \times \sqrt{\frac{A_1}{A}} \times A = 0,85 \times \frac{4500}{1,5} \times \sqrt{\frac{0,141}{0,32}} \times 0,32 = 552,34 \text{ t/m} > N_D = 542,08 \text{ t}$$

donde:

$A_1$ : Canto reducido de la sección de hormigón por las juntas y la barra de guiado:  $A_1 = 0,141 \text{ m}$

$A$ : Canto de la sección de hormigón:  $A = 0,32 \text{ m}$

$\sqrt{\frac{A_1}{A}}$  es el factor de reducción debido a la disminución de la sección de contacto provocada por la existencia de juntas de estanqueidad y la barra de guiado.

Cálculo 2: Compresión biaxial (sin considerar la reducción de sección por barra de guiado)

$$N_d = f_{cd} \times A_2 = \frac{4500}{1,5} \times 0,199 = 608,77 \text{ t/m} > N_D = 542,08 \text{ t}$$

donde:

$A_2$ : Canto reducido de la sección de hormigón por las juntas:  $A_1 = 0,199 \text{ m}$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

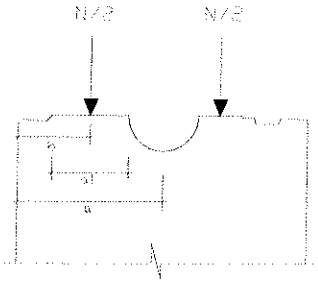


Por lo tanto la resistencia de la junta ( $N_{RD}$ ) es mayor que el axil solicitante ( $N_D$ ).

1.3.1.2.3.2 ESTUDIO DEL EFECTO BURSTING

La fuerza máxima de compresión, proveniente del terreno, que puede actuar en la junta radial de la dovela es de 542,08 t.

Pero, al existir una barra de guiado en las juntas radiales, la superficie de contacto disminuye, por lo que la definición de la nueva geometría y cargas a estudio se discretiza de la siguiente forma:



$a_1$  es la superficie eficaz de contacto de la carga  $N/2$ , descontando los espacios ocupados por los rebajes de esquina y la barra de guiado.

$b$  es la distancia del punto de aplicación de la carga considerada al paramento.

$$a = 2 \times b$$

La barra de guiado está a 18 cm del intradós de la dovela y tiene un diámetro de 58 mm y las juntas una longitud de 36 y 85 mm, y con puesto que la dovela tiene un ancho de 32 cm, resulta.

1 Trasdós de la dovela:

$$\text{Área cargada total: } S = 32 - 8,5 - 3,6 - 5,8 = 14,1 \text{ cm}$$

$$a_1 = 18,0 - 5,8/2 - 3,6 = 11,5 \text{ cm}$$

$$b = 11,5/2 + 3,6 = 9,35 \text{ cm}$$

$$a = 2 \cdot 9,35 = 18,70 \text{ cm}$$

La carga en la zona cargada junto al trasdós es proporcional al área cargada:

$$R_{d, \text{Trasdós}} = N_d \cdot \frac{a_1}{S} = 542,08 \cdot \frac{11,5}{14,1} = 442,12 \text{ t/m}$$

La tensión de tracción máxima que se produce según Leonhart es:

Para  $a/a_1 = 1,63$  resulta que  $\sigma_y = 0,15 \cdot \sigma_x$  ;

$$\sigma_x = \frac{R_{d, \text{Trasdós}}}{a} = \frac{442,12}{0,187} = 2364,29 \text{ t/m}^2$$



#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

002199

Por lo tanto:

$$\sigma_y = 0,15 \cdot \sigma_x = 0,15 \cdot 2364,29 = 354,64 \text{ t/m}^2 > f_{ct,d} = 180,61 \text{ t/m}^2$$

Puesto que la tracción es mayor que la resistencia a tracción minorada del hormigón, será necesario disponer de la armadura de refuerzo definida por:

$$T_d = 0,25 \times R_{d,Trasdos} \times \left( \frac{a - a_1}{a} \right) = 0,25 \times 442,12 \times \left( \frac{0,187 - 0,115}{0,187} \right) = 42,56 \text{ t}$$

$$A > \frac{T}{f_{yd}} = \frac{42,56}{3750} = 0,001113 \text{ m}^2 = 11,13 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Este valor ha sido obtenido por metro lineal de dovela, por lo tanto, para la longitud de 1,7 metros serán necesarios  $1,7 \times 11,13 \text{ cm}^2 = 18,92 \text{ cm}^2$ .

2 Intradós de la dovela:

$$\text{Área cargada total: } S = 32 - 8,5 - 3,6 - 5,8 = 14,1 \text{ cm}$$

$$a_2 = 14,0 - 5,8/2 - 8,5 = 2,6 \text{ cm}$$

$$b = 2,6/2 + 8,5 = 9,80 \text{ cm}$$

$$a = 2 \cdot 9,80 = 19,60 \text{ cm}$$

La carga en la zona cargada junto al intradós es proporcional al área cargada:

$$R_{d,Intradós} = N_d \cdot \frac{a_2}{S} = 542,08 \cdot \frac{2,6}{14,1} = 99,96 \text{ t/m}$$

La tensión de tracción máxima que se produce según Leonhart es:

Para  $a/a_1 = 7,54$  resulta que  $\sigma_y = 0,35 \cdot \sigma_x$ ;

$$\sigma_x = \frac{R_{d,Intradós}}{a} = \frac{99,96}{0,196} = 509,99 \text{ t/m}^2$$

Por lo tanto:

$$\sigma_y = 0,35 \cdot \sigma_x = 0,35 \cdot 509,99 = 178,50 \text{ t/m}^2 < f_{ct,d} = 180,61 \text{ t/m}^2$$

Como las tensiones producidas son menores que la tensión de tracción minorada del hormigón ( $163,66 \text{ t/m}^2$ ) no es necesario disponer refuerzos de armadura.

#### 1.3.1.2.3.3 ESTUDIO DEL EFECTO SPALLING

Las fuerzas de rotura que se producen debido a que la carga radial en las juntas actúa en una sección menor son:

$$Z_x = 0,015 \times P = 0,015 \times \frac{542,08}{2} = 4,07 \text{ t}$$

$$Z_y = 0,010 \times P = 0,010 \times \frac{542,08}{2} = 2,71 \text{ t}$$

Estas fuerzas corresponden a la proyección de una fuerza "Z" perpendicular a la línea de rotura:

$$Z = Z_x \cdot \cos 45 + Z_y \cdot \cos 45 = 4,79 \text{ t}$$

1 Trasdós de la dovela

Esta fuerza actúa sobre un ancho "b<sub>1</sub>" correspondiente al extradós de la dovela:

$$b_1 = 3,6 / \cos 45 = 5,10 \text{ cm}$$

La tensión resultante es:



002200

$$\sigma = Z/b_1 = 4,79 / 0,051 = 94,11 \text{ t/m}^2$$

2 Trasdós de la dovela

Esta fuerza actúa sobre un ancho "b<sub>1</sub>" correspondiente al extradós de la dovela:

$$b_2 = 8,5/\cos 45 = 12,0 \text{ cm}$$

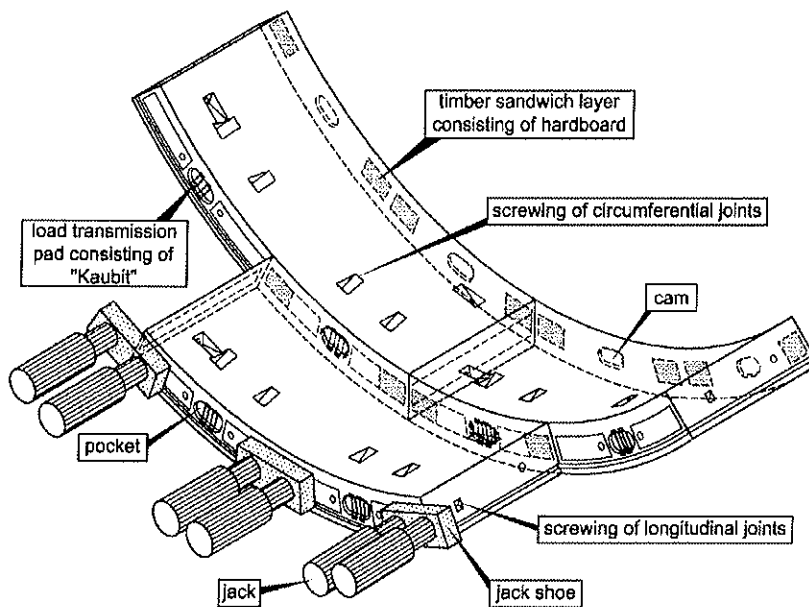
La tensión resultante es:

$$\sigma = Z/b_1 = 4,79 / 0,12 = 39,86 \text{ t/m}^2$$

Como las tensiones producidas son menores que la tensión de tracción minorada del hormigón (180,61 t/m<sup>2</sup>) no es necesario disponer refuerzos de armadura.

### 1.3.2 Avance de la tuneladora

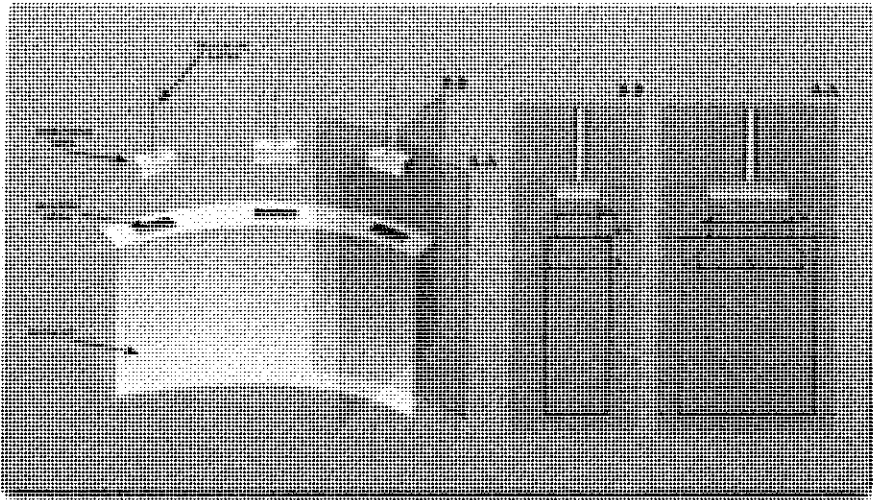
Durante el avance de la TBM los segmentos vienen cargados en las superficies frontales debido a la acción de los gatos hidráulicos como se puede ver en la siguiente figura:



Ejemplo de configuración para la transmisión de las fuerzas de empuje a través de las zapatas al segmento prefabricado

En la parte posterior de los segmentos, estas fuerzas se transfieren al anillo de segmentos ya instalado a través de zapatas especiales. Debido a la extensión lateral de las fuerzas aplicadas por los pistones, se inducen fuerzas de tracción transversal que deberán ser absorbidas por una adecuada armadura; sea en dirección circunferencial o en dirección transversal.

002201



Presiones de contacto, esquema de carga

El número de gatos hidráulicos que lleva incorporados el escudo es de 38. Los gatos se agrupan de tres parejas de gatos sobre cada dovela (salvo la de cierra sobre la que se apoyan una pareja gatos).

La carga de cada gato es de 287 t, por lo que la fuerza máxima ejercida es de 10.906 t

La superficie de contacto entre la dovela y la barra hidráulica del par de gatos se ejerce a través de una zapata de 1,0 m x 0,35 m.

### 1.3.2.1 *Altura de tierras hasta 26,0 m (HA-40)*

#### 1.3.2.1.1 TENSIÓN MEDIA EN EL ANILLO

El empuje medio que se produce en las juntas circunferenciales es igual a:

$$E = \gamma_{Empuje} \cdot \frac{n \times F}{\text{perimetro medio}} = 1,25 \cdot \frac{38 \times 287}{\pi \times (9,20 + 0,32)} = 455,7 \text{ t/m}$$

La tensión que se produce en la junta circunferencial, teniendo en cuenta que la superficie eficaz de contacto es de 0,199 m (juntas de 3,6 y 8,5 cm), es:

$$\sigma = \frac{E}{t} = \frac{455,7}{0,199} = 2290,92 \text{ t/m}^2 < 0,85 \times f_{cd} = 2311,36 \text{ t/m}^2$$

Siendo:

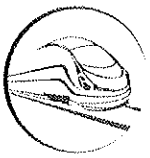
t = canto efectivo de apoyo de los gatos

#### 1.3.2.1.2 EFECTO BURSTING

Las cargas concentradas distribuidas sobre superficies relativamente pequeñas, o las fuerzas que actúan exteriormente a las estructuras, dan lugar a presiones que se expanden en el cuerpo de la estructura generando tensiones de compresión y de tracción transversales a la dirección de la fuerza hasta que a una determinada profundidad se alcanza una distribución uniforme, lineal o superficial.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASARE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL





#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

En las estructuras de hormigón es necesario prestar atención a las tensiones de tracción transversales a la dirección de la fuerza, las denominadas tensiones de fractura por tracción (bursting stresses) y de las cuales se determinan los esfuerzos de hendiduras resultantes por tracción o fuerzas de hendidura. Estas deben ser absorbidas por armaduras.

##### 1 Dirección radial

La superficie de contacto de la dovela es de 1000 x 350 mm. Si consideramos una excentricidad del gato de 25 mm, y suponiendo que la superficie de contacto es un 80% del canto de la dovela:

$$\begin{aligned} a_1 &= 0,199/2 - 0,025 = 0,149 \text{ m} \\ a &= 0,199/2 - 0,025 + 0,085 = 0,319 \text{ cm} \\ N_d &= 2 \cdot 1,25 \cdot 287,05 = 717,63 \text{ t/m} \end{aligned}$$

La tensión de tracción máxima que se produce debido a Leonhardt es:

$$\sigma_y = 0,22 \cdot \sigma_x, \text{ para } a/a_1 = 0,319/0,149 = 2,14$$

Resulta, entonces:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= N_d / a = 717,63/0,319 = 2249,61 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_y &= 0,22 \times 2249,61 = 494,94 \text{ t/m}^2 > f_{ct,d} = 163,73 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Puesto que la tracción es mayor que la resistencia a tracción minorada del hormigón, será necesario disponer de la armadura de refuerzo definida por:

$$T_d = 0,25 \times N_d \times \left( \frac{a - a_1}{a} \right) = 0,25 \times 717,63 \times \left( \frac{0,319 - 0,149}{0,319} \right) = 95,61 \text{ t}$$

$$A > \frac{T}{f_{yd}} = \frac{95,61}{3750} = 0,025 \text{ m}^2 = 25,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

##### 2 Dirección circunferencial

Para estudiar las tensiones de tracción que se producen en la dirección circunferencial aplicamos la expresión debida a Schlee, que define las tensiones de tracción en el borde de la sección:

$$Z_y = 0,09 \times \left[ 1 - 0,9 \times \left( \frac{a}{d} \right)^2 \right] \times N_d$$

donde:

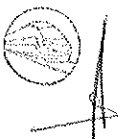
$$N_d = \text{fuerza de los gatos mayorada} = 1,25 \cdot 2 \cdot 287,05 = 717,63 \text{ t}$$

$$a = \text{ancho de la zapata de contacto} = 1,0 \text{ m}$$

$$d = \text{separación entre gatos} = \pi \times 9,52/19 = 1,57 \text{ m}$$

Con estos valores, resulta:

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



$$Z_y = 0,09 \times \left[ 1 - 0,9 \times \left( \frac{a}{d} \right)^2 \right] \times N_d = 0,09 \times \left[ 1 - 0,9 \times \left( \frac{1,0}{1,57} \right)^2 \right] \times 717,63 = 41,13 t$$

Este esfuerzo de tracción se desarrolla en una superficie estimada de "a x a/2" siendo "a" el canto de la dovela.

Por tanto, la tensión resultante es:

$$\sigma = \frac{Z_y}{a \times \frac{a}{2}} = \frac{41,13}{0,32 \times \frac{0,32}{2}} = 803,26 t/m^2 > f_{ct,d} = 163,73 t/m^2$$

Por lo tanto es necesario disponer armadura de refuerzo:

$$A > \frac{T_{ad}}{f_{yd}} = \frac{41,13}{3750} = 0,01076 m^2 = 10,76 cm^2$$

#### 1.3.2.1.3 EFECTO SPALLING

Las fuerzas de rotura que se producen debido a que la carga radial en las juntas actúa en una sección menor son:

$$Z_x = 0,015 \times P = 0,015 \times 717,63 = 10,76 t$$

$$Z_y = 0,010 \times P = 0,010 \times 717,63 = 7,18 t$$

donde: P es la fuerza transmitida por cada pareja de gatos mayorada: P = 717,13 t

Estas fuerzas corresponden a la proyección de una fuerza "Z" perpendicular a la línea de rotura:

$$Z = (10,76 + 7,18) \times \cos 45 = 12,69 t$$

La superficie de apoyo de los gatos en dirección del canto circunferencial de la dovela es:

$$320 - 36 - 85 = 199 \text{ mm}$$

La superficie de rotura debido a este esfuerzo es:

$$b = \frac{\left( \frac{0,32}{2} - \frac{0,199}{2} \right)}{\cos 45} = 0,086 cm^2$$

La tensión resultante es:

$$\sigma = \frac{Z}{b} = \frac{12,69}{0,086} = 148,27 t/m^2 < f_{ct,d} = 163,73 t/m^2 \Rightarrow \text{No es necesaria la armadura de refuerzo}$$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN CASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL





#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

##### 1.3.2.2 Altura de tierras hasta 28,75 m (HA-45)

002204

##### 1.3.2.2.1 TENSION MEDIA EN EL ANILLO

El empuje medio que se produce en las juntas circunferenciales es igual a:

$$E = \gamma_{Empuje} \cdot \frac{n \times F}{\text{perimetro medio}} = 1,25 \cdot \frac{38 \times 287}{\pi \times (9,20 + 0,32)} = 455,7 \text{ t/m}$$

La tensión que se produce en la junta circunferencial, teniendo en cuenta que la superficie eficaz de contacto es de 0,199 m (juntas de 3,6 y 8,5 cm), es:

$$\sigma = \frac{E}{t} = \frac{455,7}{0,199} = 2290,92 \text{ t/m}^2 < 0,85 \times f_{cd} = 2600,28 \text{ t/m}^2$$

Siendo:

t = canto efectivo de apoyo de los gatos

##### 1.3.2.2.2 EFECTO BURSTING

Las cargas concentradas distribuidas sobre superficies relativamente pequeñas, o las fuerzas que actúan exteriormente a las estructuras, dan lugar a presiones que se expanden en el cuerpo de la estructura generando tensiones de compresión y de tracción transversales a la dirección de la fuerza hasta que a una determinada profundidad se alcanza una distribución uniforme, lineal o superficial.

En las estructuras de hormigón es necesario prestar atención a las tensiones de tracción transversales a la dirección de la fuerza, las denominadas tensiones de fractura por tracción (bursting stresses) y de las cuales se determinan los esfuerzos de hendiduras resultantes por tracción o fuerzas de hendidura. Estas deben ser absorbidas por armaduras.

##### 1 Dirección radial

La superficie de contacto de la dovela es de 1000 x 350 mm. Si consideramos una excentricidad del gato de 25 mm, y suponiendo que la superficie de contacto es un 80% del canto de la dovela:

$$a_1 = 0,199/2 - 0,025 = 0,149 \text{ m}$$

$$a = 0,199/2 - 0,025 + 0,085 = 0,319 \text{ cm}$$

$$N_d = 2 \cdot 1,25 \cdot 287,05 = 717,63 \text{ t/m}$$

La tensión de tracción máxima que se produce debido a Leonhardt es:

$$\sigma_y = 0,22 \cdot \sigma_x, \text{ para } a/a_1 = 0,319/0,149 = 2,14$$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



*[Handwritten signature]*





#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

Resulta, entonces:

002205

$$\sigma_x = N_d / a = 717,63 / 0,319 = 2249,61 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_y = 0,22 \times 2249,61 = 494,94 \text{ t/m}^2 > f_{ct,d} = 180,61 \text{ t/m}^2$$

Puesto que la tracción es mayor que la resistencia a tracción minorada del hormigón, será necesario disponer de la armadura de refuerzo definida por:

$$T_d = 0,25 \times N_d \times \left( \frac{a - a_1}{a} \right) = 0,25 \times 717,63 \times \left( \frac{0,319 - 0,149}{0,319} \right) = 95,61 \text{ t}$$

$$A > \frac{T}{f_{yd}} = \frac{95,61}{3750} = 0,0025 \text{ m}^2 = 25,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

#### 2 Dirección circunferencial

Para estudiar las tensiones de tracción que se producen en la dirección circunferencial aplicamos la expresión debida a Schlee, que define las tensiones de tracción en el borde de la sección:

$$Z_y = 0,09 \times \left[ 1 - 0,9 \times \left( \frac{a}{d} \right)^2 \right] \times N_d$$

donde:

$N_d$  = fuerza de los gatos mayorada =  $1,25 \cdot 2 \cdot 287,05 = 717,63 \text{ t}$

$a$  = ancho de la zapata de contacto =  $1,0 \text{ m}$

$d$  = separación entre gatos =  $\pi \times 9,52/19 = 1,57 \text{ m}$

Con estos valores, resulta:

$$Z_y = 0,09 \times \left[ 1 - 0,9 \times \left( \frac{1,0}{1,57} \right)^2 \right] \times N_d = 0,09 \times \left[ 1 - 0,9 \times \left( \frac{1,0}{1,57} \right)^2 \right] \times 717,63 = 41,13 \text{ t}$$

Este esfuerzo de tracción se desarrolla en una superficie estimada de " $a \times a/2$ " siendo " $a$ " el canto de la dovela.

Por tanto, la tensión resultante es:

$$\sigma = \frac{Z_y}{a \times \frac{a}{2}} = \frac{41,13}{0,32 \times \frac{0,32}{2}} = 803,26 \text{ t/m}^2 > f_{ct,d} = 180,61 \text{ t/m}^2$$

Por lo tanto es necesario disponer armadura de refuerzo:

$$A > \frac{T_{ad}}{f_{yd}} = \frac{41,13}{3750} = 0,001076 \text{ m}^2 = 10,76 \text{ cm}^2$$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



*[Handwritten signature]*



#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

##### 1.3.2.2.3 EFECTO SPALLING

002206

Las fuerzas de rotura que se producen debido a que la carga radial en las juntas actúa en una sección menor son:

$$Z_x = 0,015 \times P = 0,015 \times 717,63 = 10,76 \text{ t}$$

$$Z_y = 0,010 \times P = 0,010 \times 717,63 = 7,18 \text{ t}$$

donde: P es la fuerza transmitida por cada pareja de gatos mayorada:  $P = 717,13 \text{ t}$

Estas fuerzas corresponden a la proyección de una fuerza "Z" perpendicular a la línea de rotura:

$$Z = (10,76 + 7,18) \times \cos 45 = 12,69 \text{ t}$$

La superficie de apoyo de los gatos en dirección del canto circunferencial de la dovela es:

$$320 - 36 - 85 = 199 \text{ mm}$$

La superficie de rotura debido a este esfuerzo es:

$$b = \frac{\left( \frac{0,32}{2} - \frac{0,199}{2} \right)}{\cos 45} = 0,086 \text{ cm}^2$$

La tensión resultante es:

$$\sigma = \frac{Z}{b} = \frac{12,69}{0,086} = 148,27 \text{ t/m}^2 < f_{ct,d} = 180,61 \text{ t/m}^2 \Rightarrow \text{No es necesaria la armadura de refuerzo}$$

##### 1.3.3 Desencofrado de las dovelas

Cuando se procede al hormigonado de la dovela, ésta se realiza mediante el vertido de hormigón en los moldes metálicos posteriormente a la colocación de la jaula de armaduras. A continuación se realiza el curado de la misma y una vez que termina el proceso de curado, la resistencia mínima que debe alcanzar la dovela será de  $20 \text{ N/mm}^2$ .

Una vez terminado el proceso de curado, se traslada la dovela mediante un sistema de izado con pinza automática, que agarra la dovela por las caras circunferenciales y se traslada al lugar de acopio.

$$\text{Peso propio: } \gamma_c = 2,50 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Canto de la dovela: } e = 0,32 \text{ m}$$

$$\text{Ancho dovela: } b = 1,80 \text{ m}$$

$$\text{Ángulo de abertura} = \alpha = 56,84^\circ$$

$$\text{Radio medio: } R_{med} = 9,20/2 + 0,32/2 = 4,76 \text{ m}$$

La longitud media de la dovela en proyección horizontal es:

$$L = 2 \times R_{med} \times \sin(\alpha / 2) = 2 \times 4,76 \times \sin(56,84 / 2) = 4,72 \text{ m}$$

##### 1.3.3.1 Estado Límite Último de Flexión

El momento flector máximo para dimensionar la armadura es:





#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

$$M = q \times \frac{L}{2} \times \frac{L}{4} = 1,36 \times \frac{4,72}{2} \times \frac{4,72}{4} = 3,79 \text{ m}\cdot\text{t}$$

Siendo  $q$  la carga debida al peso propio de la dovela, es decir:

$$q = 2,50 \times 1,70 \times 0,32 = 1,36 \text{ t/m}$$

$$L = 4,72 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_d = 2,5 \times 3,79 = 9,47 \text{ m}\cdot\text{t} \Rightarrow A_s = 8,77 \text{ cm}^2$$

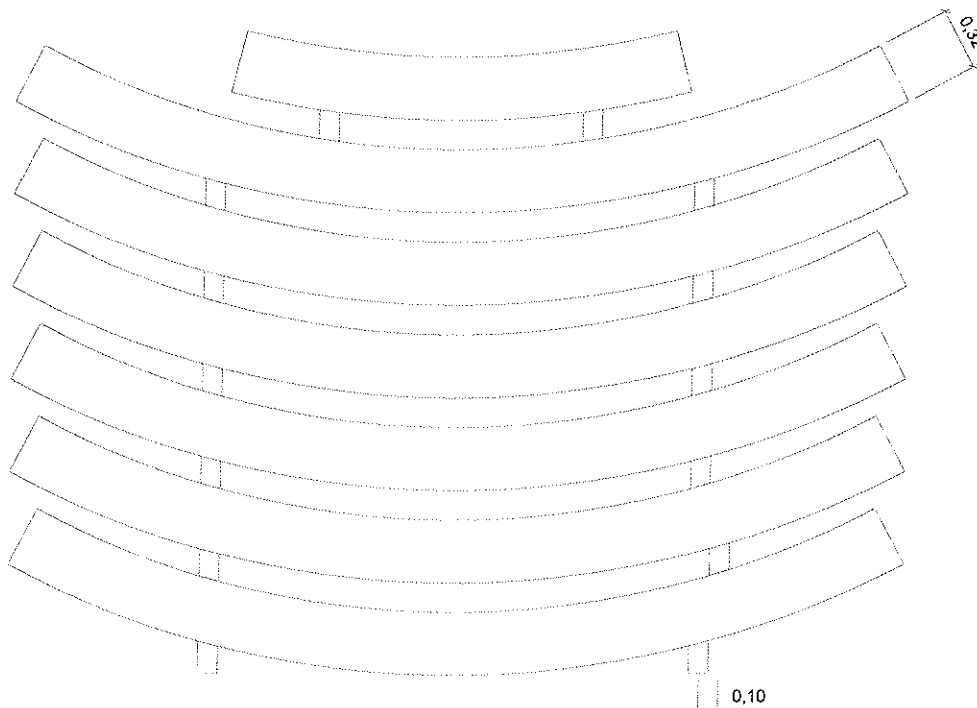
#### 1.3.3.2 Estado Límite Último de Cortante

Respecto a la armadura de cortante, el máximo esfuerzo de cortante mayorado que se produce es:

$$V_d = 2,5 \times q \times \frac{L}{2} = 2,5 \times 1,36 \times \frac{4,72}{2} = 8,02 \text{ t} \Rightarrow \text{No hace falta armadura de cortante}$$

#### 1.3.4 Almacenamiento de las dovelas

Se considera que tanto en factoría como en obra, se almacenan todas las dovelas de un anillo. Se considera una excentricidad del apoyo sobre la dovela de base de 0,10 m.



El peso de la dovela que apoya sobre el terreno es:

$$P_1 = 2,5 \times 4,72 \times 1,7 \times 0,32 = 6,42 \text{ t}$$

El peso de las otras cinco dovelas será:

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASADE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



Paq



#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

$$P_5 = 32,10 \text{ t}$$

El peso de la dovela de cierre es:

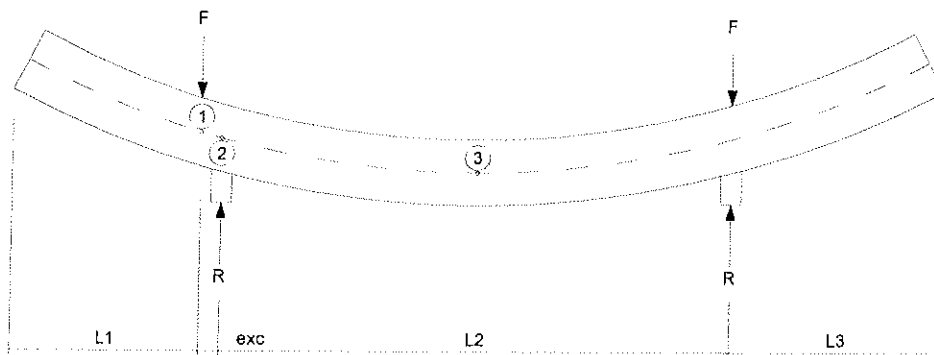
$$P_c = 2,5 \times 1,58 \times 1,7 \times 0,32 = 2,14 \text{ t}$$

Luego el peso total será:

$$P_5 + P_b = 34,25 \text{ t}$$

La separación entre dovelas y la dovela que apoya directamente sobre el terreno se hace mediante tacos de madera.

La fuerza que apoya sobre la dovela situada sobre el terreno es:



$$2 \times F = P_5 + P_c, \text{ por lo tanto } F = 17,13 \text{ t}$$

La reacción en los apoyos será :

$$2 \times R = P_1 + P_6 + P_c, \text{ por lo tanto, } R = 20,34 \text{ t}$$

La sobrecarga en la dovela situada sobre el suelo, debido a su peso propio es:

$$q = 2,5 \times 1,7 \times 0,32 = 1,36 \text{ t/m}$$

##### 1.3.4.1 Estado Límite Último de Flexión

Los momentos flectores resultantes en los puntos 1, 2 y 3 de la figura anterior son los siguientes:

$$M_{1D} = \gamma_G \cdot q \cdot \frac{L_1^2}{2} = 0,97 \text{ m}\cdot\text{t}$$

$$M_{2D} = \gamma_G \cdot \left( q \cdot \frac{(L_1 + exc)^2}{2} + F \cdot exc \right) = 3,57 \text{ m}\cdot\text{t}$$

$$M_{3D} = \gamma_G \cdot \left( q \cdot \frac{\left( L_1 + exc + \frac{L_2}{2} \right)^2}{2} + F \cdot \left( exc + \frac{L_2}{2} \right) - R \cdot \frac{L_2}{2} \right) = 2,09 \text{ m}\cdot\text{t}$$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO RIAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

002209

Las longitudes del modelo son:

$$L_1 = 0,91 \text{ m}$$

$$L_2 = 2,50 \text{ m}$$

$$L_3 = 1,11 \text{ m}$$

Suponemos que cuando se comienza el apilamiento de dovelas, éstas ya han alcanzado el valor mínimo de resistencia permitido, es decir  $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$ .

Por lo tanto:

$$M_d = 3,57 \text{ m}\cdot\text{t} \Rightarrow A_s = 3,25 \text{ cm}^2$$

##### 1.3.4.2 Estado Límite Último de Cortante

El esfuerzo de cortante máximo será:

$$V_d = 1,40 \times (1,36 \times (0,91 + 0,10) + 17,13) = 25,90 \text{ t} \Rightarrow \text{No hace falta armadura de cortante}$$

##### 1.3.5 Conclusiones

###### 1.3.5.1 Altura de tierras hasta 26,0 m (HA-40)

Los resultados de los esfuerzos obtenidos por dovela en el dimensionamiento, son los siguientes:

OPERACIÓN	DIRECCIÓN	$N_D$ (t)	$M_D$ (m·t)	$A_{s1}$ (cm <sup>2</sup> )
SERVICIO. HIP 1	RADIAL	490,29	13,00	13,75
SERVICIO. HIP 2	RADIAL	833,49	13,00	13,75
DEENCOFRADO	RADIAL	0,00	9,48	8,77
ALMACENAMIENTO	RADIAL	0,00	3,57	3,25
MÍNIMA	RADIAL	0,00	13,65	12,54

###### 1.3.5.2 Altura de tierras hasta 28,75 m (HA-45)

Los resultados de los esfuerzos obtenidos por dovela en el dimensionamiento, son los siguientes:

OPERACIÓN	DIRECCIÓN	$N_D$ (t)	$M_D$ (m·t)	$A_{s1}$ (cm <sup>2</sup> )
SERVICIO. HIP 1	RADIAL	542,08	14,37	13,75
SERVICIO. HIP 2	RADIAL	833,49	14,37	13,75
DEENCOFRADO	RADIAL	0,00	9,48	8,77
ALMACENAMIENTO	RADIAL	0,00	3,57	3,25
MÍNIMA	RADIAL	0,00	13,65	12,54

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

##### 1.3.5.3 Propuesta de armado

La armadura dispuesta en las dovelas se calcula para absorber los esfuerzos que producen durante el manejo de las mismas, así como por las acciones del terreno, es decir, se han tenido en cuenta todas las acciones posibles que pueden actuar sobre ellas.

Por lo tanto la armadura a disponer será:

Armaduras principales de la dovela:

- Armadura longitudinal: 12 barras  $\phi 12$  en cada una de las caras (separadas 0,15 m)
- Armadura transversal: 32 barras  $\phi 8$  en cada una de las caras (separadas 0,15 m)

Del estudio individualizado de los efectos "bursting" y "spalling" se deduce que es necesario colocar:

Armadura en juntas longitudinales (entre dovelas):

- Normales al canto de la dovela: 12 barras  $\phi 16$  (separadas 0,15 m)
- En dirección longitudinal: 2 barras  $\phi 10$

Armadura en juntas radiales (entre anillos, sólo en el lado de apoyo de los gatos):

- Normales al canto de la dovela: 32 cercos  $\phi 16$  (separados 0,15 m)
- En dirección radial: 2 capas de 3 barras  $\phi 10$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



**2 DISEÑO DEL REVESTIMIENTO (MÉTODOS CONVENCIONALES)**

002211

**2.1 GENERALIDADES**

En este punto se aborda el diseño del revestimiento para el túnel de línea, los túneles de conexión entre los pozos laterales y el túnel de línea, el túnel de conexión con los talleres y la caverna de la tercera, así como de las cavernas de las estaciones, que se ejecutan en mina empleando métodos convencionales.

El revestimiento se construirá en dos etapas. El revestimiento primario que estará constituido, básicamente, por hormigón proyectado y cerchas y el definitivo constituido por hormigón armado convencional.

En los siguientes apartados se describe y justifica el diseño planteado, cuyo resultado se presenta en los Planos, al final de este Punto A.6.4.

**2.2 REVESTIMIENTO PRIMARIO**

**2.2.1 Pre-dimensionamiento inicial revestimiento primario**

El punto de partida del diseño ha sido la solución propuesta en el Estudio de Proinversión a Nivel de Factibilidad del Proyecto (en adelante, Estudio de Factibilidad), en concreto la geometría del túnel y el empleo de capas sucesivas de hormigón proyectado con fibras de acero junto con cerchas reticuladas.

A partir de un pre-diseño inicial, se ha comprobado la capacidad estructural del revestimiento primario para las situaciones más desfavorable en cuanto a las características geotécnicas del terreno y en cuanto al recubrimiento.

La comprobación de la capacidad estructural se ha realizado por métodos numéricos, en concreto elementos finitos por medio de la aplicación comercial PHASE<sup>2</sup> de Rocdata.

**2.2.2 Secciones tipo de revestimiento primario para el Túnel de Línea y conexiones**

Tras un proceso iterativo, se han planteado tres secciones tipo de revestimiento primario para el túnel de línea, además del tramo con tercera vía, que se presentan en la *Tabla 4 Secciones Tipo de Revestimiento Primario del túnel de línea*.

**Tabla 1: Secciones Tipo de Revestimiento Primario del túnel de línea**

SECCIÓN TIPO	TIPO DE TERRENO	HORMIGÓN PROYECTADO (cm)	CERCHAS Tipo Espaciamiento (m)	LONGITUD DE PASE (m)	CONTRABÓVEDA (*)
A		5,0 + 15,0	TE-70 De 1,0 m a 2,0 m	De 1,0 a 2,0	NO
B (**)	Conglomerado de Lima	5,0 + 20,0	TE-130 A 1,0	1,0	NO
C		5,0 + 20,0	TE-130 A 1,0	1,0	SI
TERCERA VÍA		10,0 + 20,0	TE-130 A 1,0 m	1,0	SI

NOTAS:

(\*) Se refiere a la necesidad de contrabóveda en el revestimiento primario, en el definitivo las tres secciones tipo tienen contrabóveda.

(\*\*) Para los túneles de conexión entre los pozos laterales y el túnel de línea y para las conexiones con los talleres se utiliza la sección de revestimiento primario B.

(\*\*\*) Antes del inicio de la excavación de todos los túneles y cavernas, se ejecutará un paraguas de micropilotes de 152 mm de diámetro con tubería de acero N80,  $\phi 106$  mm x 7 mm y 12 m de longitud.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABL GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



## A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

El criterio de aplicación de cada una de las secciones es en función de las características geotécnicas del terreno que se observen en el frente de excavación en cada pase, en concreto de la densidad relativa/velocidad de transmisión de las ondas sísmicas tipo P. 002212

De acuerdo a los estudios geotécnicos, el Conglomerado de Lima, se puede dividir en dos, por un lado, en el que las ondas P se transmiten a una velocidad media de 1500 m/s y que se denominan "GP-S f" y por otro lado, en el que las ondas P se transmiten a una velocidad media de 750 m/s y que se denominan "GP-S s".

El criterio de aplicación sería el siguiente:

- **Sección Tipo A:** Se aplicará si la totalidad del frente de excavación está constituido por las gravas denominadas "GP-S f", es decir, las de densidad relativa muy elevada ( $V_p \geq 1500$  m/s).
- **Sección Tipo B:** Se aplicará si parte del frente de excavación presenta las gravas denominadas "GP-S s", es decir, las de menor densidad relativa ( $V_p < 1500$  m/s).
- **Sección Tipo C:** Se aplicará si la totalidad de la sección presenta las gravas denominadas "GP-S s", es decir, las de menor densidad relativa ( $V_p < 1500$  m/s).

### 2.2.3 Secciones tipo de revestimiento primario para las cavernas (Tercera Vía y Estación)

Del mismo modo que para el túnel de línea, tras un proceso iterativo, se han planteado las secciones tipo de revestimiento primario para las cavernas de la estación y tercera vía que se presentan en la *Tabla 2 Secciones Tipo de Revestimiento Primario de las cavernas*.

**Tabla 2: Secciones Tipo de Revestimiento Primario de la caverna**

SECCIÓN TIPO	TIPO DE TERRENO	HORMIGÓN PROYECTADO (*) (cm)	CERCHAS Tipo Espaciamiento (m)	LONGITUD DE PASE (m)	PARAGUAS DE MICROPILOTES (**)
Túnel de Conexión	Conglomerado de Lima	10,0 + 30,0	TE-130	1,0	En toda la longitud
Estación			A 1,0		
Caverna eje		10,0 + 20,0	TE-130	1,0	12 m iniciales
Estación			A 1,0		
Túneles laterales	5,0 + 20,0	TE-130	1,0	12 m iniciales	
Estación		A 1,0			
Tercera vía		10,0 + 20,0	TE-130 A 1,0 m	1,0	12 m iniciales

#### NOTAS:

(\*)En la zona de intersección de la caverna del eje estación con los túneles laterales se reforzará el sostenimiento y el revestimiento de la caverna del eje estación, en una distancia igual a la del ancho del túnel lateral. El refuerzo en el sostenimiento consistirá en colocar cerchas cada 0,5 m y aumentar en 10 cm la segunda capa de hormigón, pasando a 30 cm y en el revestimiento se aumentará en 10 cm el espesor del hormigón armado, pasando a 50 cm en bóveda y contrabóveda y a 60 cm en la unión de la bóveda y la contrabóveda. Se mantendrá la cuantía del acero.

(\*\*)Antes del inicio de la excavación de todos los túneles y cavernas, se ejecutará un paraguas de micropilotes de 152 mm de diámetro con tubería de acero N80,  $\phi 106$  mm x 7 mm y 12 m de longitud.



2.2.4 **Comprobaciones Numéricas**

002213

Mediante análisis numérico se realizan las comprobaciones correspondientes a la sección de sostenimiento tipo A, la sección de sostenimiento tipo C y que sirven para confirmar la sección tipo B, puesto que es una mezcla de ambas (La contrabóveda de la sección tipo B es igual a la sección tipo A y la bóveda de las sección tipo B es igual a la de la sección tipo C). También se comprueba la sección correspondiente al avance de la caverna del eje de estación, que es la de mayores dimensiones.

En la comprobación de cada sección tipo de sostenimiento se tiene en cuenta el recubrimiento correspondiente al tipo de terreno, de acuerdo al perfil geotécnico interpretado.


El análisis tenso-deformacional se ha realizado utilizando la aplicación informática FLAC3D de Itasca, que emplea el método de las diferencias finitas y permite analizar un modelo de tres dimensiones. Para este análisis se ha contado con la participación de la oficina de Itasca en España (ITASCA Consultores SL) que ha realizado la modelización y el análisis bajo la dirección y supervisión de AYESA-EUROESTUDIOS.

Los resultados obtenidos, así como una memoria explicativa, se incluyen el *Apéndice I. Modelización numérica (FLAC3D) para la comprobación de las secciones tipo de revestimiento primario del Metro de Lima*, incluida la sección en caverna y donde se puede comprobar que los resultados obtenidos son los que se presentan en la *Tabla 3, 4 y 5*.

**Tabla 3: Sección tipo A. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo**

			Máximo	Observaciones
Fase Final	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	10.5	Localizados sobre clave
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	10.3	Localizados en el hastial de destroza
		Desp. Vertical en superficie (mm)	4.1	Máximo sobre clave
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	2.7	Máximo a 13 m del eje del túnel
		Plastificación	1-1.5 m	Alrededor de la excavación
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5	Las tracciones son nulas en prácticamente toda la sección
		Compresiones (MPa)	3.25	Máximos puntuales en la unión bóveda+solera provisional en avance
		Semiconvergencia Horiz medible (mm)	8	Máximo localizado en la unión hastial-contrabóveda
		Bajada de clave medible (mm)	8	En la bóveda máximos de 2.6 MPa
	Cerchas TE-70	Axil (T)	13.7	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
		Factor (m*T)	0.04	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
				En diagrama de Interacción, con valores concomitantes, se obtiene un FS=3.18

**Tabla 4: Sección tipo C. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 



			Máximo		Observaciones
Fase Final	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	29.7		Localizados sobre clave
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	39.9		Localizados en el hastial de destroza
		Desp. Vertical en superficie (mm)	16.0		Máximo sobre clave
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	7.4		Máximo a 17 m del eje del túnel
		Plastificación	1-1.5 m		Alrededor de la excavación
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5		Las tracciones son nulas en prácticamente toda la sección. Máximos puntuales (0.7 MPa) en la unión hastial-contrabóveda
		Compresiones (MPa)	5.8		Máximo localizado en la unión hastial-contrabóveda. En la bóveda máximos de 3.7 MPa
		Semiconvergencia Horiz medible (mm)	25		Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
		Bajada de clave medible (mm)	15		Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
	Cerchas TE-130	Axil (T)	19.2		Estos valores corresponden a los máximos, no tienen porque ser concomitantes
Flector (m <sup>2</sup> T)		0.26		En diagrama de Interacción, con valores concomitantes, se obtiene un FS=2.13	
Factor de seguridad del frente			1.25		Se considera una fase intermedia con el pase de avance abierto (1 m)

002214

Tabla 5: Sección caverna eje estación. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo

			Máximo	Figura N°	Observaciones
Fase Final Avance	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	35.7	3.4.1/3.4.4	Localizados sobre clave
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	11.3	3.4.2/3.4.5	Localizados sobre el hombro de la bóveda
		Desp. Vertical en superficie (mm)	12.2	3.4.4	Descenso bastante homogéneo de todo el terreno sobre la bóveda. Parece indicar un cierto hincamiento de la bóveda en el terreno
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	6.6	3.4.5	Máximo a 24 m del eje del túnel
		Plastificación	1.5 m	3.4.7/3.4.8	Sobre clave. 5 m bajo la sofera del avance
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.03	3.4.14/3.4.15	Las tracciones son nulas en prácticamente toda la sección. Máximos puntuales cara interior del hombro
		Compresiones (MPa)	4.9	3.4.12/3.4.13	Máximo localizado en la base de la bóveda. En la bóveda máximos de 3.8 MPa
		Semiconvergencia Horiz medible (mm)	6.9	3.4.11	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
		Bajada de clave medible (mm)	23.5	3.4.10	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
	Cerchas TL-130	Axil (T)	25.6	3.4.16/3.4.17	Estos valores corresponden a los máximos, no tienen porque ser concomitantes
Flector (m <sup>2</sup> T)		0.16	3.4.18/3.4.19	En diagrama de Interacción, con valores concomitantes, se obtiene un FS=1.60	
Factor de seguridad del frente			1.4	3.4.21/3.4.22	Se considera una fase intermedia con el pase de avance abierto (1 m)

### 2.2.5 Estabilidad del Frente

La estabilidad del frente depende de la capacidad del núcleo de terreno que se encuentra por delante del avance, para soportar la redistribución de tensiones, debido a la propia excavación del túnel y que las deformaciones que se produzcan estén dentro de niveles admisibles.

Se ha comprobado la estabilidad del frente en aquellas secciones de mayor superficie, como es el avance de la excavación de la caverna del eje de estación.

La comprobación se ha realizado por métodos numéricos mediante la utilización de la aplicación comercial FLAC3D y cuyo resultado se encuentra en el Apéndice I. Modelización numérica (FLAC3D) para la comprobación de las secciones tipo de revestimiento primario del Metro de Lima.

Tal y como se puede comprobar en dicho documento, el frente es estable incluso en las etapas con mayor superficie de excavación. No obstante se ha determinado que el núcleo del frente plastifica, pudiéndose producir alguna inestabilidad. Para evitar esto y como medida de seguridad adicional, se ha comprobado la bondad de excavar el frente dejando un machón central.

Puesto que la excavación es mecánica, en la práctica totalidad del trazado y la excavación con machón central no supone ningún perjuicio al ciclo, en cuanto a incrementos de coste o tiempo de ejecución; se utilizará la técnica del machón central en todas las excavaciones en



mina, puesto que aunque no es estrictamente necesario, incrementa la estabilidad del frente y por tanto la seguridad de los trabajadores sin ningún tipo de coste adicional. 002215

En cuanto a la necesidad de utilizar paraguas de pre-sostenimiento, se ha comprobado que no son necesarios sistemáticamente, pudiendo ser necesarios de forma ocasional en caso de afectar una zona con características geotécnicas particularmente bajas.

No obstante, en todos los arranques de los túneles o cavernas planteados a ejecutar en mina, ya sea desde un recinto entre pantallas u otro túnel o caverna, se ejecutará un paraguas de micropilotes para el pre-sostenimiento de la bóveda del túnel o caverna antes del inicio de la excavación.

### 2.2.6 Tratamientos Especiales

Se conciben los tratamientos especiales, como aquellos elementos, técnicas o procesos constructivos que pueden aplicarse de manera ocasional y no de forma sistemática en zonas donde las características geotécnicas sean particularmente bajas.

A continuación se describen los tratamientos especiales adecuados a las características geotécnicas del terreno afectado:

**Hormigón proyectado en el frente:** En ocasiones, puede ser necesario proceder al gunitado del frente. El grosor de la capa de hormigón proyectado puede ser del orden de 3-5 cm. La proyección deberá realizarse a la vez que la capa de sellado, pudiendo ser necesario proceder por fases sucesivas (protección de cada parte excavada). El hormigón proyectado estará reforzado con fibras y se dispondrán los drenes correspondientes.

**Paraguas pesado:** En caso de que el terreno presente condiciones muy desfavorables, puede ser necesario disponer paraguas de micropilotes en el avance, para favorecer la estabilidad de la bóveda del túnel.

## 2.3 REVESTIMIENTO DEFINITIVO

### 2.3.1 Bases de diseño

Para garantizar la estabilidad del túnel de línea a largo plazo, así como de las diferentes cavernas a ejecutar, el diseño incluye la construcción de un anillo de hormigón armado, aislado del soporte primario mediante una lámina de impermeabilización y una lámina de geotextil.

El revestimiento definitivo se ha dimensionado sin tener en cuenta el revestimiento primario y teniendo en cuenta las siguientes acciones:

- Carga estática del terreno a largo plazo
- Carga sísmica.

La carga estática del terreno no tiene en cuenta ninguna deformación previa del terreno y por tanto, de relajación de tensiones, por lo que el revestimiento definitivo se dimensiona para soportar la totalidad de las cargas del terreno.

En cuanto a la carga sísmica, teniendo en cuenta la Norma Sísmica Peruana y el Estudio de Factibilidad y se ha realizado un análisis sísmico utilizando el método denominado "Free-Field Deformation Approach" [Wang, 1993, Hashash et al., 2001, Bobet, 2003] específico para el diseño de obras subterráneas y que se basa en la determinación de las cargas aplicadas a la estructura subterránea debidas a las deformaciones y tensiones impuestas a la misma por su interacción con el terreno circundante afectado por la acción sísmica. Expresado de otro modo, se basa en el cálculo de los desplazamientos del terreno debido a la acción sísmica y su efecto sobre las estructuras subterráneas.

A partir de las cargas obtenidas se dimensiona el revestimiento definitivo y se comprueba que es capaz de soportar los esfuerzos a los que va a ser sometido.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



**2.3.2 Esfuerzos sobre el revestimiento definitivo**

002216

La determinación de los esfuerzos sobre el revestimiento, se ha realizado en primer lugar, por métodos analíticos y en segundo lugar por métodos numéricos, tanto para la carga del terreno como para la acción sísmica.

Para la obtención de los esfuerzos por métodos analíticos, se utiliza el método de la rigidez relativa (Bobet, 2001). En este método se asume, entre otras simplificaciones, que el terreno es perfectamente elástico y la sección del túnel es circular. En el Apéndice II *Obtención de los esfuerzos en el revestimiento por métodos analíticos*, se describe la formulación analítica, los valores de los parámetros que intervienen y los resultados obtenidos.

Los valores obtenidos mediante el método analítico, en el caso del túnel de sección circular excavado con TBM, serían suficientes pues como se ha indicado anteriormente, el resultado es válido para túneles con sección circular.

Para obtener los valores de los esfuerzos en secciones cuya geometría sea diferente a la circular se realiza un análisis por métodos numéricos, utilizando la aplicación PHASE2, de la siguiente manera:

Una vez determinados los esfuerzos por métodos analíticos, se calibra el modelo numérico para obtener los mismos resultados en una sección circular similar a la considerada analíticamente. Finalmente, en el modelo calibrado se analiza la sección geométrica correspondiente al túnel de línea, galería o caverna objeto de estudio, obteniéndose los esfuerzos correspondientes y que sirven para el diseño del revestimiento.

En el Apéndice II. *Obtención de los Esfuerzos en el Revestimiento por Métodos Analíticos* y en el Apéndice III. *Modelización Numérica (Phase2d) para la Obtención de Los Esfuerzos en el Revestimiento Definitivo* se presentan los resultados obtenidos y que han servido para el dimensionamiento del revestimiento.

**2.3.3 Dimensiones revestimiento definitivo**

Con los resultados obtenidos se determina el espesor de hormigón HA-40 necesario, así como la cuantía de acero para el armado del mismo.

Para el caso del túnel de línea se han obtenido los espesores y cuantías que se presentan en la Tabla 6.

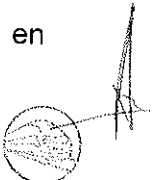
**Tabla 6: Espesor de hormigón y cuantía de armado del túnel de línea**

SECCIÓN	ESPESOR DE HORMIGÓN HA-40 (m)			CUANTÍA DE ACERO (kg/m <sup>3</sup> )		
	A	B	C	A	B	C
BOVEDA	0,30	0,30	0,30	100	100	70
CONTRABOVEDA	0,30	0,50	0,50	240	240	70
HASTIAL	0,50	0,30	0,50	95	95	95

Para el caso de las cavernas se han obtenido los espesores y cuantías que se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7: Espesor de hormigón y cuantía de armado de las cavernas**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



SECCIÓN	ESPESOR DE HORMIGÓN HA-40 (m)			CUANTÍA DE ACERO (kg/m <sup>3</sup> )		
	TÚNEL DE CONEXIÓN	EJE ESTACIÓN Y TERCERA VÍA	TÚNEL LATERAL	TÚNEL DE CONEXIÓN	CAVERNA EJE ESTACIÓN	TÚNEL LATERAL
BOVEDA	0,50	0,40	0,30	115	115	70
CONTRABOVEDA	0,50	0,50	0,50	102	102	70
HASTIAL	0,50	0,40	0,50	71	71	95

En el Apéndice IV. *Dimensionamiento Revestimiento Definitivo*, se presenta la justificación del dimensionamiento del hormigón y el acero.

En los Planos se incluyen los planos de detalle de cada una de las secciones definidas.

#### 2.4 IMPERMEABILIZACIÓN

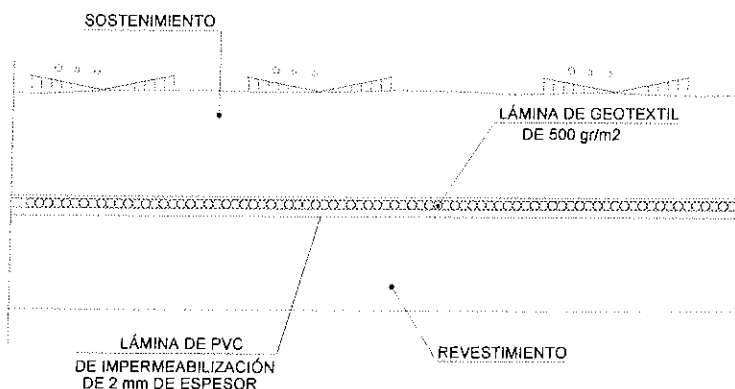
El sistema de impermeabilización en el túnel se ha planteado de manera que no se infiltre agua al interior del túnel, es decir, un túnel no drenante y que por tanto, se establezcan todas las medidas necesarias para que el túnel sea totalmente impermeable.


Los materiales por los que circula el túnel se consideran permeables desde un punto de vista hidrogeológico aunque presentan permeabilidades consideradas bajas (entre  $10^{-4}$  m/s y  $10^{-5}$  m/s según el Estudio de factibilidad).

Aunque en algún sondeo se ha detectado presencia de agua por encima de la cota del túnel, en general, el túnel de línea excavado por métodos convencionales discurre por encima del nivel freático, puesto que los materiales constituyen un acuífero libre en el que el nivel freático se encuentra muy por debajo de la cota del túnel, aunque no se descarta que durante la vida de la infraestructura pueda subir hasta la cota del túnel.

Por tanto, la impermeabilización del túnel se realiza colocando una lámina de PVC con un geotextil de protección en su trasdós, que se aplican en el paramento del revestimiento primario, quedando dispuestas en "Sandwich" entre el revestimiento primario y el revestimiento definitivo. Tanto la lámina como el geotextil rodean por completo la sección del túnel con el objetivo de impedir la entrada de agua al interior del mismo.

En el esquema siguiente se presenta la disposición de la lámina de impermeabilización y el geotextil:



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL 

## 2.5 MAQUINARIA PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO E IMPERMEABILIZACIÓN

Para la colocación de la lámina de impermeabilización y el geotextil, se utilizará un andamio móvil que garantice el acceso a cualquier punto del perímetro de la sección y proporcione la estabilidad necesaria para realizar los trabajos con eficacia. Además, se emplearán las herramientas necesarias para fijar y soldar la lámina y el geotextil.

Para los muros de arranque se emplearán módulos de encofrado metálico. El encofrado de la bóveda estará formado por una cimbra móvil o carro, y módulos de encofrado curvo metálico.

El carro estará diseñado para soportar la carga del hormigón fresco y tener el gálibo suficiente para permitir el paso de maquinaria. Circulará sobre carriles longitudinales apoyados en los muro-zapata.

Se dejarán unas ventanas en los elementos específicos del encofrado para bombear el hormigón y realizar el vibrado. Cada una de las aberturas tendrá un tape de cierre con bisagras.

Se hará especial hincapié en procurar una buena conservación y limpieza de este encofrado para contribuir al buen acabado del revestimiento definitivo del túnel.

El transporte del hormigón se realizará en cubas de hormigón convencionales. El número de camiones estará condicionado por la longitud del anillo de revestimiento definitivo, la distancia a la planta y conseguir una total continuidad en el proceso. Siempre estará preparada una cuba a pie de bomba cuando termine la anterior.

Se utilizará una bomba de hormigón con un rendimiento real que asegure el hormigonado de un anillo en el tiempo previsto. Preferentemente se utilizará una bomba especial para obras subterráneas. Como repuesto permanente habrá otra máquina de similares características dispuesta para su funcionamiento en caso de averiarse la que se esté utilizando. Se empleará también en el relleno de huecos o cavidades provocados por desprendimientos ocasionales.

Para el relleno del trasdós del revestimiento definitivo se empleará una bomba de inyección con la potencia y rendimiento suficientes para llenar sin problemas las cavidades que hubieran quedado entre el arco de hormigón de revestimiento y la superficie del sostenimiento de hormigón proyectado.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN CASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





A.6.4.	A) DISEÑO DE INGENIERÍA
Nº DOCUMENTO	TIPO DE DOCUMENTO

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

**A.6.4. MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS  
ESTRUCTURAS PERMANENTES.  
APÉNDICE 1. MODELIZACIÓN NUMÉRICA  
(FLAC3D) PARA LA COMPROBACIÓN DE LAS  
SECCIONES TIPO DE REVESTIMIENTO  
PRIMARIO DEL METRO DE LIMA**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DÍAZ GARCÍA  
REPRESENTANTE LEGAL



*MODELIZACIÓN NUMÉRICA PARA LA  
COMPROBACIÓN DE LAS SECCIONES TIPO DEL METRO DE LIMA*

Preparado para:  
EUROESTUDIOS

Preparado por: **Montse Senís**

**ITASCA CONSULTORES S.L.**

Parque Empresarial Asipo I  
c/ Secundino Roces, 1 – 1º Of. 11  
33428 Llanera (Asturias)

4 de Noviembre de 2013

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASARE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





**MODELIZACIÓN NUMÉRICA PARA LA  
COMPROBACIÓN DE LAS SECCIONES TIPO DEL METRO DE LIMA**

**ÍNDICE**

<b>1.0</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>2.0</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO .....</b>	<b>40</b>
2.1	SECCIÓN TIPO A: GEOMETRÍA.....	40
2.2	SECCIÓN TIPO A: GEOLOGÍA .....	43
2.3	SECCIÓN TIPO A: ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO .....	43
2.4	SECCIÓN TIPO A: SECUENCIA CONSTRUCTIVA .....	43
2.5	SECCIÓN TIPO B: GEOMETRÍA.....	46
2.6	SECCIÓN TIPO B: GEOLOGÍA .....	48
2.7	SECCIÓN TIPO B: ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO .....	49
2.8	SECCIÓN TIPO B: SECUENCIA CONSTRUCTIVA .....	49
2.9	SECCIÓN TIPO B2: GEOMETRÍA.....	52
2.10	SECCIÓN TIPO B: GEOLOGÍA .....	52
2.11	SECCIÓN TIPO B: ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO .....	53
2.12	SECCIÓN TIPO B: SECUENCIA CONSTRUCTIVA .....	53
2.13	SECCIÓN TIPO CAVERNA: GEOMETRÍA.....	54
2.14	SECCIÓN TIPO CAVERNA: GEOLOGÍA .....	56
2.15	SECCIÓN TIPO CAVERNA: ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO .....	57
2.16	SECCIÓN TIPO CAVERNA: SECUENCIA CONSTRUCTIVA .....	57
2.17	PROPIEDADES DE CÁLCULO DE LOS TERRENOS .....	58
2.18	PROPIEDADES DE CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO .....	59
2.19	METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD DEL FRENTE .....	61
<b>3.0</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>62</b>
3.1	SECCIÓN TIPO A .....	62
3.2	SECCIÓN TIPO B .....	74
3.3	SECCIÓN TIPO B2 .....	87
3.4	SECCIÓN TIPO CAVERNA .....	100
<b>4.0</b>	<b>RESUMEN.....</b>	<b>113</b>

## 1.0 INTRODUCCIÓN

Con objeto de validar el refuerzo propuesto para las secciones tipo A y B de los túneles de línea y de la sección tipo de caverna de estación, se ha llevado a cabo un estudio mediante modelización numérica con el programa de diferencias finitas *FLAC3D* de Itasca Consulting Group.

Se han puesto a punto modelos de cálculo que reproducen tanto la geometría del problema como la secuencia constructiva seguida, se cara a validar las diferentes propuestas.

La validez de las secciones tipo se ha analizado tanto en términos de deformaciones como de esfuerzos en los sostenimientos. Adicionalmente, en aquellas secciones excavadas en gravas sueltas, se ha determinado la estabilidad del frente de avance en términos de factor de seguridad.

A continuación se presenta una descripción de la metodología de trabajo seguida, los modelos de cálculo utilizados y se presentan los resultados obtenidos en las diferentes hipótesis.

## 2.0 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO

Se han analizado las siguientes secciones tipo e hipótesis:

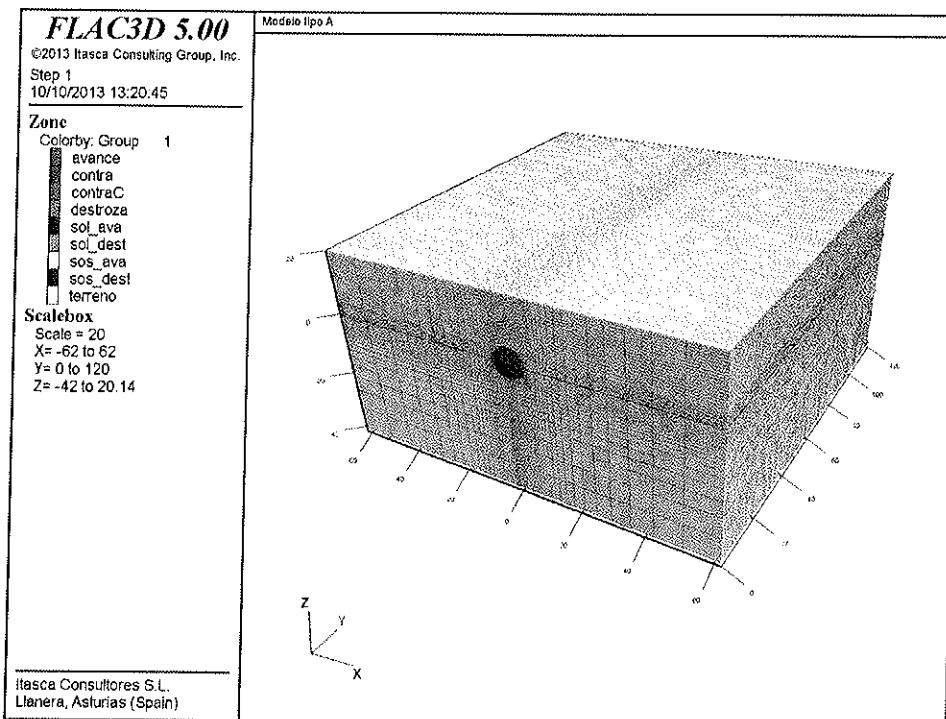
1. Sección tipo A: toda la sección se excava en conglomerado
2. Sección tipo B: toda la sección se excava en grava suelta
3. Sección tipo B2: la sección de avance se excava en grava suelta, y la destroza en conglomerado
4. Sección en caverna: se analiza sólo la excavación de la sección en avance, excavada en conglomerado, para evaluar su estabilidad al ser excavada a sección completa.

En los siguientes epígrafes se describen en detalle las características de los diferentes modelos de cálculo.

### 2.1 Sección tipo A: geometría

El modelo tiene unas dimensiones de 120 m en la dirección longitudinal del eje del túnel, 120 m en la dirección transversal y 60 m en la dirección vertical. La Figura 2.1-1 muestra una vista general del modelo de cálculo. Los contornos del modelo se han seleccionado lo suficientemente alejados de la zona de interés para minimizar su afección a la misma.

La clave del túnel se sitúa a una profundidad de 15 m. Se ha reproducido en la medida de lo posible la geometría del túnel, con una altura total de la sección de 9.47 m y una anchura de 10.24 m. El espesor de sostenimiento tiene un total de 20 cm, de los cuales 5 cm corresponden a una primera capa de sellado. La altura del avance es de 5.5 m, mientras que la de la destroza es de 2.5 m. El resto de sección corresponde a la contrabóveda. Tanto en avance como en destroza se incluyen soleras provisionales horizontales, de 20 cm de canto. Las Figuras 2.1-2 y 2.1-3 representan un alzado de la sección, con la geometría modelizada.



**Figura 2.1-1. Sección tipo A. Modelo de cálculo. Vista general.**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO RIAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



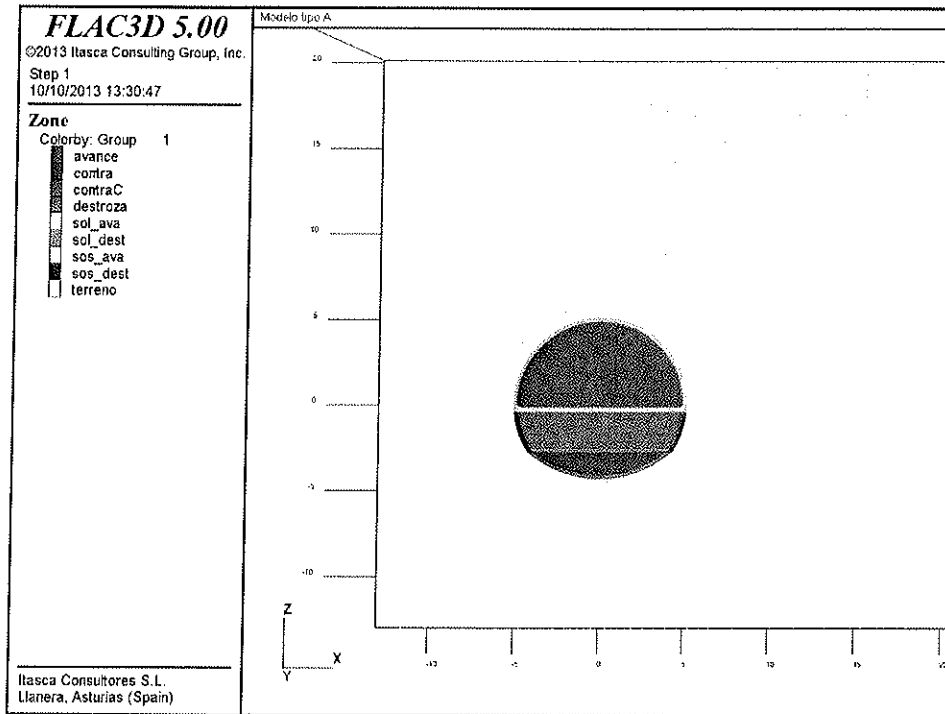


Figura 2.1-2. Sección tipo A. Modelo de cálculo. Geometría de la galería.

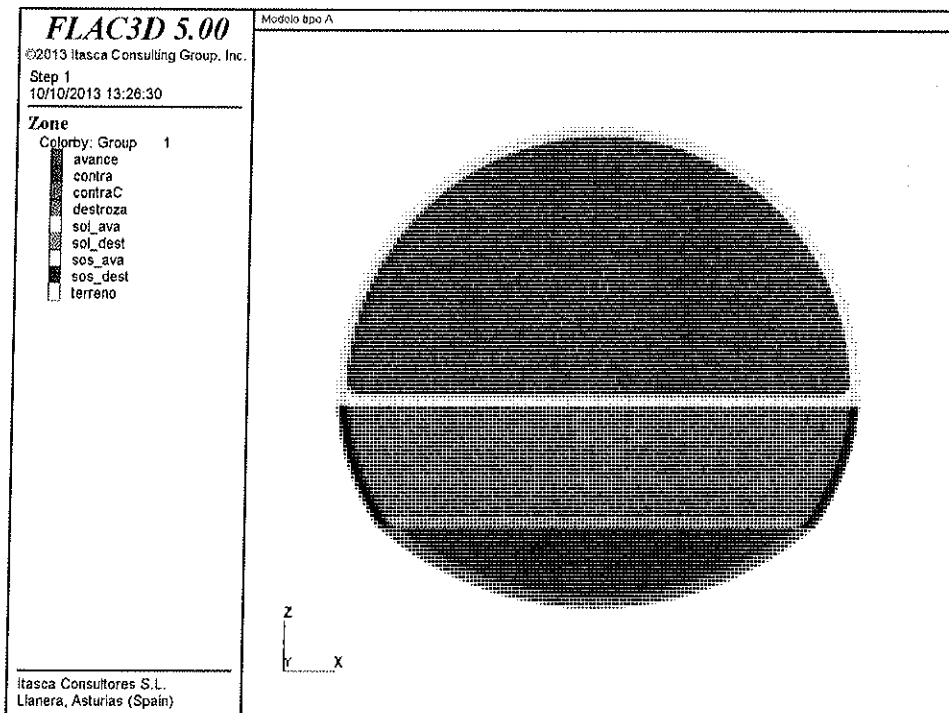


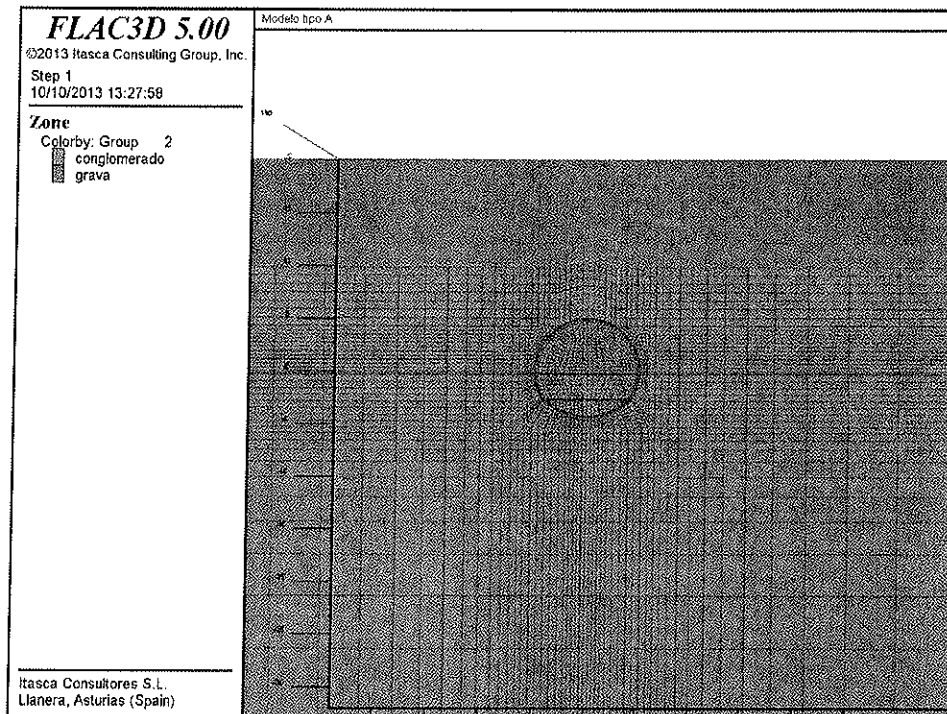
Figura 2.1-3. Sección tipo A. Modelo de cálculo. Detalle sección tipo.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO IUAN GASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



## 2.2 Sección tipo A: geología

En esta sección, la clave del túnel se localiza 15 m por debajo de la superficie, de los cuales los 10 m superiores corresponden a grava suelta y el resto a conglomerado. Es decir toda la sección será excavada en conglomerado (Figura 2.2-1).



*Figura 2.2-1. Sección tipo A. Distribución de litotipos.*

## 2.3 Sección tipo A: elementos de sostenimiento

De acuerdo con la información facilitada, la sección tipo A incluye los siguientes elementos de sostenimiento:

- 20 cm de hormigón HP-30 con fibras. Se divide en una primera capa de sellado de 5 cm y una segunda capa de HP-30 con fibras de 15 cm
- Cerchas reticuladas TE-70 cada 2 m

## 2.4 Sección tipo A: secuencia constructiva

Las fases de cálculo seguidas con el modelo de cálculo descrito han sido las siguientes:

1. Establecimiento del estado inicial de tensiones, en equilibrio con la profundidad de la sección analizada y con el ratio tensión horizontal/tensión vertical de proyecto (descritos en el epígrafe de propiedades).
2. Excavación secuencial del avance del túnel, en una longitud igual a un pase de 2 m de longitud.
3. Hormigonado del pase anterior (de 2 m de longitud) y colocación de los marcos metálicos (1 marco). Cierre de la solera provisional en avance.
4. A una distancia de 10 m del frente de avance, excavación secuencial del hastial derecho en una longitud igual a un pase de 2 m de longitud.
5. Hormigonado del hastial en un pase inmediatamente anterior (de 2 m de longitud), con 20 cm de hormigón proyectado y recalce de los marcos metálicos. Se hormigona la contrabóveda provisional de destroza lado derecho.
6. A una distancia de 10 m del frente de destroza derecho, excavación secuencial del hastial izquierdo en una longitud igual a un pase de 2 m de longitud.
7. Hormigonado del hastial izquierdo en un pase inmediatamente anterior (de 2 m de longitud), con 20 cm de hormigón proyectado y recalce de los marcos metálicos. Se hormigona la contrabóveda provisional de destroza, lado izquierdo.
8. A una distancia de 20 m del frente del destroza derecho, se excava la mitad de la contrabóveda en un tramo de 10 m.
9. A una distancia de 20 m del frente del destroza izquierdo, se completa la contrabóveda excavando la otra mitad en un tramo de 10 m.

Tras cada uno de estos pases (sostenimiento de un pase de avance y excavación del siguiente) se permite el equilibrio mecánico del modelo. Las Figuras 2.4-1 a 2.4-3 muestran diferentes vistas y detalles del modelo, en una fase de cálculo intermedia, con la secuencia constructiva reproducida en el modelo.

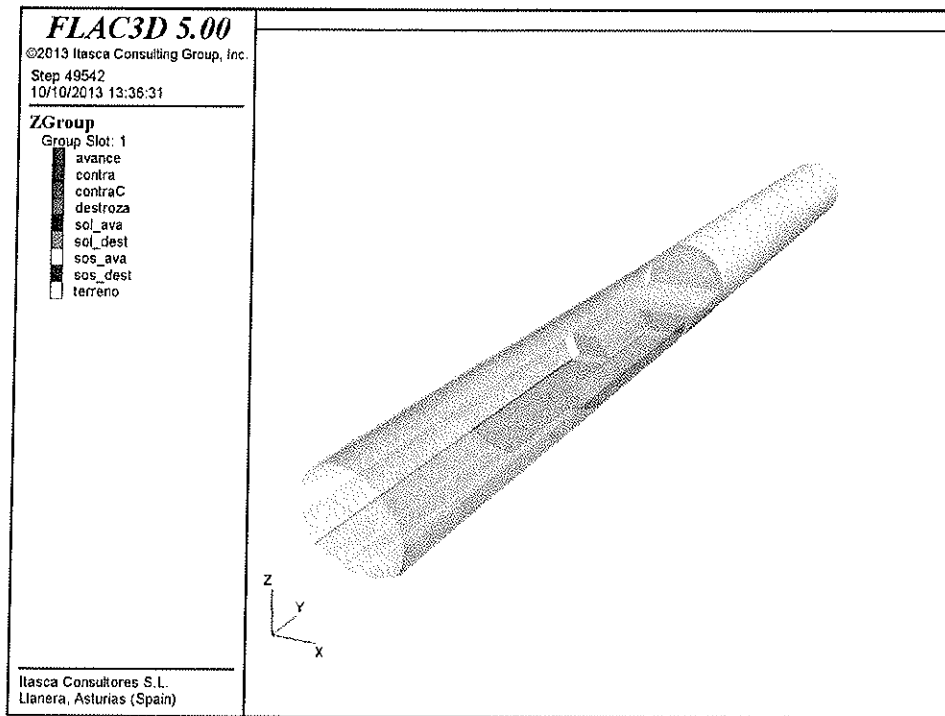


Figura 2.4-1. Sección tipo A. Secuencia de excavación reproducida en el modelo. Fase intermedia.

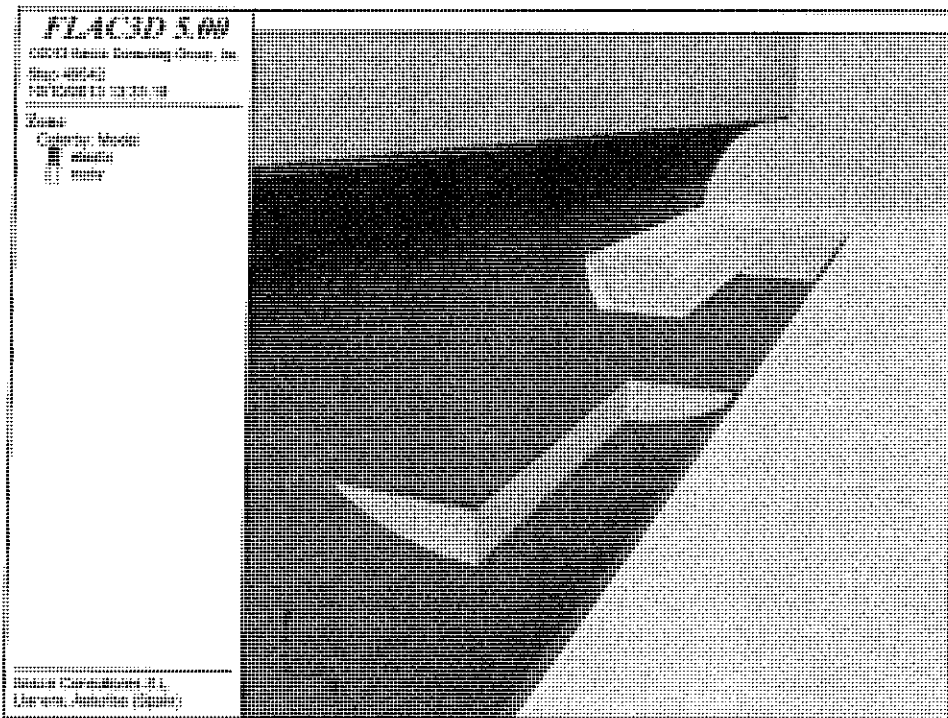
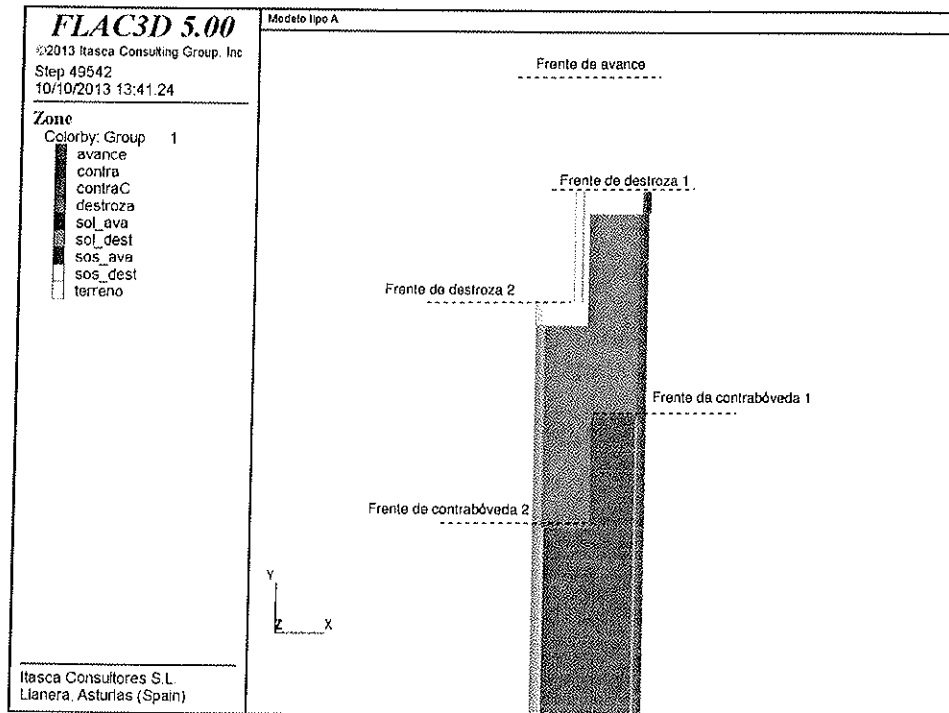


Figura 2.4-2. Sección tipo A. Detalle secuencia de cálculo. Fase intermedia.



**Figura 2.4-3. Sección tipo A. Detalle secuencia de cálculo. Vista en planta.**

### 2.5 Sección tipo B: geometría

El modelo tiene unas dimensiones de 140 m en la dirección longitudinal del eje del túnel, 120 m en la dirección transversal y 60 m en la dirección vertical. La Figura 2.5-1 muestra una vista general del modelo de cálculo. Los contornos del modelo se han seleccionado lo suficientemente alejados de la zona de interés para minimizar su afección a la misma.

La clave del túnel se sitúa a una profundidad de 15 m. Se ha reproducido en la medida de lo posible la geometría del túnel, con una altura total de la sección de 9.47 m y una anchura de 10.24 m. El espesor de sostenimiento tiene un total de 25 cm, de los cuales 5 cm corresponden a una primera capa de sellado. La altura del avance es de 5.5 m, mientras que la de la destroza es de 2.5 m. El resto de sección corresponde a la contrabóveda. En esta sección, las soleras provisionales tanto en avance como en destroza, de 20 cm de canto, tienen una curvatura dada por una flecha de 0.5 m. Adicionalmente, en este caso el avance se excava con machón central, con un talud 1H:3V. Las Figuras 2.5-2 y 2.5-3 representan un alzado de la sección, con la geometría modelizada.



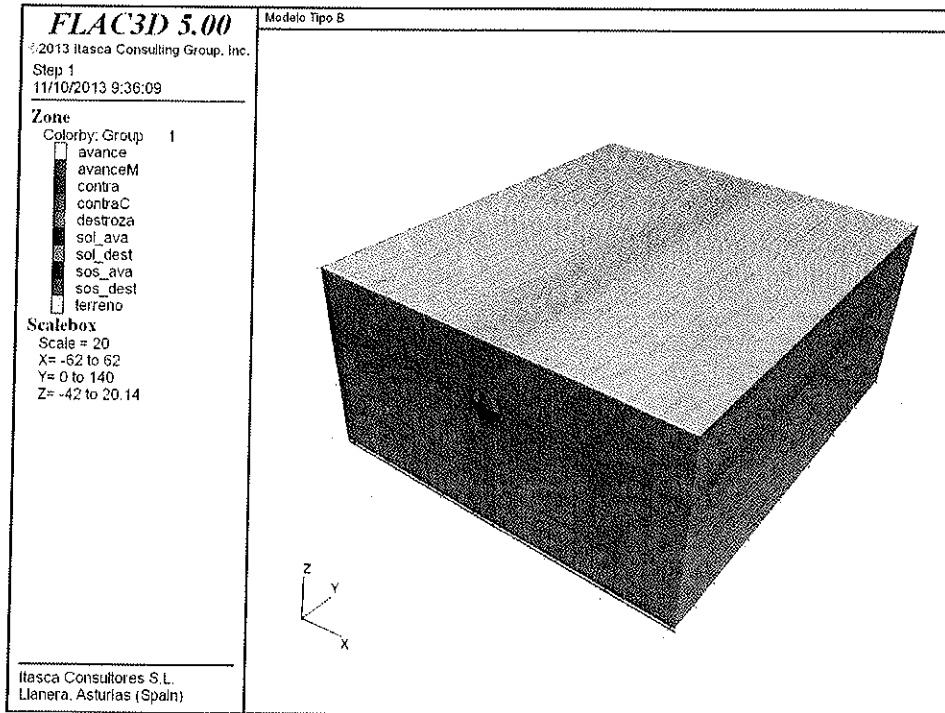


Figura 2.5-1. Sección tipo B. Modelo de cálculo. Vista general.

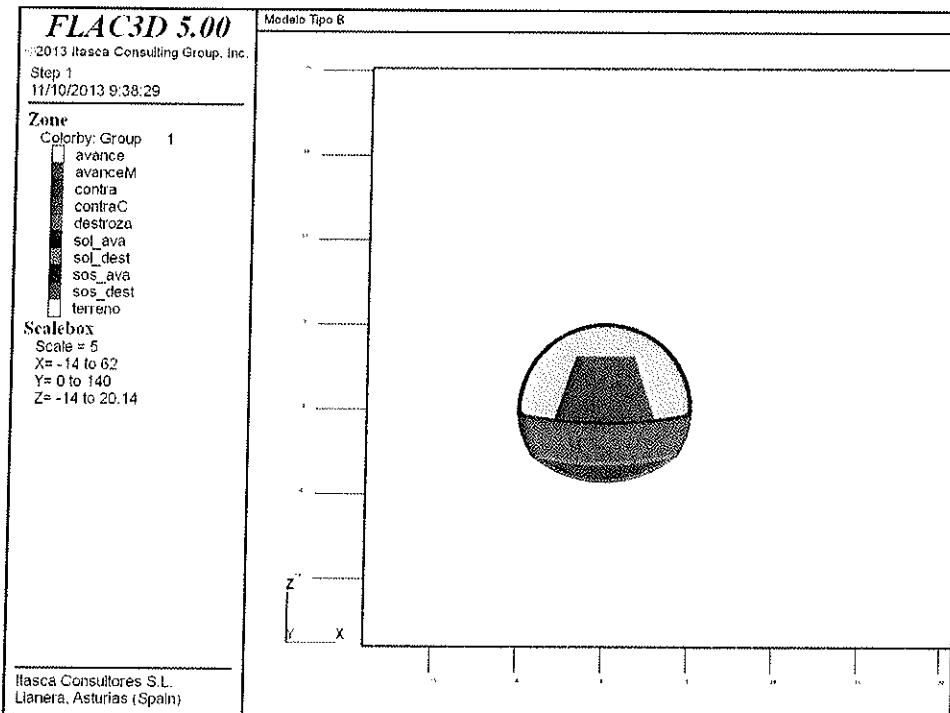


Figura 2.5-2. Sección tipo B. Modelo de cálculo. Geometría de la galería.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASARE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



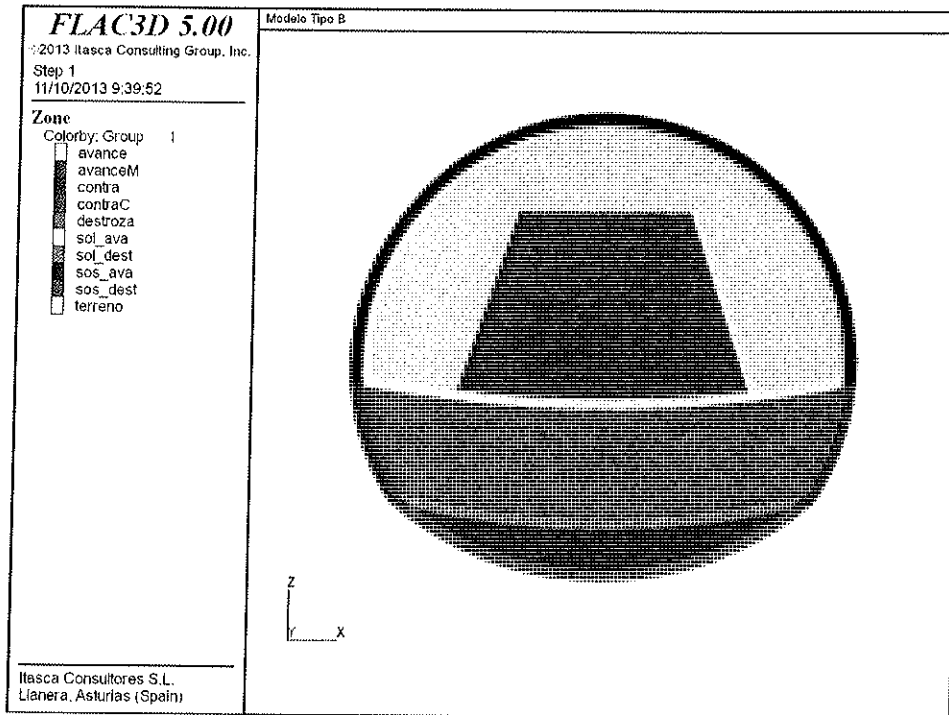


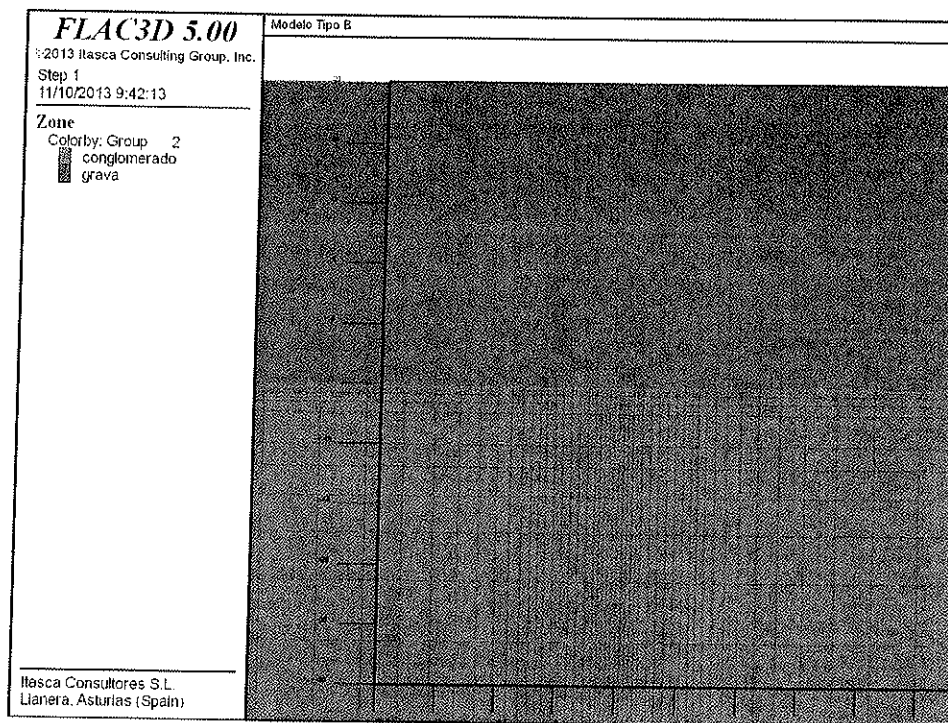
Figura 2.5-3. Sección tipo B. Modelo de cálculo. Detalle sección tipo.

### 2.6 Sección tipo B: geología

En esta sección, la clave del túnel se localiza también 15 m por debajo de la superficie. La grava suelta aparece en este caso hasta 1 m por debajo de la solera del túnel, y el resto corresponde a conglomerado. Es decir toda la sección será excavada en grava suelta (Figura 2.6-1).

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





**Figura 2.6-1. Sección tipo B. Distribución de litotipos.**

### 2.7 Sección tipo B: elementos de sostenimiento

De acuerdo con la información facilitada, la sección tipo B incluye los siguientes elementos de sostenimiento:

- 25 cm de hormigón HP-30 con fibras. Se divide en una primera capa de sellado de 5 cm y una segunda capa de HP-30 con fibras de 20 cm
- Cerchas reticuladas TE-130 cada 1 m

### 2.8 Sección tipo B: secuencia constructiva

Las fases de cálculo seguidas con el modelo de cálculo descrito han sido las siguientes:

1. Establecimiento del estado inicial de tensiones, en equilibrio con la profundidad de la sección analizada y con el ratio tensión horizontal/tensión vertical de proyecto (descritos en el epígrafe de propiedades).
2. Excavación secuencial del avance del túnel, en una longitud igual a un pase de 1 m de longitud, dejando el machón central sin excavar.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN GASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



3. Hormigonado del pase anterior (de 1 m de longitud) y colocación de los marcos metálicos (1 marco).
4. Una vez excavado el machón central, hormigonado de la solera provisional del avance.
5. A una distancia de 10 m del frente de avance, excavación secuencial del hastial derecho en una longitud igual a un pase de 2 m de longitud.
6. Hormigonado del hastial en un pase inmediatamente anterior (de 2 m de longitud), con 20 cm de hormigón proyectado y recalce de los marcos metálicos. Se hormigona la contrabóveda provisional de destroza lado derecho.
7. A una distancia de 10 m del frente de destroza derecho, excavación secuencial del hastial izquierdo en una longitud igual a un pase de 2 m de longitud.
8. Hormigonado del hastial izquierdo en un pase inmediatamente anterior (de 2 m de longitud), con 20 cm de hormigón proyectado y recalce de los marcos metálicos. Se hormigona la contrabóveda provisional de destroza, lado izquierdo.
9. A una distancia de 20 m del frente del destroza derecho, se excava la mitad de la contrabóveda en un tramo de 10 m.
10. A una distancia de 20 m del frente del destroza izquierdo, se completa la contrabóveda excavando la otra mitad en un tramo de 10 m.

Tras cada uno de estos pases (sostenimiento de un pase de avance y excavación del siguiente) se permite el equilibrio mecánico del modelo. Las Figuras 2.8-1 a 2.8-3 muestran diferentes vistas y detalles del modelo, en una fase de cálculo intermedia, con la secuencia constructiva reproducida en el modelo.

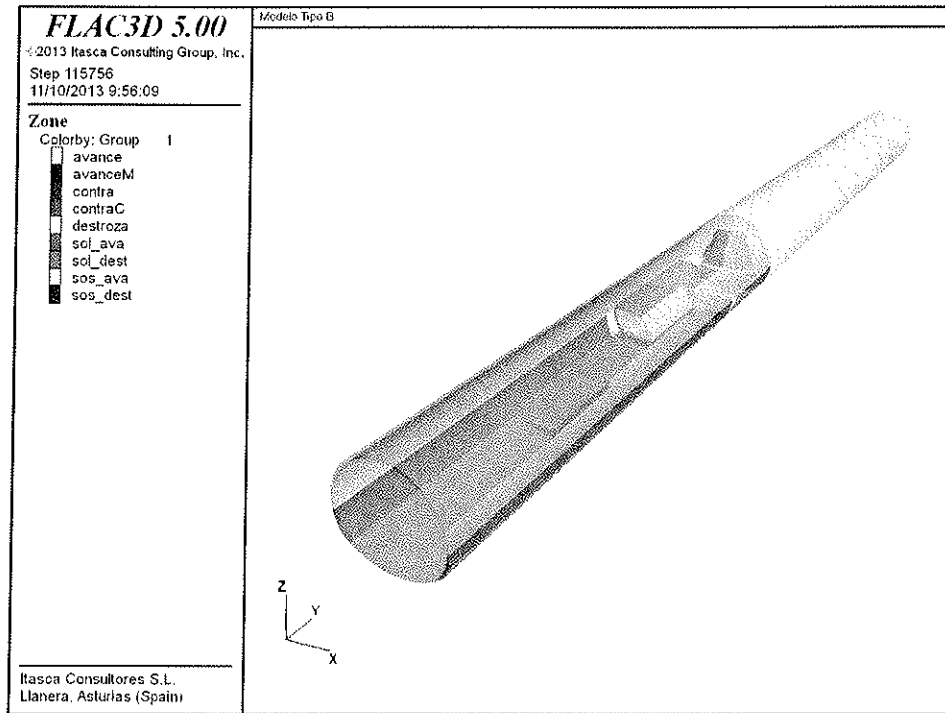


Figura 2.8-1. Sección tipo B. Secuencia de excavación reproducida en el modelo. Fase intermedia.

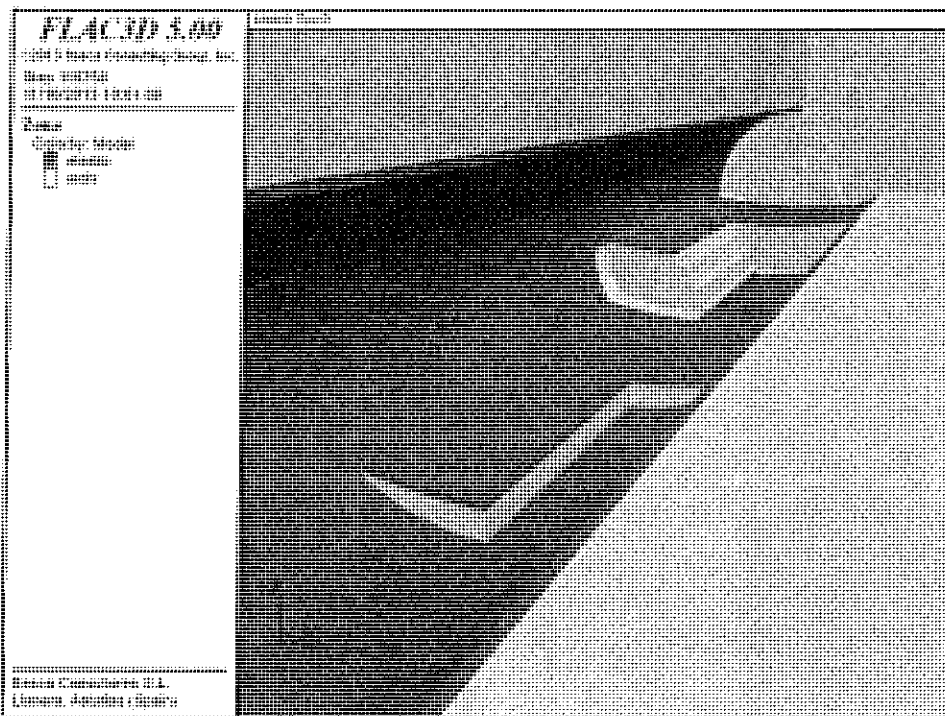


Figura 2.8-2. Sección tipo B. Detalle secuencia de cálculo. Fase intermedia.



*[Handwritten signature]*

pag

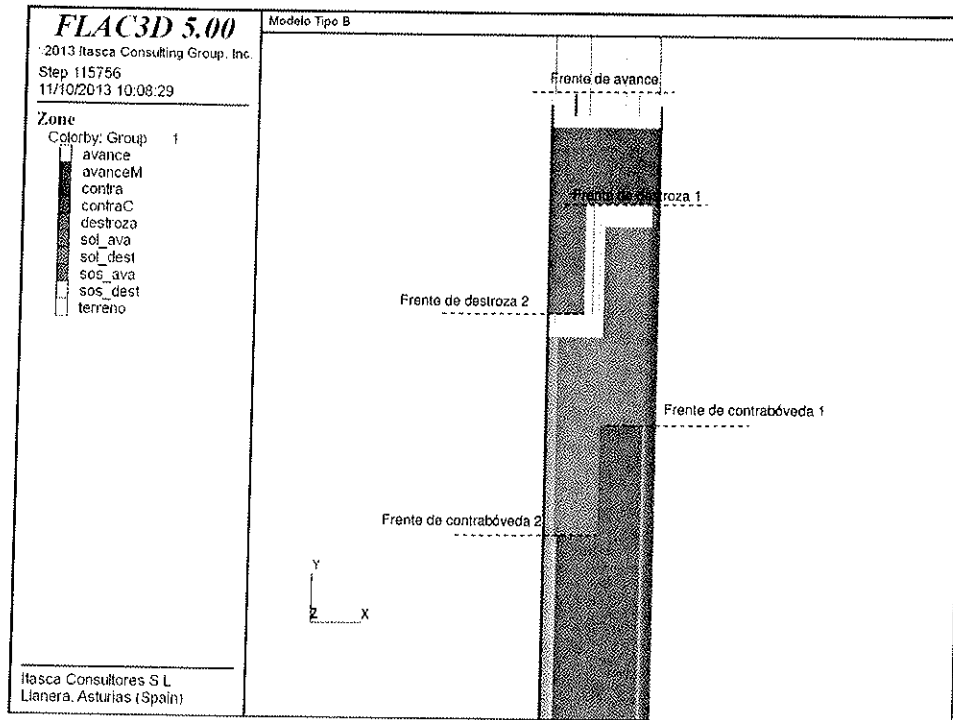


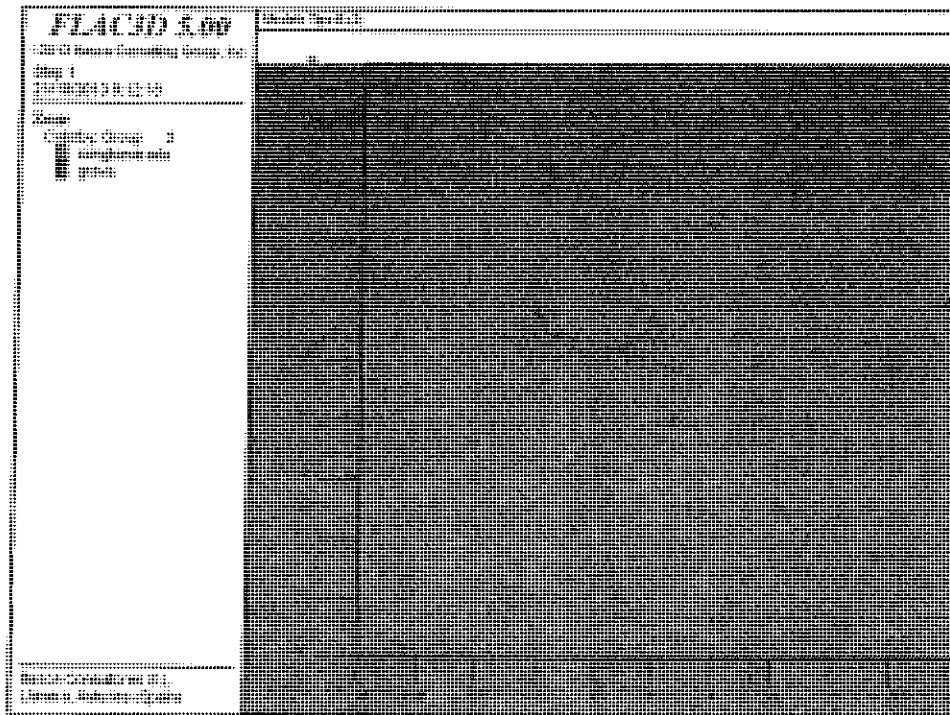
Figura 2.8-3. Sección tipo B. Detalle secuencia de cálculo. Vista en planta.

**2.9 Sección tipo B2: geometría**

La sección tipo B2 es idéntica a la sección tipo B salvo que no se considera solera provisional en avance, como era el caso de la anterior.

**2.10 Sección tipo B: geología**

En esta sección, la clave del túnel se localiza también 15 m por debajo de la superficie. En este caso el avance será excavado en grava suelta, y el resto del túnel hasta el fondo del modelo, se excavará en conglomerado (Figura 2.10-1).



**Figura 2.10-1. Sección tipo B2. Distribución de litotipos.**

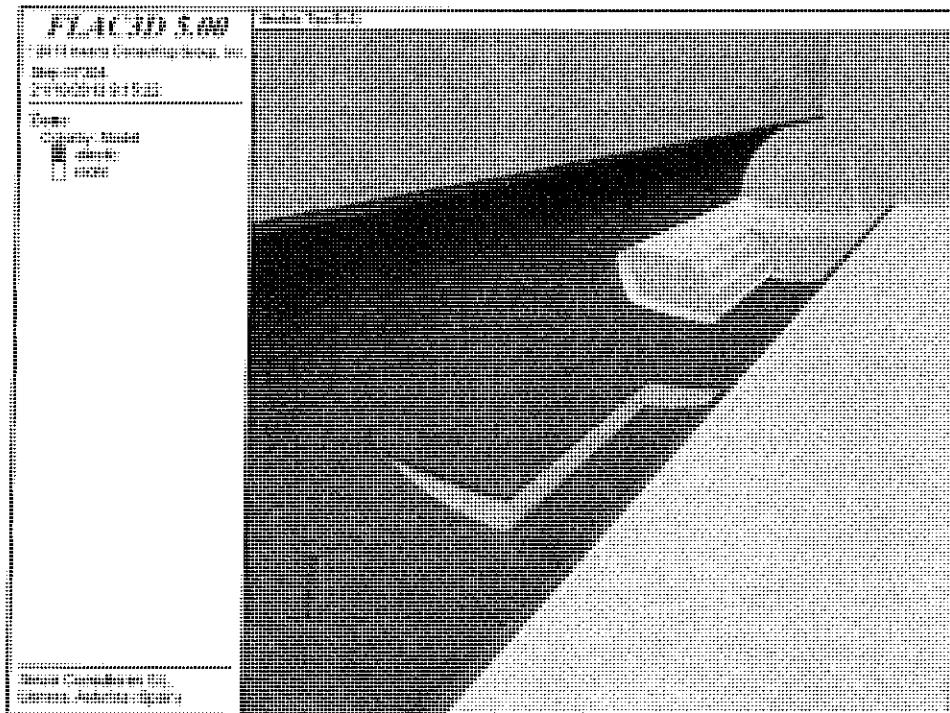
### 2.11 Sección tipo B: elementos de sostenimiento

Los elementos de sostenimiento de la sección tipo B2 son idénticos a los de la sección tipo B:

- 25 cm de hormigón HP-30 con fibras. Se divide en una primera capa de sellado de 5 cm y una segunda capa de HP-30 con fibras de 20 cm
- Cerchas reticuladas TE-130 cada 1 m

### 2.12 Sección tipo B: secuencia constructiva

Las fases de cálculo seguidas con el modelo de cálculo de la sección tipo B2 son iguales a las descritas para la sección tipo B, salvo que no se activa la solera provisional en avance.



**Figura 2.12-1. Sección tipo B2. Detalle secuencia de cálculo. Fase intermedia.**

### 2.13 Sección tipo Caverna: geometría

El objetivo del análisis de la sección tipo de caverna ha sido determinar la estabilidad de la sección de avance, con objeto de determinar la posibilidad de excavarla a sección completa. Por dicho motivo, con el presente modelo no se analizó la excavación de la sección de destroza.

El modelo tiene unas dimensiones de 120 m en la dirección longitudinal del eje del túnel, 120 m en la dirección transversal y 150 m en la dirección vertical. Dado que tanto la geometría del avance como la secuencia constructiva lo permiten, a efectos de reducir el tamaño del modelo, y por tanto los tiempos de cálculo, se ha considera un modelo con media simetría por el eje de la caverna. La Figura 2.13-1 muestra una vista general del modelo de cálculo.

La clave del túnel se sitúa a una profundidad de 37 m. Se ha reproducido en la medida de lo posible la geometría del túnel, con una altura total de la sección de 13.4 m y una anchura de 18.9 m. El espesor de sostenimiento tiene un total de 30 cm, de los cuales 10 cm corresponden a una primera capa de sellado. La altura del avance es de 5.5 m. Las Figuras 2.13-2 y 2.13-3 representan un alzado de la sección, con la geometría modelizada.



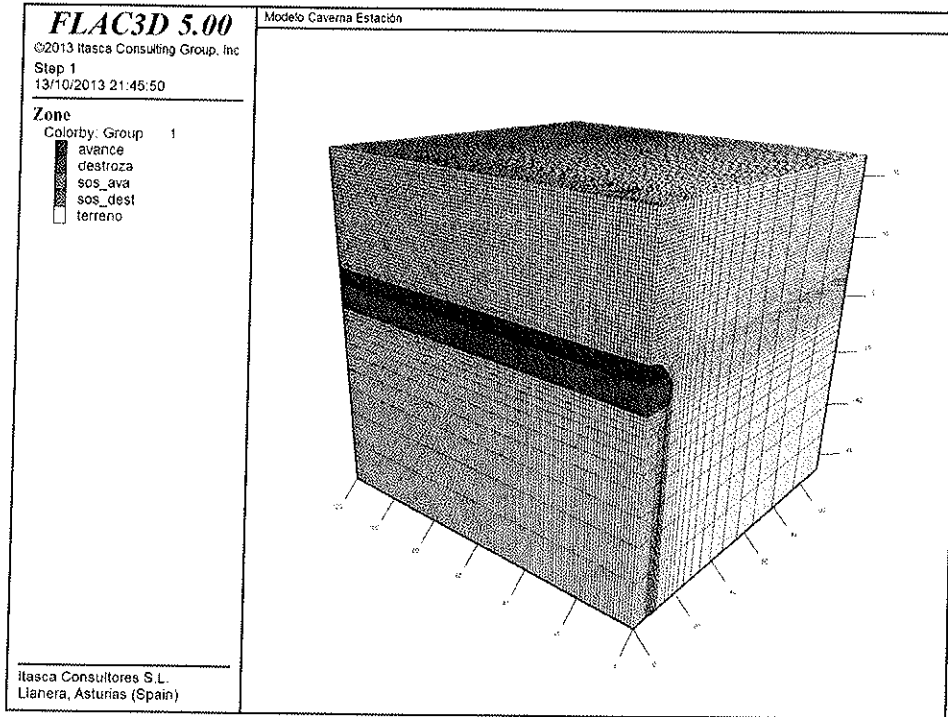


Figura 2.13-1. Sección tipo Caverna. Modelo de cálculo. Vista general.

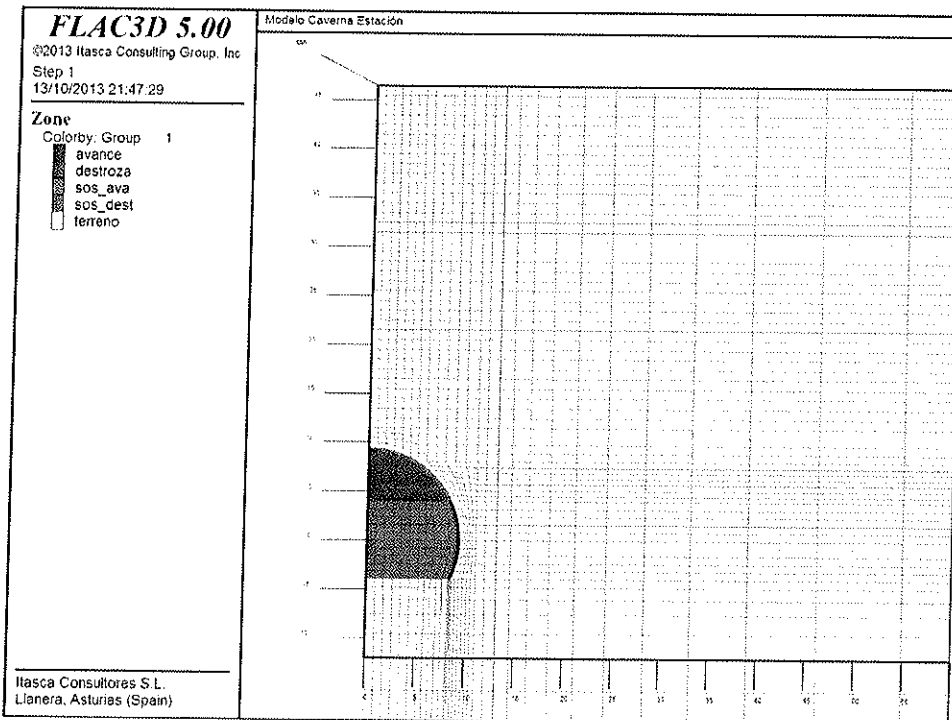
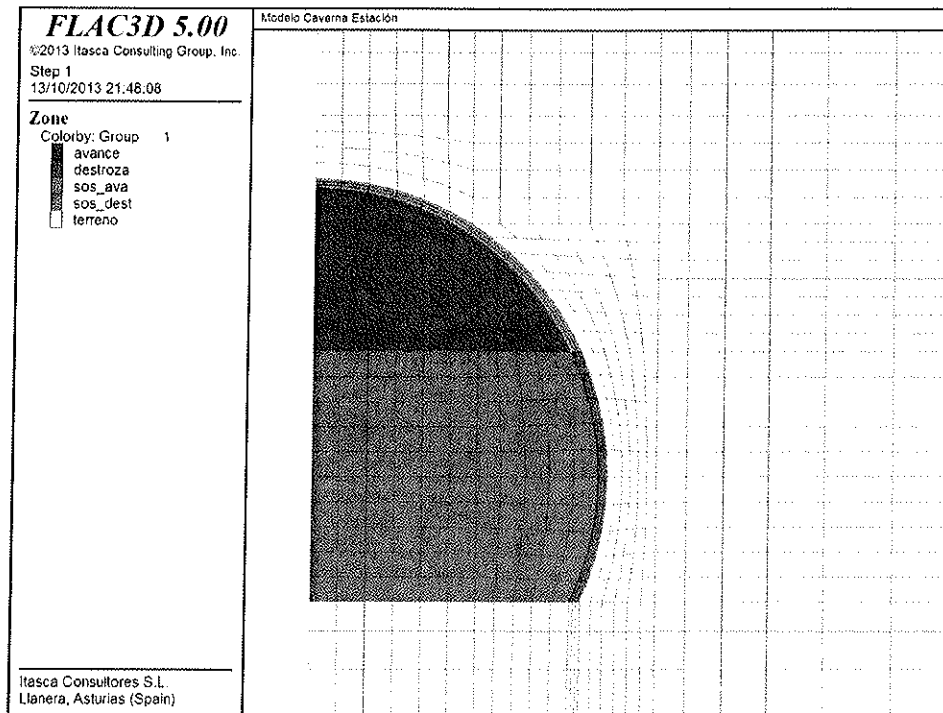


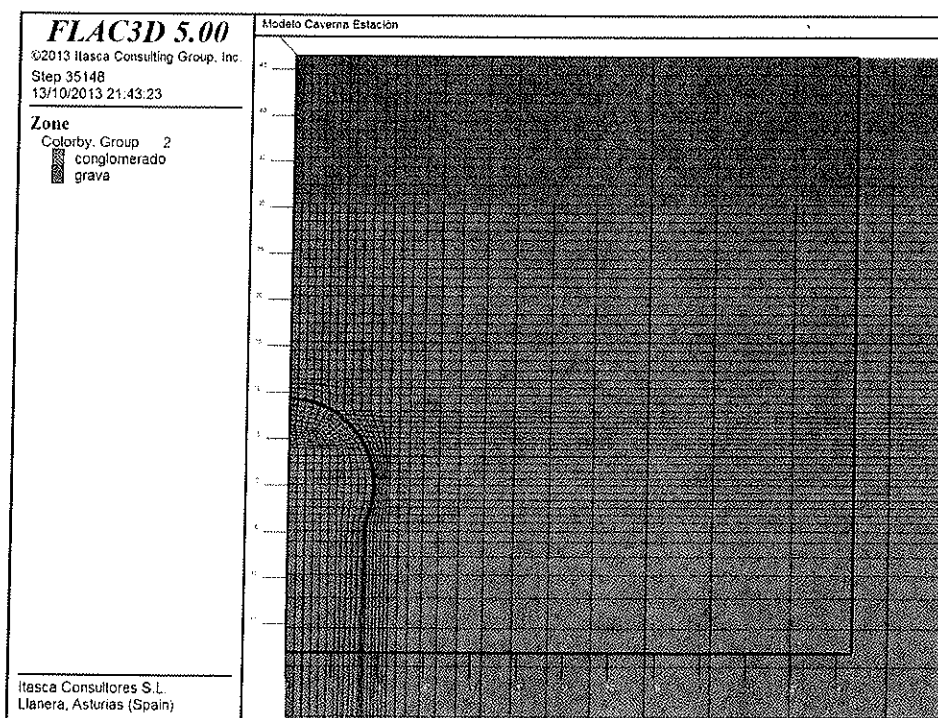
Figura 2.13-2. Sección tipo Caverna. Modelo de cálculo. Geometría de la galería.



**Figura 2.1-3. Sección tipo A. Modelo de cálculo. Detalle sección tipo.**

#### 2.14 Sección tipo Caverna: geología

En la sección en Caverna, la clave se localiza 37 m por debajo de la superficie, de los cuales los 16 m superiores corresponden a grava suelta y el resto a conglomerado. Es decir toda la sección de la caverna será excavada en conglomerado (Figura 2.14-1).



**Figura 2.14-1. Sección tipo Caverna. Distribución de litotipos.**

### 2.15 Sección tipo Caverna: elementos de sostenimiento

De acuerdo con la información facilitada, la sección en caverna incluye los siguientes elementos de sostenimiento:

- 30 cm de hormigón HP-30 con fibras. Se divide en una primera capa de sellado de 10 cm y una segunda capa de HP-30 con fibras de 20 cm
- Cerchas reticuladas TE-130 cada 1 m

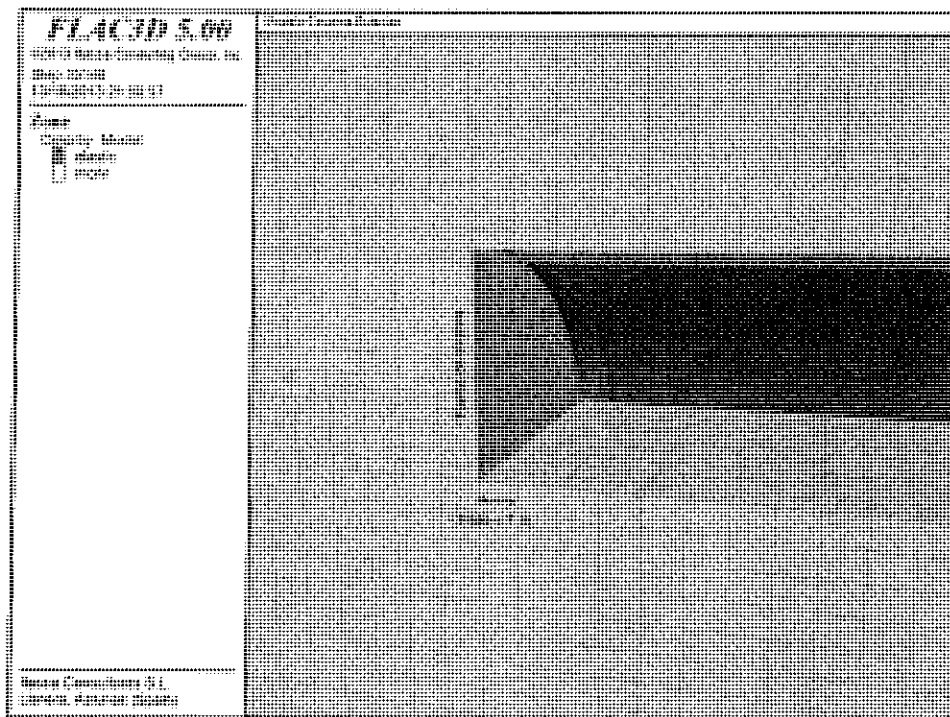
### 2.16 Sección tipo Caverna: secuencia constructiva

Como ya se ha comentado, en este caso sólo se ha analizado la excavación del avance. Las fases de cálculo seguidas por tanto en este caso han sido las siguientes:

1. Establecimiento del estado inicial de tensiones, en equilibrio con la profundidad de la sección analizada y con el ratio tensión horizontal/tensión vertical de proyecto (descritos en el epígrafe de propiedades).
2. Excavación secuencial del avance del túnel, en una longitud igual a un pase de 1 m de longitud.

3. Hormigonado del pase anterior (de 1 m de longitud) y colocación de los marcos metálicos (1 marco).

Tras cada uno de estos pases (sostenimiento de un pase de avance y excavación del siguiente) se permite el equilibrio mecánico del modelo. La Figura 2.16-1 muestran un detalle del modelo en una fase de cálculo intermedia con la secuencia constructiva reproducida.



**Figura 2.16-1. Sección tipo Caverna. Secuencia de excavación reproducida en el modelo. Fase intermedia.**

### 2.17 Propiedades de cálculo de los terrenos

En todos los modelos, a los elementos que conforman el terreno se les ha asignado un modelo constitutivo tipo Mohr-Coulomb, y se les han asignado las propiedades de cálculo mostradas en la Tabla 2.17-1.

Terreno	Elásticas		Plásticas			$\gamma(t/m^3)$
	E (MPa)	$\nu$	c (MPa)	$\phi$ (°)	$\delta$ (°)	
Grava suelta	83	0.30	0.015	34	23	2.0
Conglomerado	366	0.30	0.032	39	26	2.2

**Tabla 2.17-1. Características de los terrenos analizados.**

El lo que respecta al estado tensional de partida, de acuerdo con la información facilitada, se ha considerado un coeficiente de empuje horizontal  $K_0 = 1$  para los dos tipos de terrenos.

### 2.18 Propiedades de cálculo de los elementos de sostenimiento

Los elementos de hormigón de sostenimiento del túnel se han modelizado con elementos volumétricos a los que se ha asignado un modelo constitutivo elástico. Dado que se ha modelizado la excavación secuencial del túnel, se ha tenido en cuenta el fraguado del mismo. La evolución de la resistencia del hormigón con el tiempo es bastante conocida, y viene definida en la norma EHE para hormigones de endurecimiento normal y rápido. La Figura 2.18-1 muestra en un gráfico dichas definiciones, comparándolas con los resultados de una serie de ensayos en probetas de hormigón, obteniéndose un buen ajuste entre éstos y la curva de endurecimiento rápido.

Por el contrario, la variación del módulo elástico con el tiempo no está tan clara. La Figura 2.18-2 presenta los resultados de varios ensayos, según los cuales se puede asumir una relación entre la resistencia del hormigón proyectado y su módulo tal que  $E \approx 500 \cdot \text{resistencia}$ . Se han añadido en el gráfico las fórmulas dadas por la EHE y la EH-91, mostrando una considerable diferencia entre dichas fórmulas y los resultados de los ensayos.

De acuerdo con esto, se ha introducido en el modelo la ley de fraguado dada por la evolución de la resistencia de hormigones de endurecimiento rápido de la EHE y la relación entre dicha resistencia y el módulo elástico dada por los ensayos. Para tener en cuenta este fraguado, se debe además relacionar en el modelo el tiempo con la distancia al frente para lo que se ha considerado una velocidad de avance media de 2 pases por día. Se ha considerado un hormigón de 30 MPa de resistencia, con un coeficiente de Poisson de 0.2 y un peso específico de 2.5 t/m<sup>3</sup>.

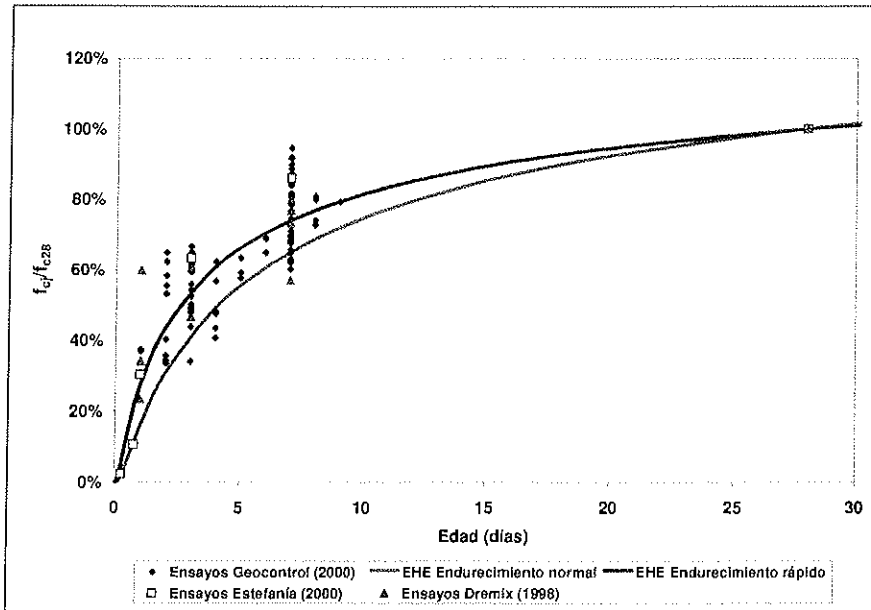


Figura 2.18-1. Evolución de la resistencia del hormigón con el tiempo.

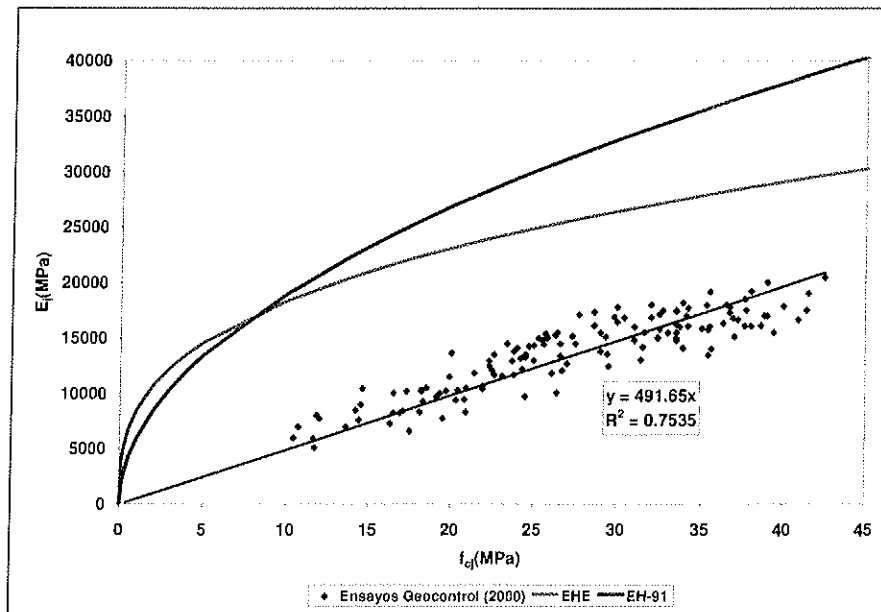


Figura 2.18-2. Relación entre el módulo elástico y la resistencia del hormigón.

Las cerchas se han modelizado con elementos estructurales tipo pile de FLAC3D, que son elementos unidimensionales de dos nodos con 6 grados de libertad por nodo (3 desplazamientos y 3 rotaciones), con un comportamiento elástico lineal y un acoplamiento elastoplástico al mallado. Se han considerado dos tipos de cerchas en función de la sección tipo: cerchas reticuladas TE-70 y TE-130. Las propiedades asignadas, en función del tipo, se muestran en la Tabla 2.18-1.

<i>Tipo</i>	<i>Área (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Momento y (cm<sup>4</sup>)</i>	<i>Momento z (cm<sup>4</sup>)</i>	<i>E (GPa)</i>	<i>ν</i>
<i>TE-70</i>	14.32	332	240	210	0.2
<i>TE-130</i>	14.32	865	635	210	0.2

**Tabla 2.18-1. Propiedades asignadas a las cerchas.**

### **2.19 Metodología para el cálculo de la estabilidad del frente**

De cara a validar la geometría de las secciones estudiadas, en el caso de la sección tipo B y de la caverna, se ha realizado no sólo una comprobación del sostenimiento planteado sino también el análisis de la estabilidad del frente, dada la presencia de grava suelta en la sección.

El factor de seguridad global se ha calculado utilizando la técnica de reducción de la resistencia al corte, descrita entre otros autores por Varona & Ferrer (1998), que consiste en reducir progresivamente la resistencia al corte de los terrenos hasta que se produce la rotura, estando el factor de seguridad definido por el ratio entre la resistencia al corte original del material y la resistencia al corte para la que se ha producido la rotura.

La gran ventaja de esta técnica es que no es necesario presuponer ninguna geometría potencial de rotura (como ocurre con algunos métodos de equilibrio límite), por lo que es aplicable a cualquier tipo de problemas, incluidos aquellos en los que la superficie potencial de deslizamiento puede ser una superficie compleja.

La estabilidad se ha analizado considerando un pase de avance abierto.

### 3.0 RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan a continuación los resultados obtenidos en las secciones tipo analizadas.

Para cada caso, se presenta una tabla resumen de los principales resultados obtenidos (en términos de deformaciones y esfuerzos) y se hace referencia a la figura correspondiente en la que se puede comprobar dicho resultado. Además, se incluyen una serie de comentarios y conclusiones sobre los resultados obtenidos.

Respecto a los marcos reticulados, para el cálculo del factor de seguridad a flexo-compresión se considera un límite elástico  $f_{yk}=355$  MPa (minorado por 1.15), con lo que su capacidad de cálculo es de:

- Cerchas TE-70:  $N_{max}=44.2$  ton y  $M_{max}=1.61$  m·ton.
- Cerchas TE-130:  $N_{max}=44.2$  ton y  $M_{max}=2.75$  m·ton

#### 3.1 Sección tipo A

			Máximo	Figura Nº	Observaciones
Fase Final	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	10.5	3.1-1/3.1-4	Localizados sobre clave
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	10.3	3.1-2/3.1-5	Localizados en el hastial de destroza
		Desp. Vertical en superficie (mm)	4.1	3.1-4	Máximo sobre clave
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	2.7	3.1-5	Máximo a 13 m del eje del túnel
		Plastificación	1-1.5 m	3.1-6/3.1-7	Alrededor de la excavación
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5	3.1-14/3.1-15	Las tracciones son nulas en prácticamente toda la sección Máximos puntuales en la unión bóveda+solera provisional en avance
		Compresiones (MPa)	3.25	3.1-12/3.1-13	Máximo localizado en la unión hastial-contrabóveda En la bóveda máximos de 2.6 MPa
		Semiconvergencia Horiz. medible (mm)	8	3.1-10	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
		Bajada de clave medible (mm)	8	3.1-9	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
	Cerchas TE-70	Axil (T)	13.7	3.1-16/3.1-17	Estos valores corresponden a los máximos, no tienen porque ser concomitantes
Flector (m·T)		0.04	3.1-18/3.1-19	En diagrama de Interacción, con valores concomitantes, se obtiene un FS=3.18	

**Tabla 3.1-1. Sección tipo A. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo.**

Teniendo en cuenta las hipótesis consideradas en este modelo numérico (propiedades del terreno, geometría, cuantías de sostenimiento, longitud del pase de excavación, etc.), del cálculo realizado se concluye lo siguiente:

- El desplazamiento vertical máximo en la sección es de 10.5 mm sobre clave
- El desplazamiento horizontal máximo es de 10.3 mm en el hastial de destroza.



- El desplazamiento del frente de avance medio es de 7.8 mm.
- En superficie, estas deformaciones se traducen en un asiento máximo de 4 mm y un desplazamiento horizontal máximo de 2.7 mm.
- La bajada de clave máxima en el sostenimiento es de 8 mm. La semi-convergencia medible máxima en el avance es de 8 mm. En el modelo, se considera que la lectura de los puntos de monitoreo comienzan a una distancia de 0 m del frente. Obviamente, este valor es un límite superior, dado que en la realidad la lectura de datos comenzará más tarde por motivos técnicos, el valor real será en todo caso inferior a éste.
- Las compresiones máximas en el sostenimiento son de 3.25 MPa en la unión hastial-contrabóveda. En la bóveda, el máximo que se registra es de 2.6 MPa
- Las tracciones son prácticamente nulas en toda la sección, salvo en la unión entre la bóveda y la solera provisional de avance, con máximos de 0.4 MPa.
- Representando los axiles y flectores concomitantes de todos los elementos de cercha en un diagrama de interacción y teniendo en cuenta la resistencia de la cercha, se obtienen factores de seguridad mínimos de  $FS=3.18$ .



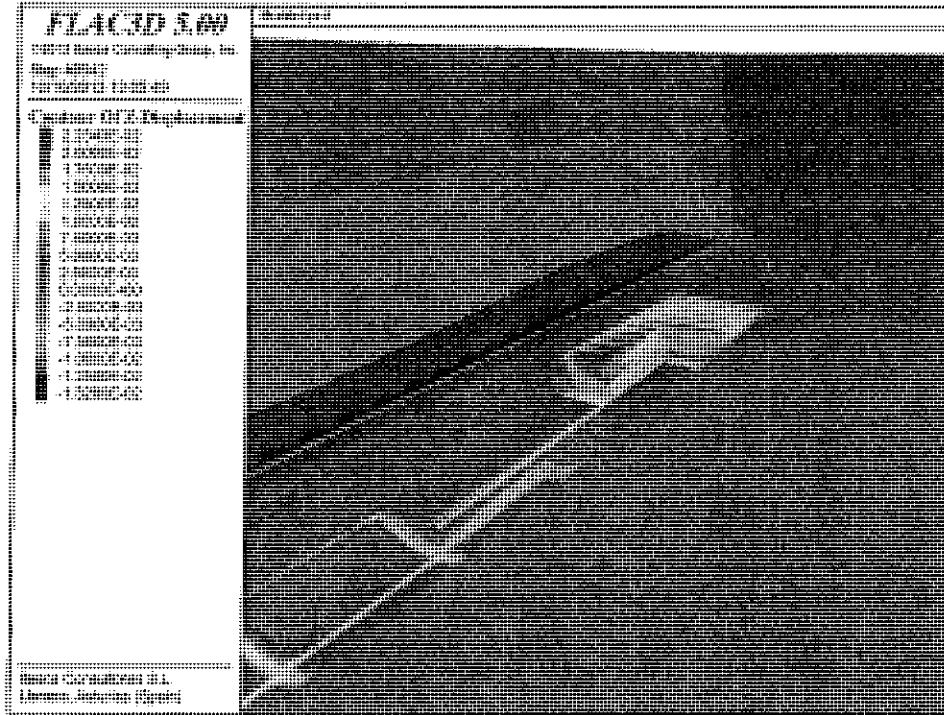


Figura 3.1-1. Sección tipo A. Desplazamiento vertical del terreno (en m). Fase intermedia

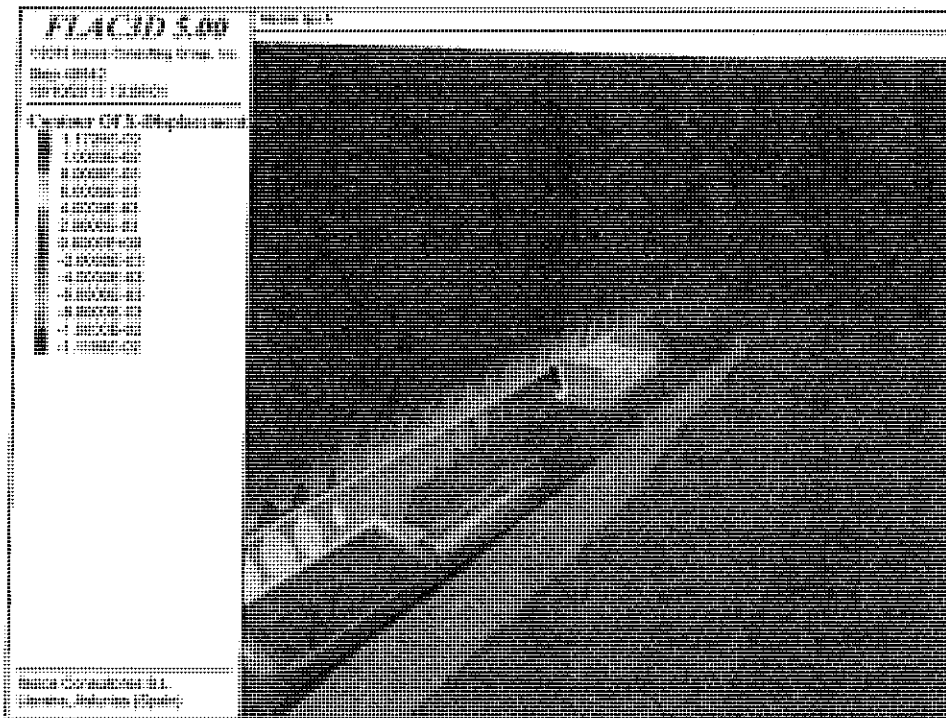
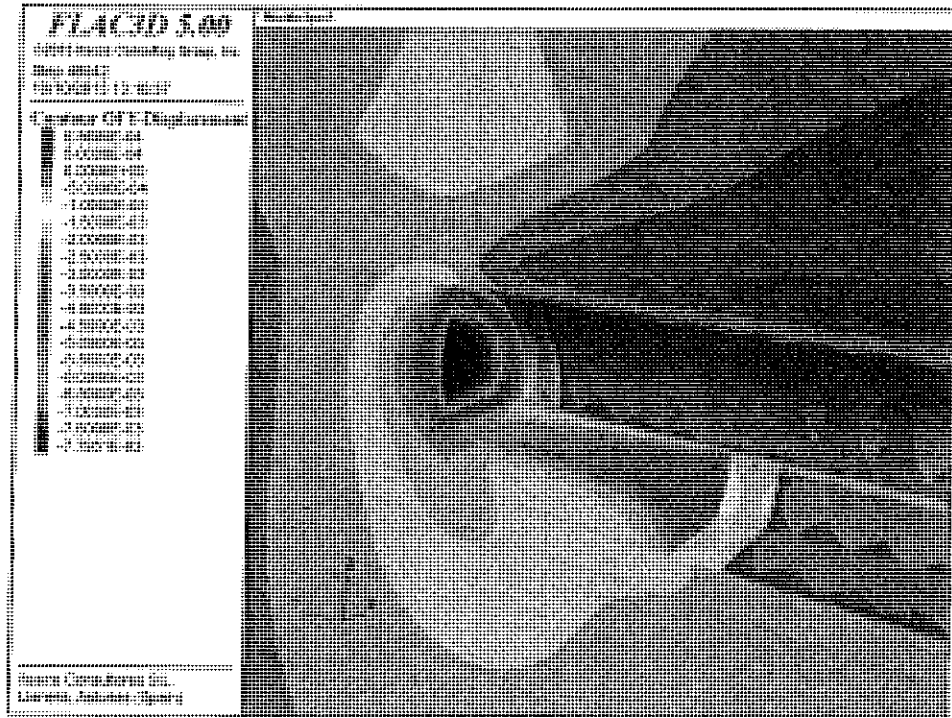


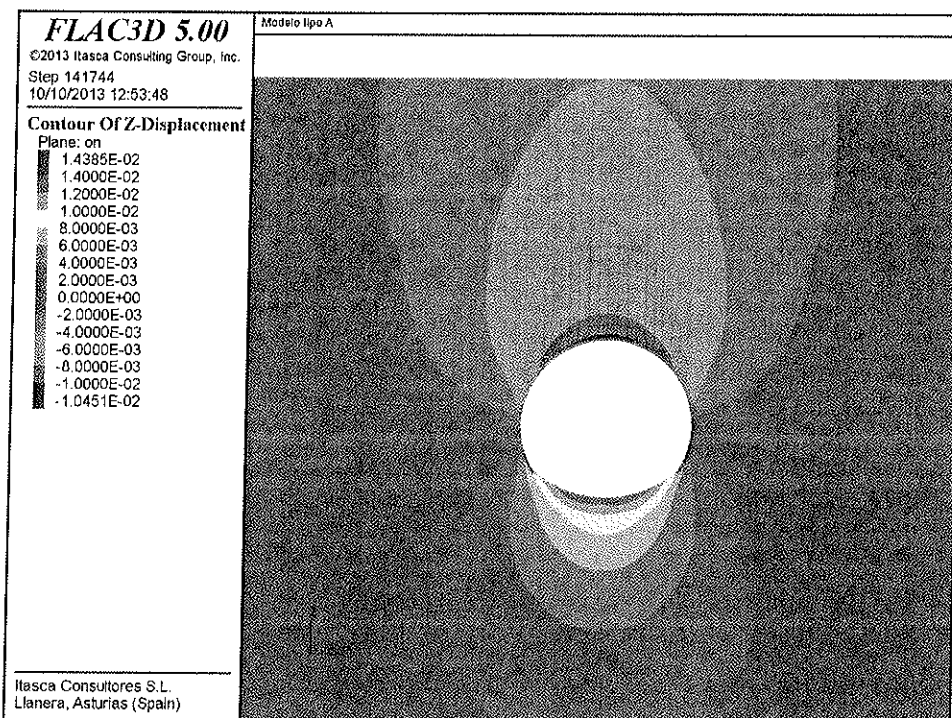
Figura 3.1-2. Sección tipo A. Desplazamiento horizontal transversal del terreno (en m). Fase intermedia.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN CASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

  
D.P.C.




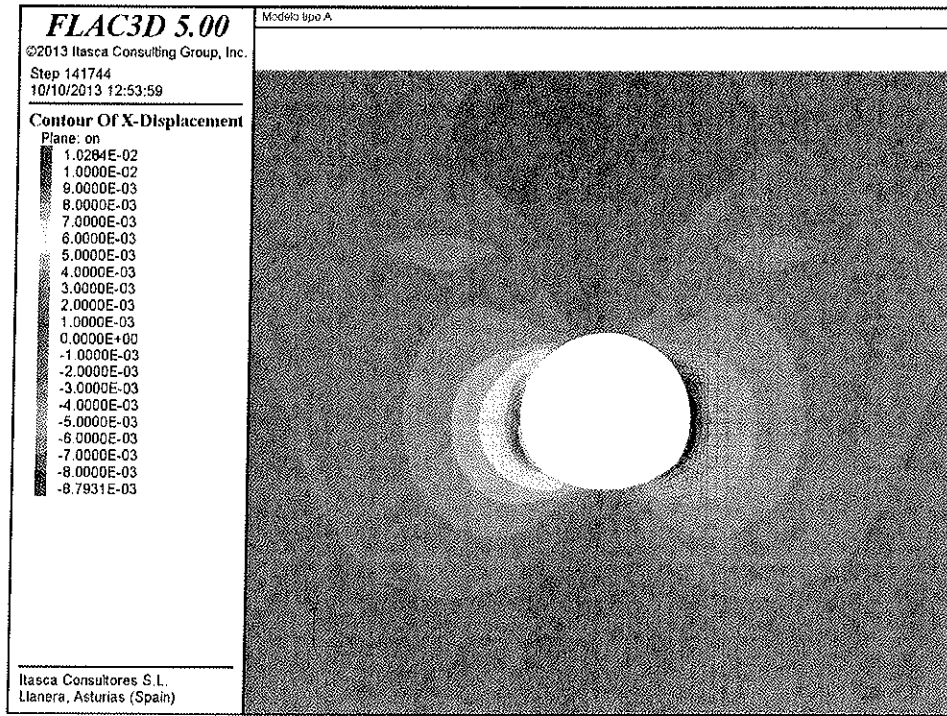
*Figura 3.1-3. Sección tipo A. Desplazamiento horizontal longitudinal del terreno (en m). Fase intermedia.*



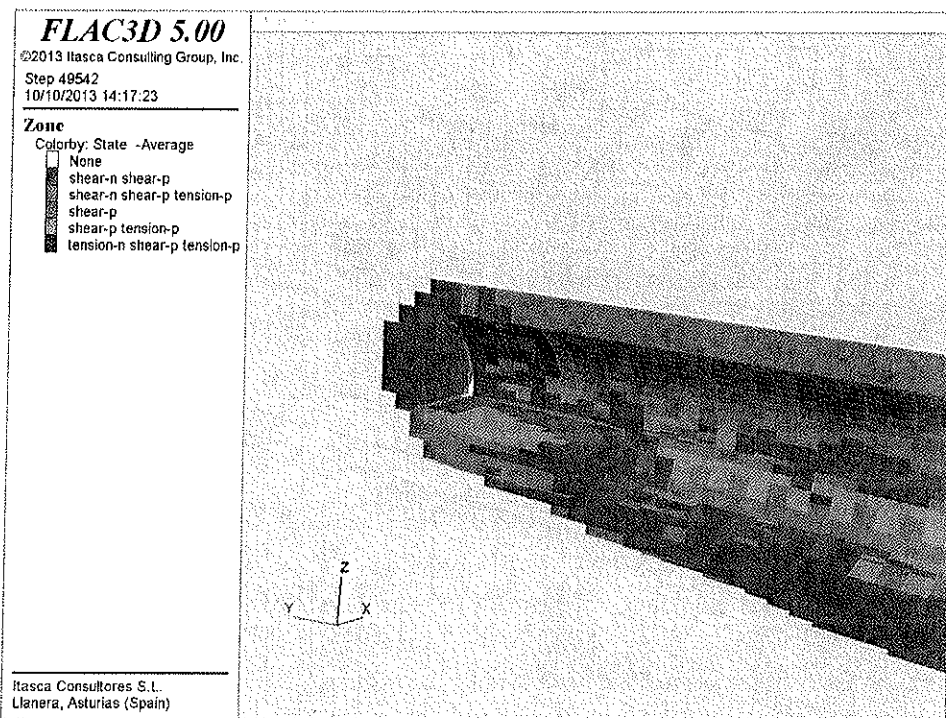
*Figura 3.1-4. Sección tipo A. Desplazamiento vertical del terreno (en m). Sección vertical. Fase final.*

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN GASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

  
D.P.C.



*Figura 3.1-5. Sección tipo A. Desplazamiento horizontal transversal del terreno (en m). Sección vertical. Fase final.*



*Figura 3.1-6. Sección tipo A. Elementos plastificados en el terreno. Fase intermedia.*

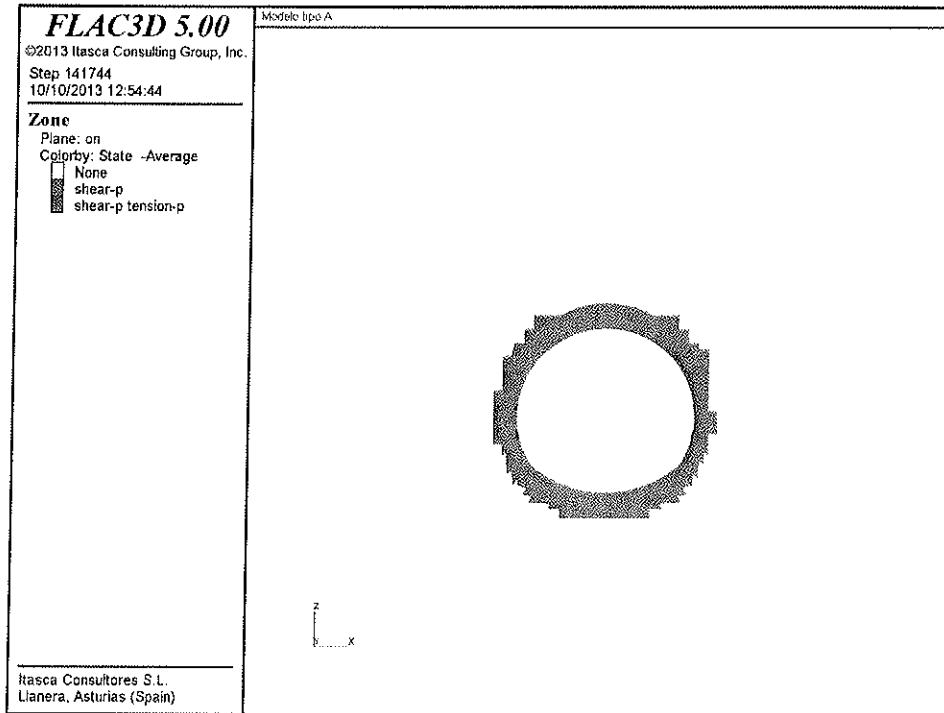


Figura 3.1-7. Sección tipo A. Elementos plastificados en el terreno. Fase final.

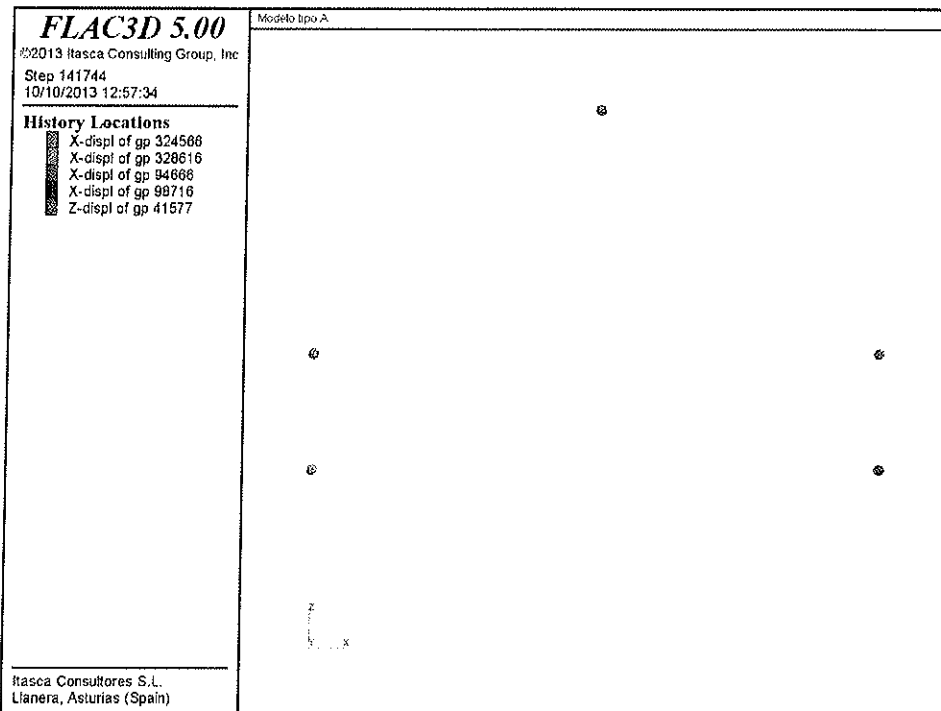


Figura 3.1-8. Sección tipo A. Localización puntos de control en el sostenimiento.

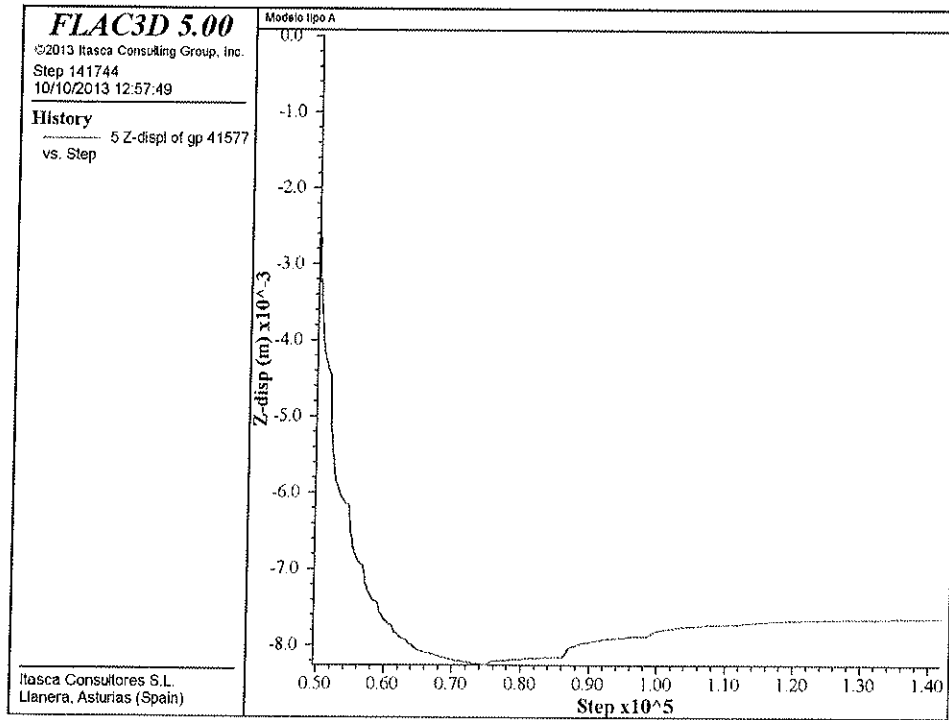


Figura 3.1-9. Sección tipo A. Evolución monitoreo bajada de clave

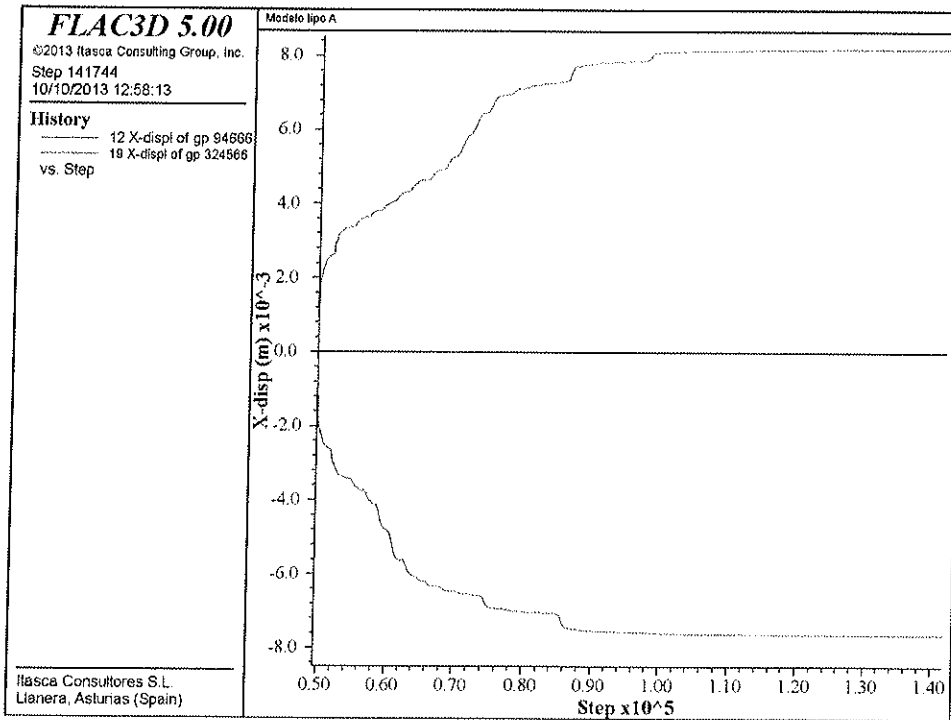


Figura 3.1-10. Sección tipo A. Evolución monitoreo bóveda en hombros.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



2013

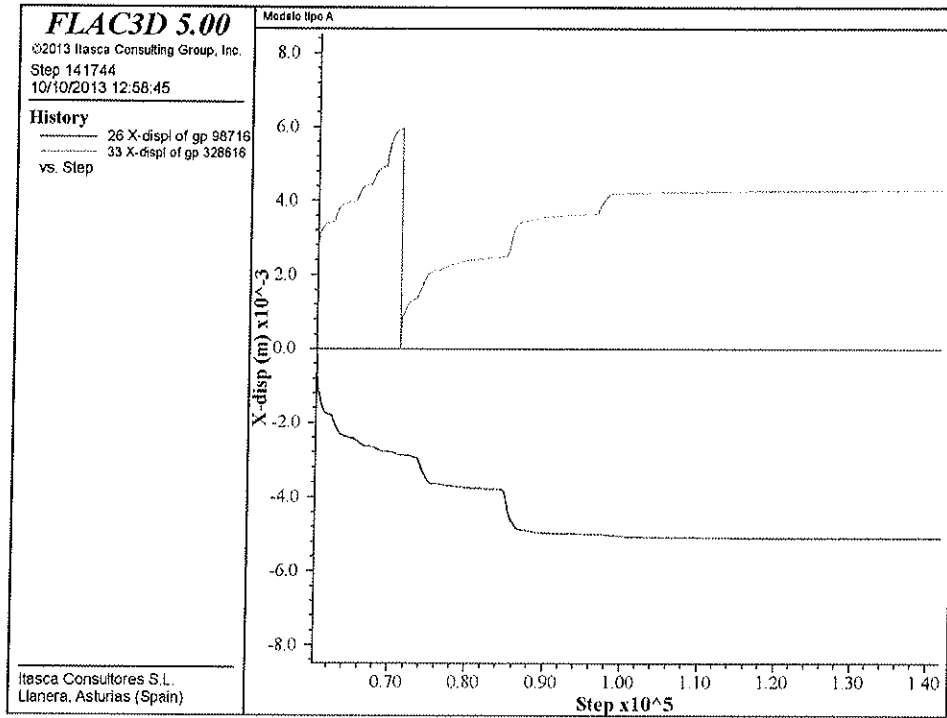


Figura 3.1-11. Sección tipo A. Evolución monitoreo hastiales.

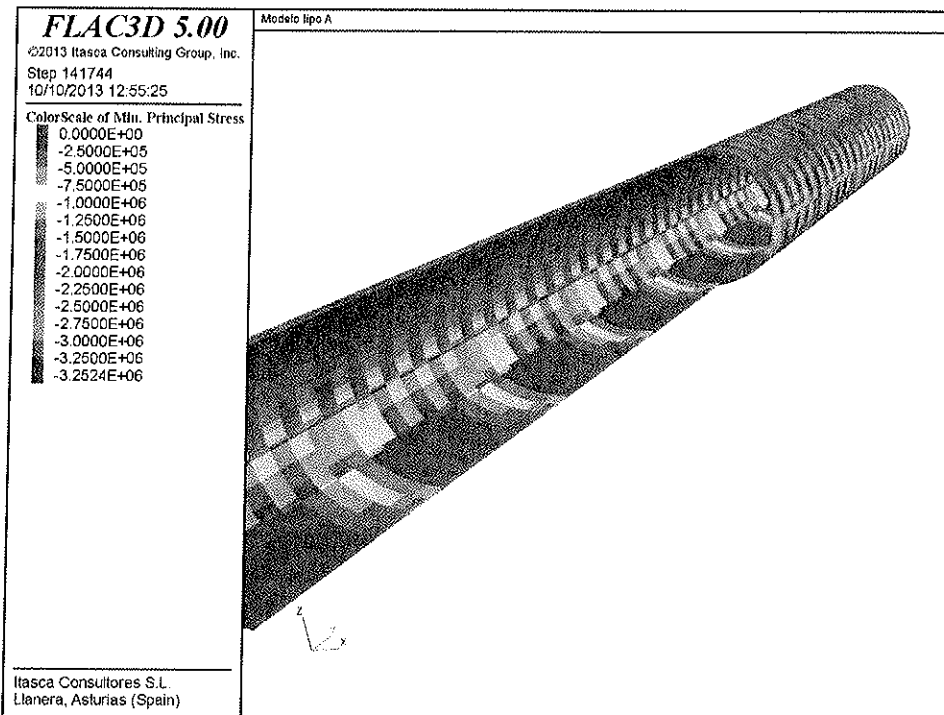


Figura 3.1-12. Sección tipo A. Compresiones en el hormigón (en Pa).

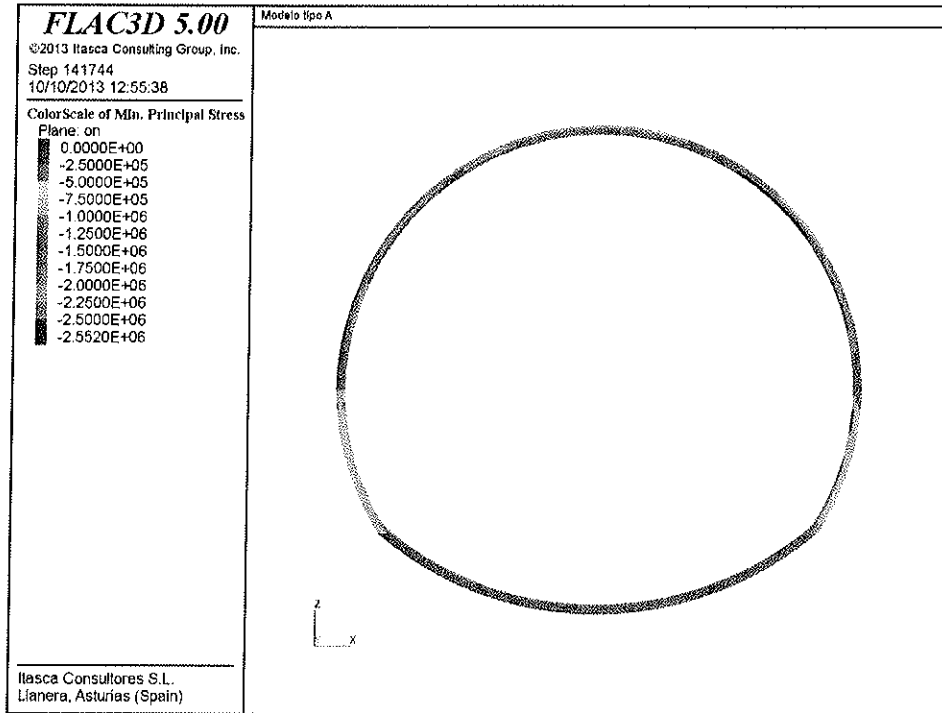


Figura 3.1-13. Sección tipo A. Compresiones en el hormigón (en Pa). Sección central.

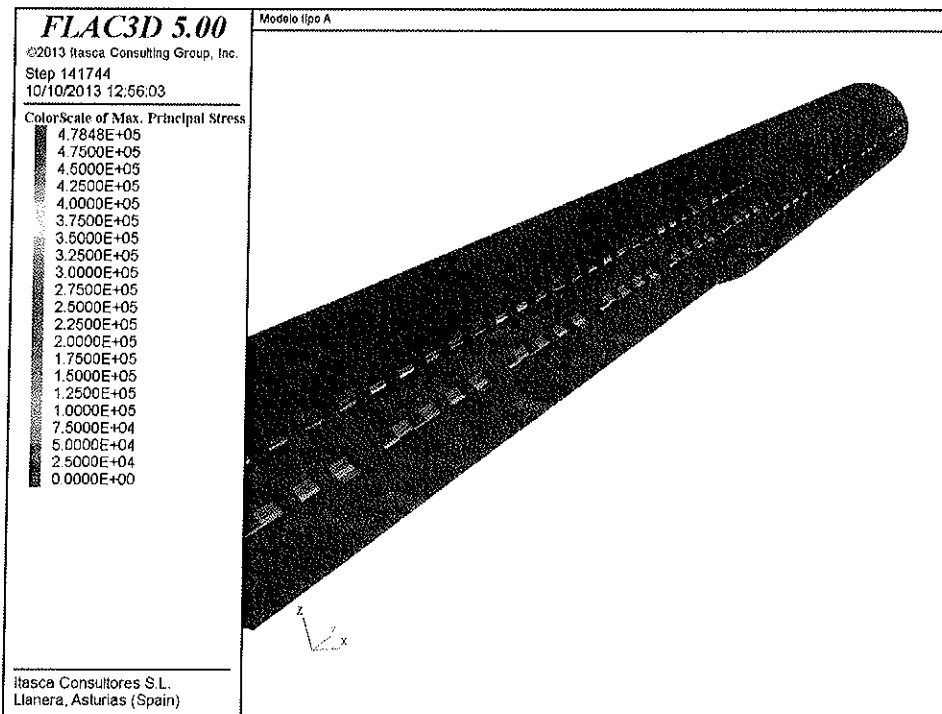


Figura 3.1-14. Sección tipo A. Tracciones en el hormigón (en Pa).



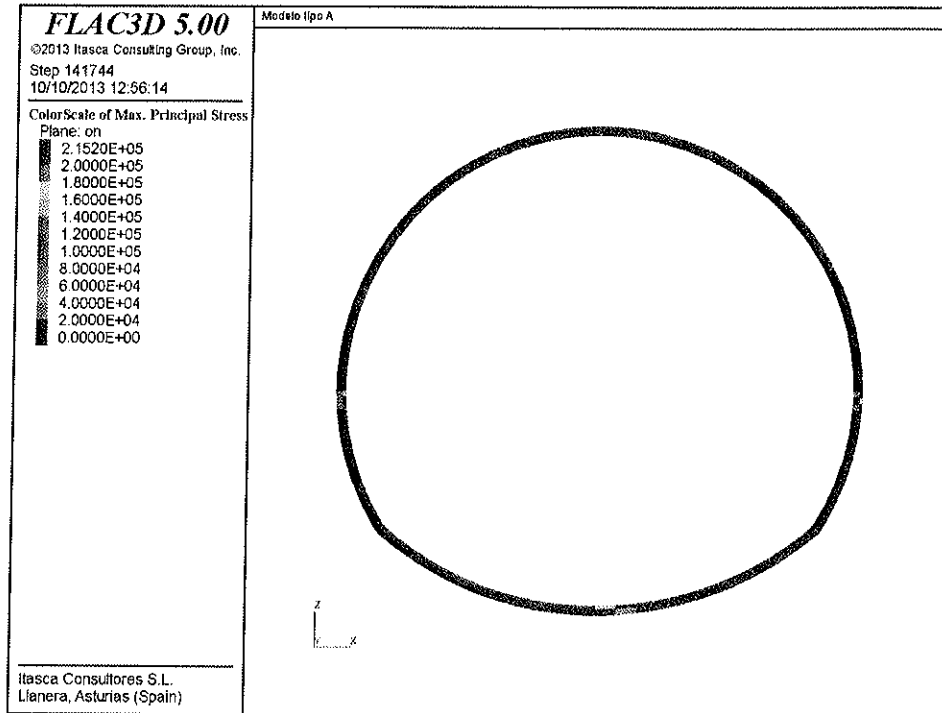


Figura 3.1-15. Sección tipo A. Tracciones en el hormigón (en Pa). Sección central.

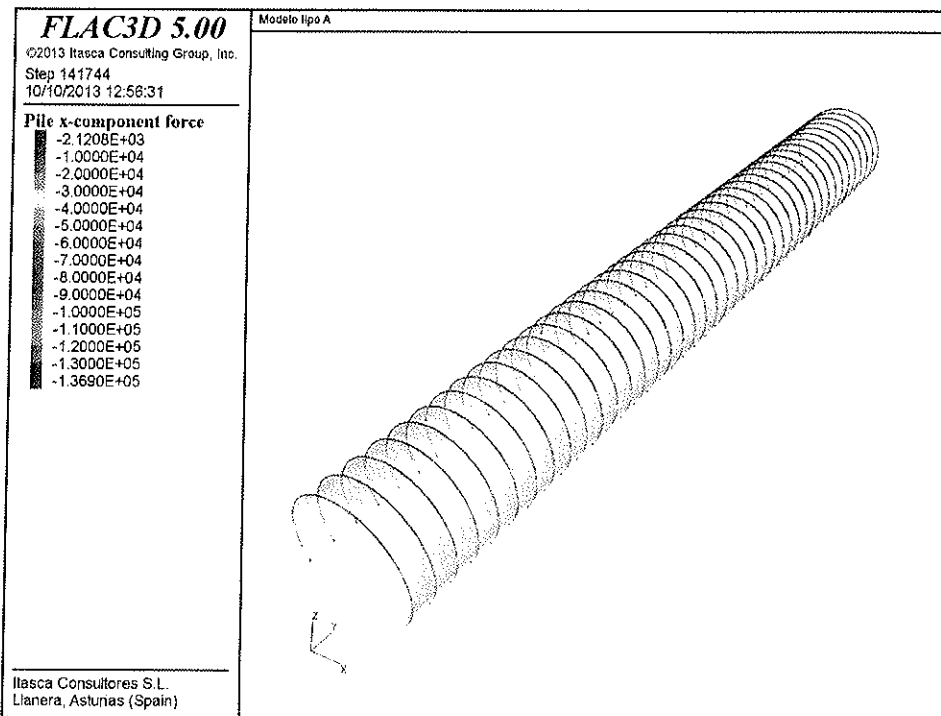


Figura 3.1-16. Sección tipo A. Distribución de axiles en las cerchas (en N).

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO PIAN LASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



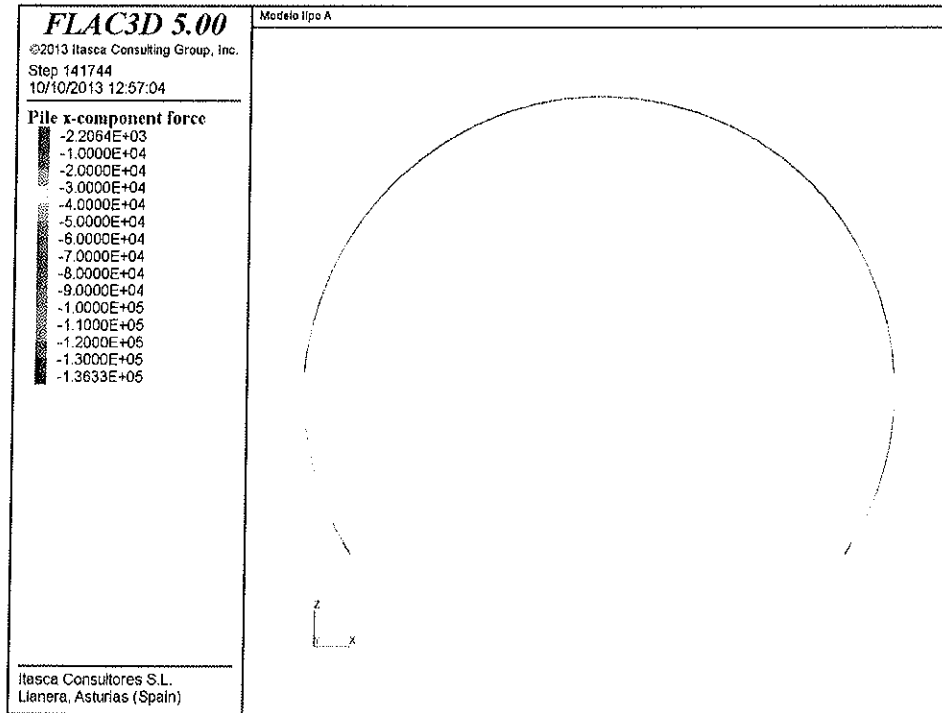


Figura 3.1-17. Sección tipo A. Distribución de axiles en las cerchas (en N). Sección central.

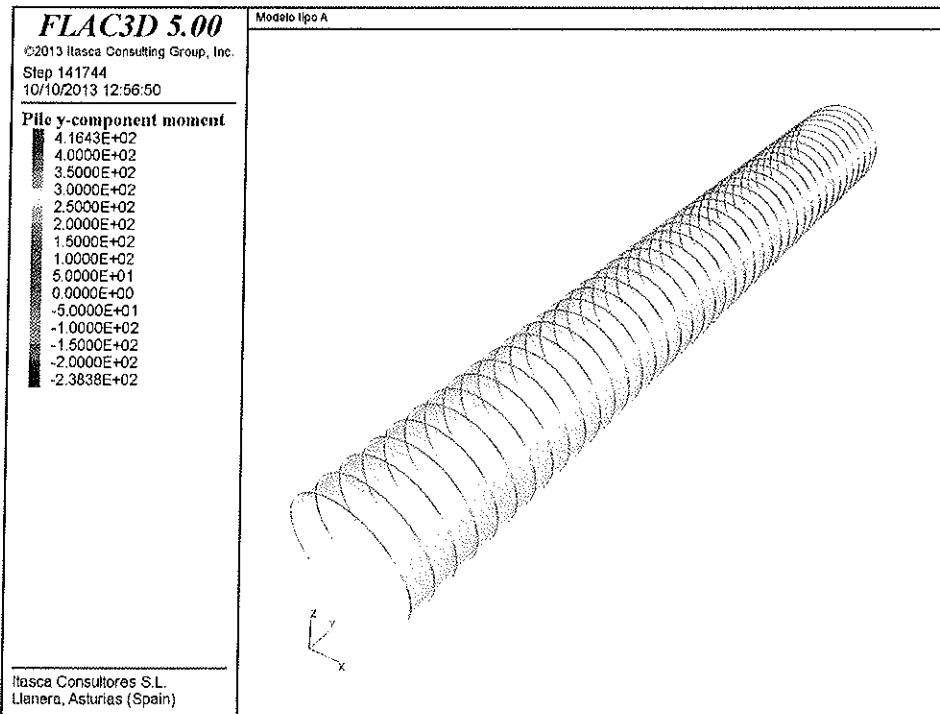


Figura 3.1-18. Sección tipo A. Distribución de flectores en las cerchas (en m·N).

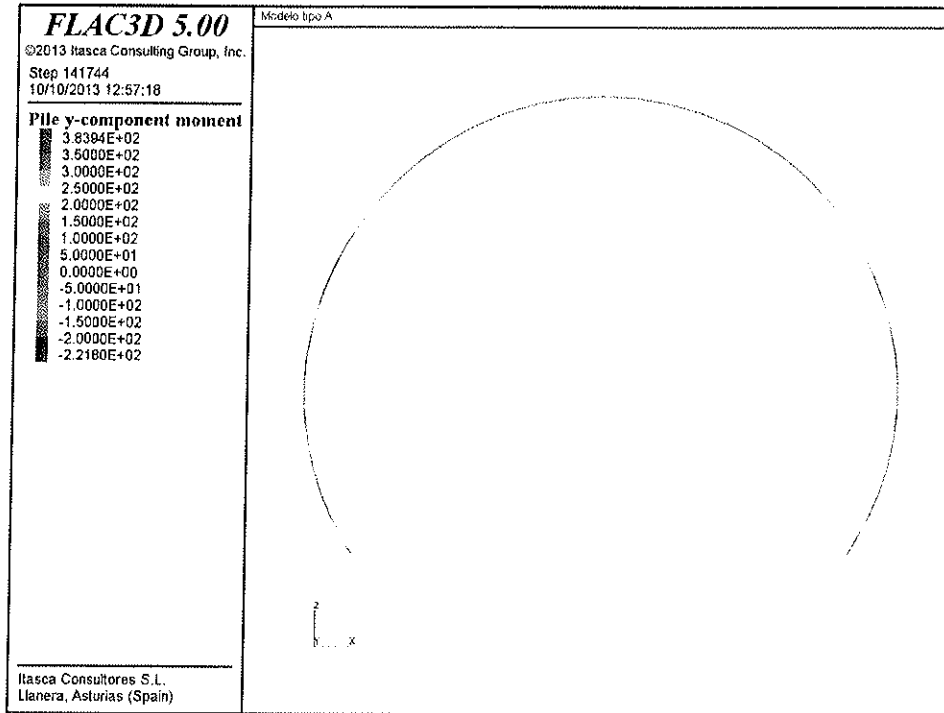


Figura 3.1-19. Sección tipo A. Distribución de flectores en las cerchas (en m·N). Sección central.

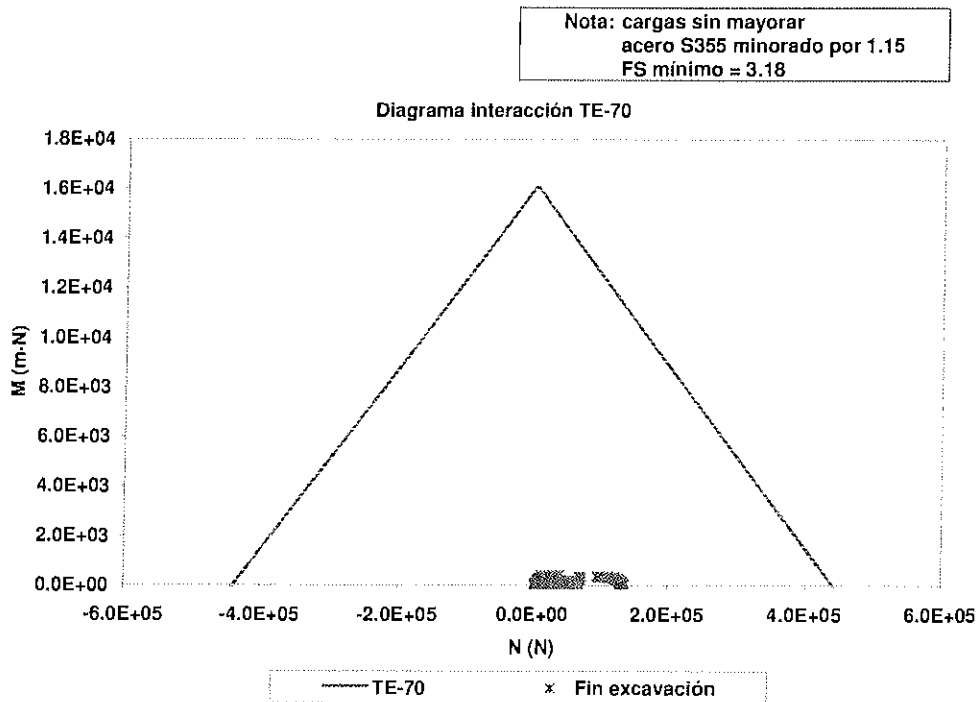


Figura 3.1-20. Sección tipo A. Diagrama de interacción de las cerchas.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



Pág.

### 3.2 Sección tipo B

			Máximo	Figura N°	Observaciones
Fase Final	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	29.7	3.2-1/3.2-4	Localizados sobre clave
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	39.9	3.2-2/3.2-5	Localizados en el hastial de destroza
		Desp. Vertical en superficie (mm)	16.0	3.2-4	Máximo sobre clave
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	7.4	3.2-5	Máximo a 17 m del eje del túnel
		Plastificación	1-1.5 m	3.2-6/3.2-7	Alrededor de la excavación
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5	3.2-14/3.2-15	Las tracciones son nulas en prácticamente toda la sección Máximos puntuales (0.7 MPa) en la unión hastial-contrabóveda
		Compresiones (MPa)	5.8	3.2-11/3.2-12	Máximo localizado en la unión hastial-contrabóveda En la bóveda máximos de 3.7 MPa
		Semiconvergencia Horiz. medible (mm)	25	3.2-10	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
		Bajada de clave medible (mm)	15	3.2-9	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
	Cerchas TE-130	Axil (T)	19.2	3.2-17/3.2-18	Estos valores corresponden a los máximos, no tienen porque ser concomitantes
		Flector (m*T)	0.26	3.2-19/3.2-20	En diagrama de interacción, con valores concomitantes, se obtiene un FS=2.13
	Factor de seguridad del frente			1.25	3.2-21/3.2-22

**Tabla 3.2-1. Sección tipo B. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo.**

Teniendo en cuenta las hipótesis consideradas en este modelo numérico (propiedades del terreno, geometría, cuantías de sostenimiento, longitud del pase de excavación, etc.), del cálculo realizado se concluye lo siguiente:

- El desplazamiento vertical máximo en la sección es de 29.7 mm sobre clave
- El desplazamiento horizontal máximo es de 39.9 mm en el hastial de destroza.
- El desplazamiento del frente de avance medio es de 40-50 mm.
- En superficie, estas deformaciones se traducen en un asiento máximo de 16 mm y un desplazamiento horizontal máximo de 7.4 mm.
- La bajada de clave máxima en el sostenimiento es de 15 mm. La semi-convergencia medible máxima en el avance es de 25 mm. En el modelo, se considera que la lectura de los puntos de monitoreo comienzan a una distancia de 0 m del frente.
- Las compresiones máximas en el sostenimiento son de 5.8 MPa en la unión hastial-contrabóveda. En la bóveda, el máximo calculado es de 3.7 MPa.
- Las tracciones son prácticamente nulas en toda la sección, salvo en la unión entre el hastial y la contrabóveda, con máximos de 0.7 MPa.

- En la solera provisional del avance, se obtiene una compresión media de 7 MPa, con un pico máximo de hasta 15 MPa en el entronque bóveda-solera. Las tracciones son prácticamente nulas en la solera, salvo en los apoyos de las esquinas con un máximo de 1.2 MPa.
- Representando los axiles y flectores concomitantes de todos los elementos de cercha en un diagrama de interacción y teniendo en cuenta la resistencia de la cercha, se obtienen factores de seguridad mínimos de  $FS=2.13$ .
- El análisis de la estabilidad del frente da como resultado un FS mínimo en el frente de 1.25

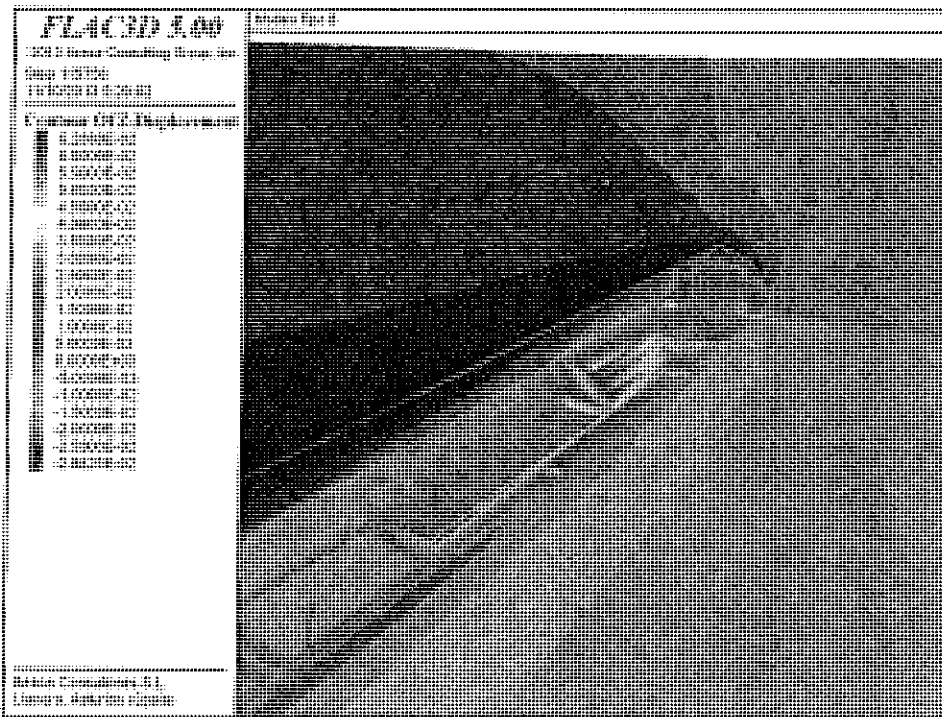
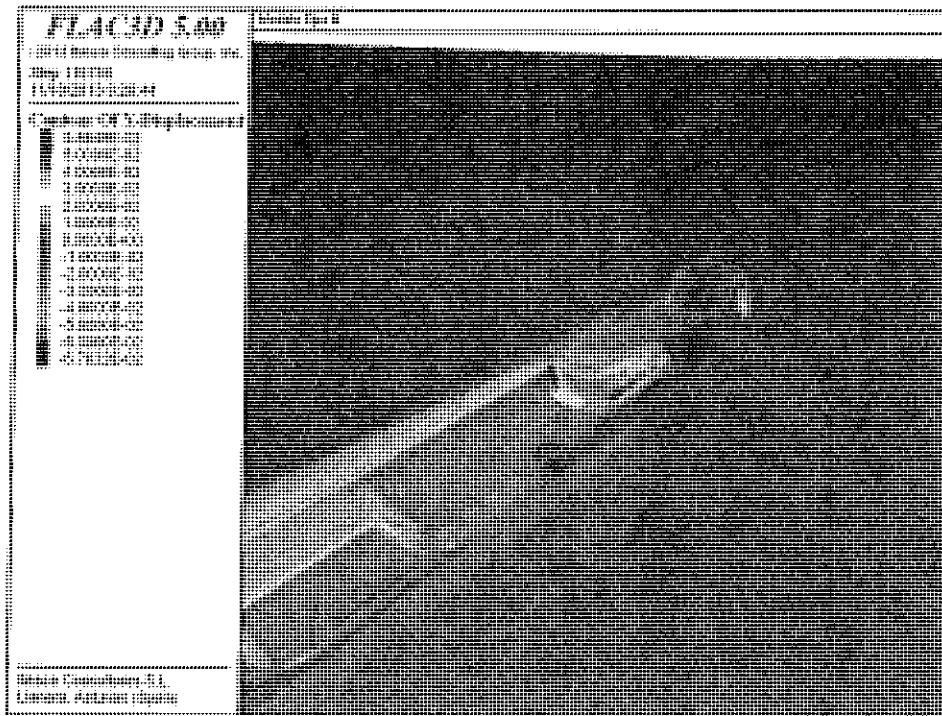
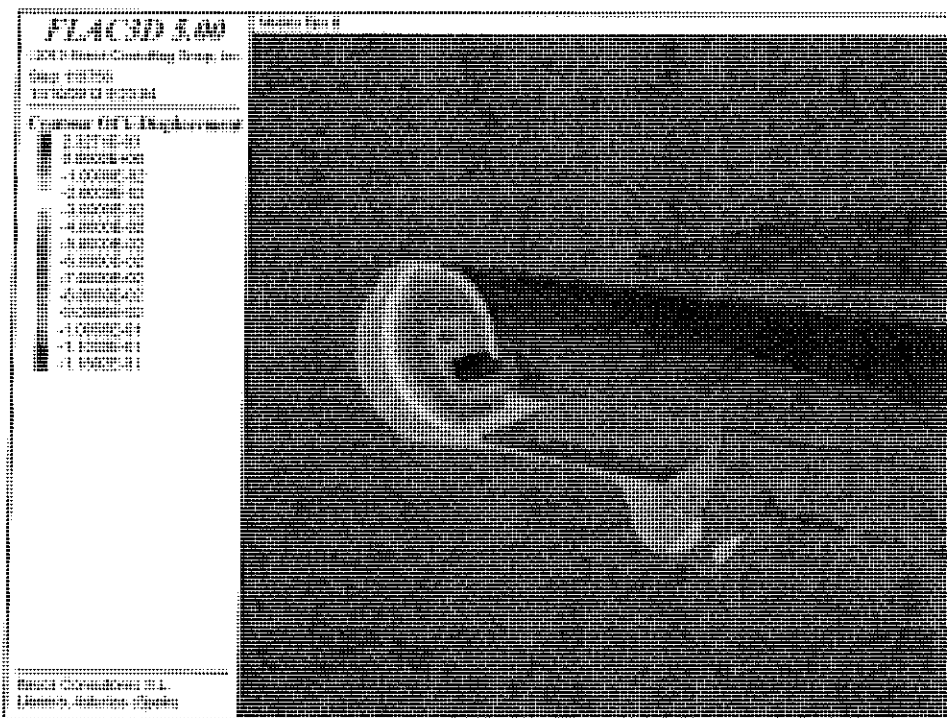


Figura 3.2-1. Sección tipo B. Desplazamiento vertical del terreno (en m). Fase intermedia



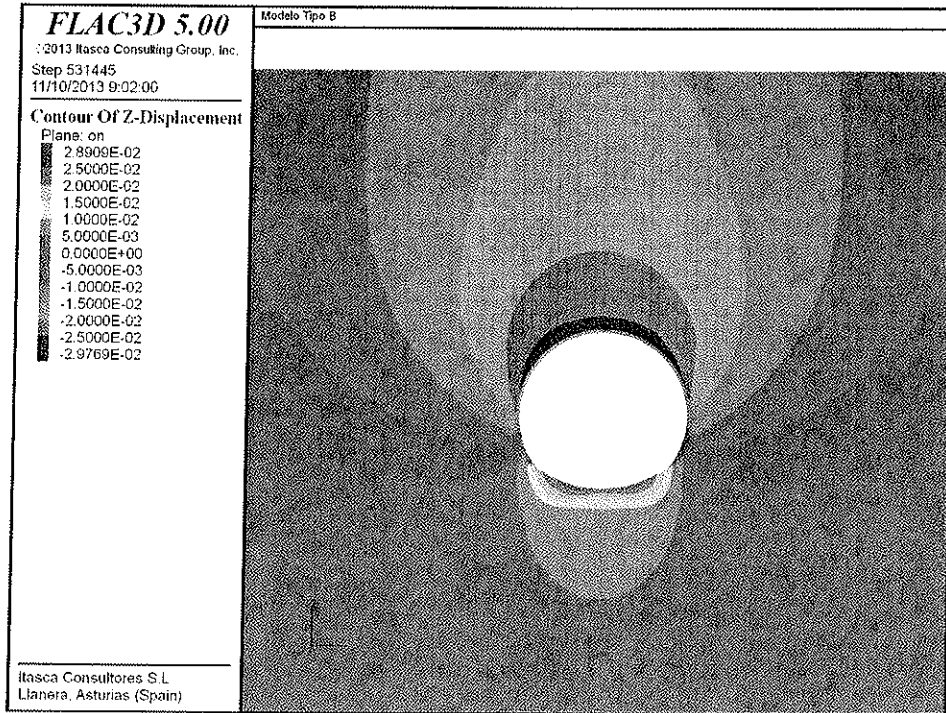
**Figura 3.2-2. Sección tipo B. Desplazamiento horizontal transversal del terreno (en m). Fase intermedia.**



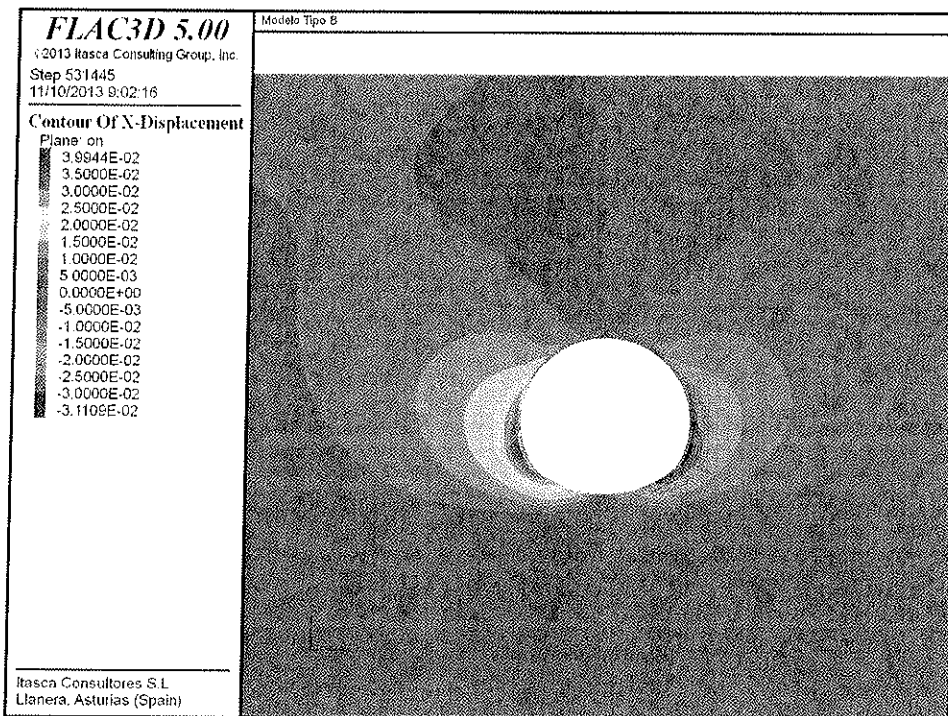
**Figura 3.2-3. Sección tipo B. Desplazamiento horizontal longitudinal del terreno (en m). Fase intermedia.**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





*Figura 3.2-4. Sección tipo B. Desplazamiento vertical del terreno (en m). Sección vertical. Fase final.*



*Figura 3.2-5. Sección tipo B. Desplazamiento horizontal transversal del terreno (en m). Sección vertical. Fase final.*

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



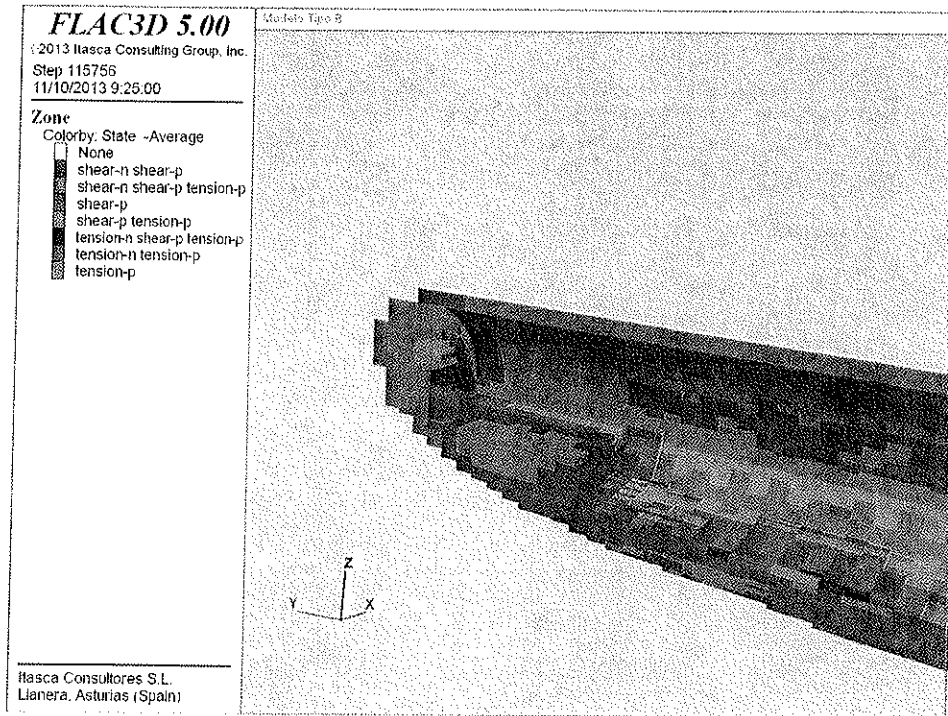


Figura 3.2-6. Sección tipo B. Elementos plastificados en el terreno. Fase intermedia.

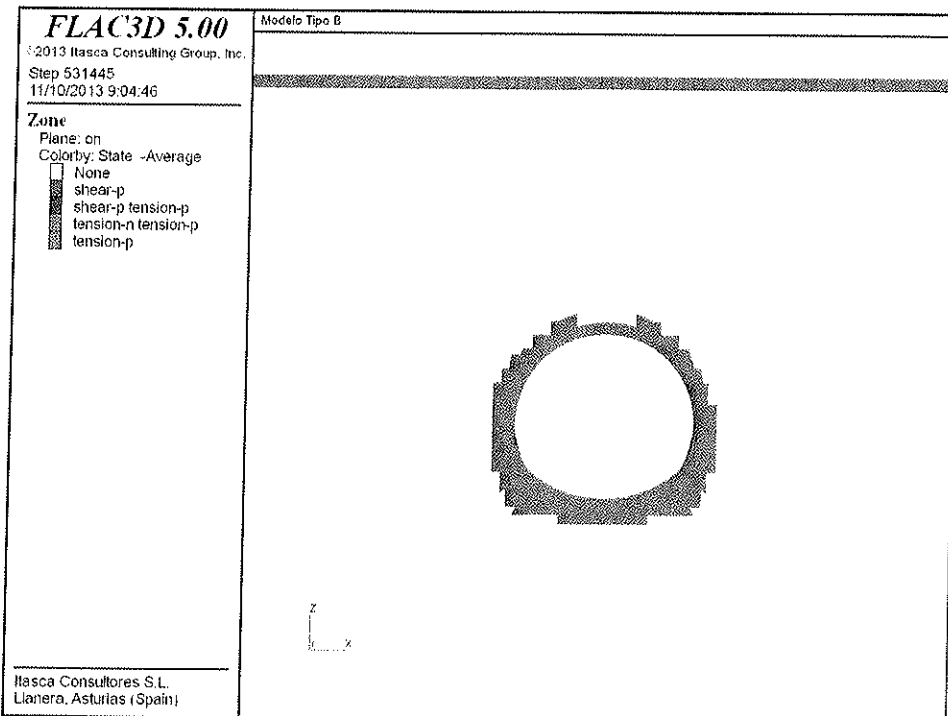


Figura 3.2-7. Sección tipo B. Elementos plastificados en el terreno. Fase final.



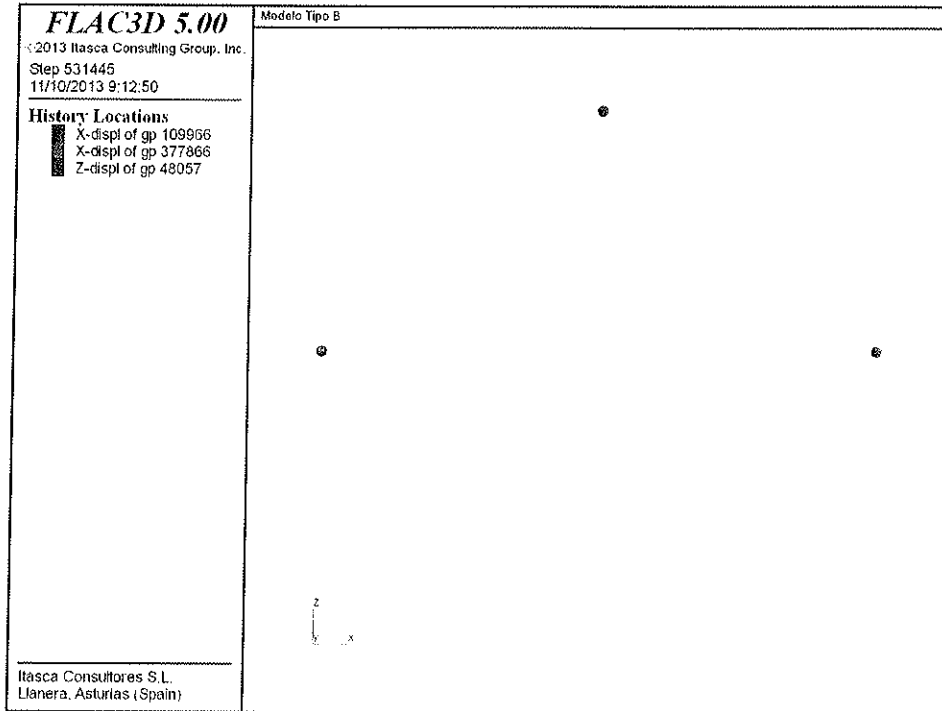


Figura 3.2-8. Sección tipo B. Localización puntos de control en el sostenimiento.

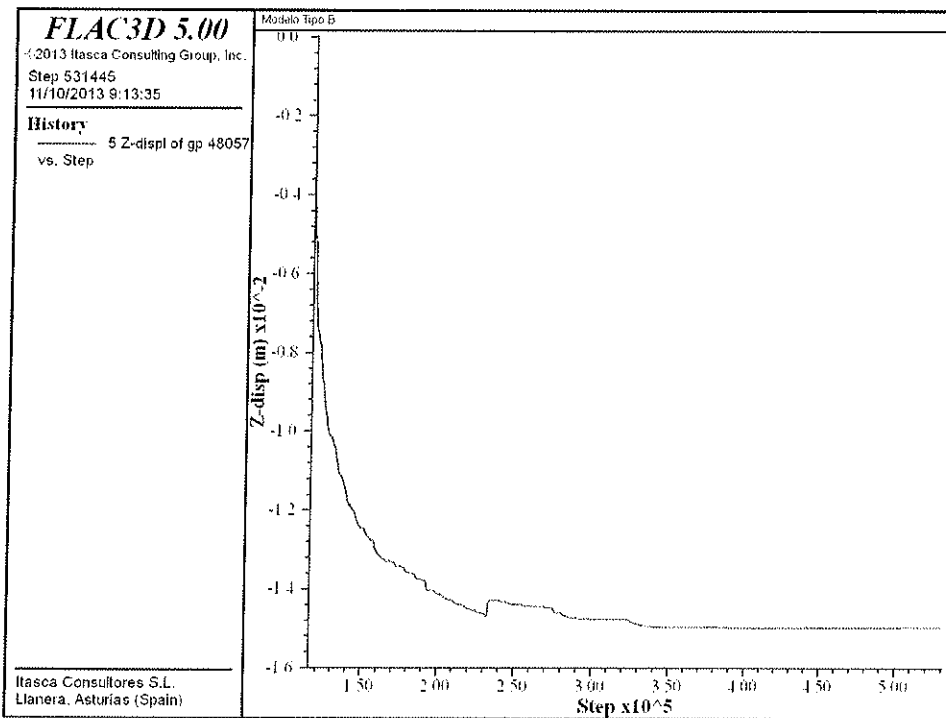


Figura 3.2-9. Sección tipo B. Evolución monitoreo bajada de clave

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



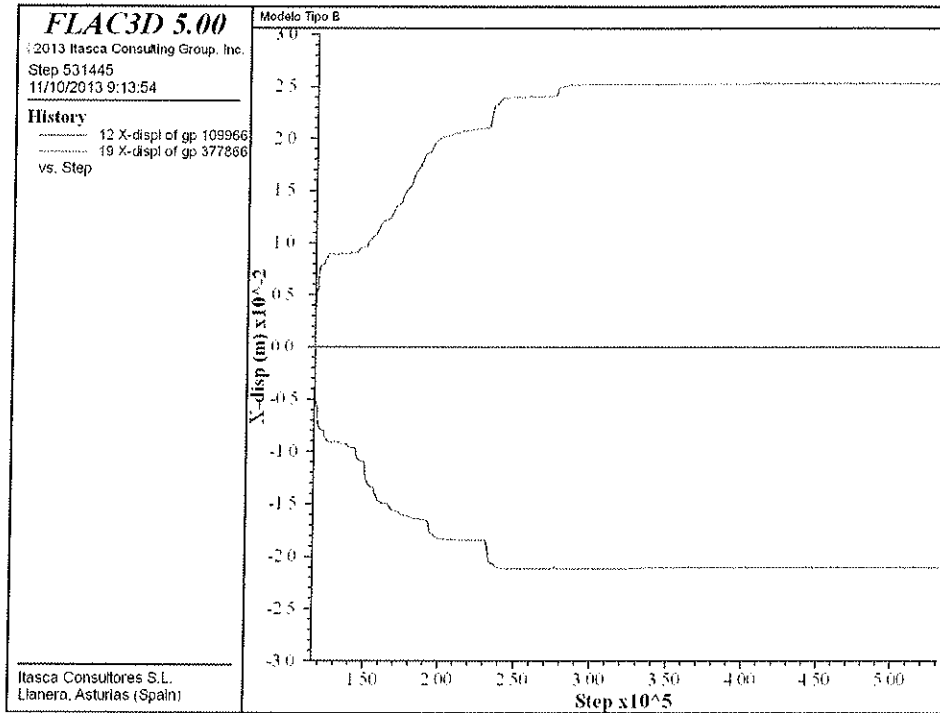


Figura 3.2-10. Sección tipo B. Evolución monitoreo bóveda en hombros.

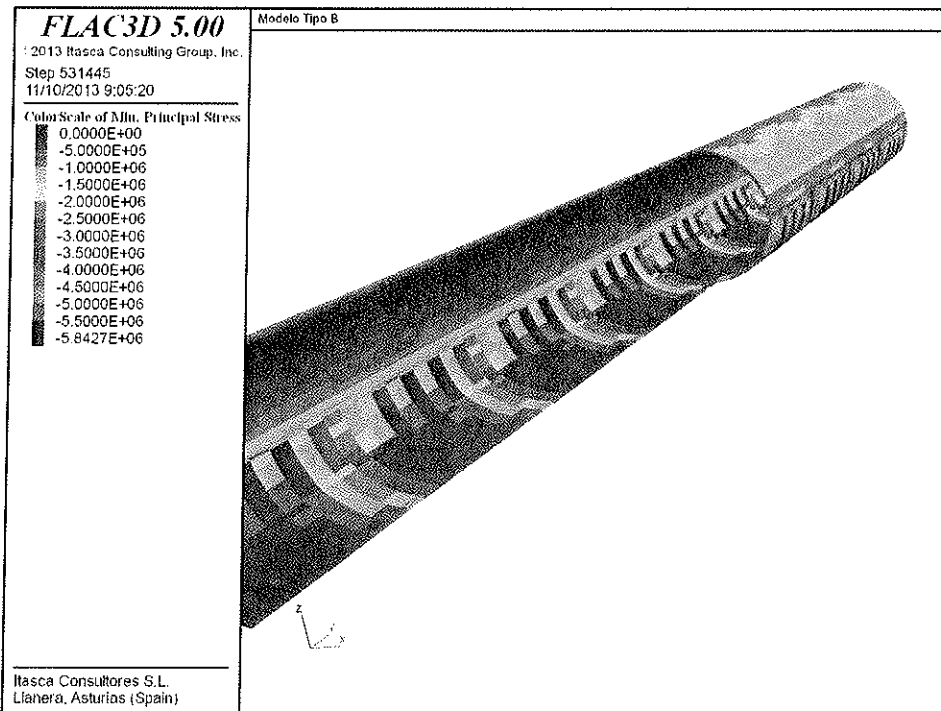


Figura 3.2-11. Sección tipo B. Compresiones en el hormigón (en Pa).

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO HUAN BASATE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



Handwritten signature and initials.

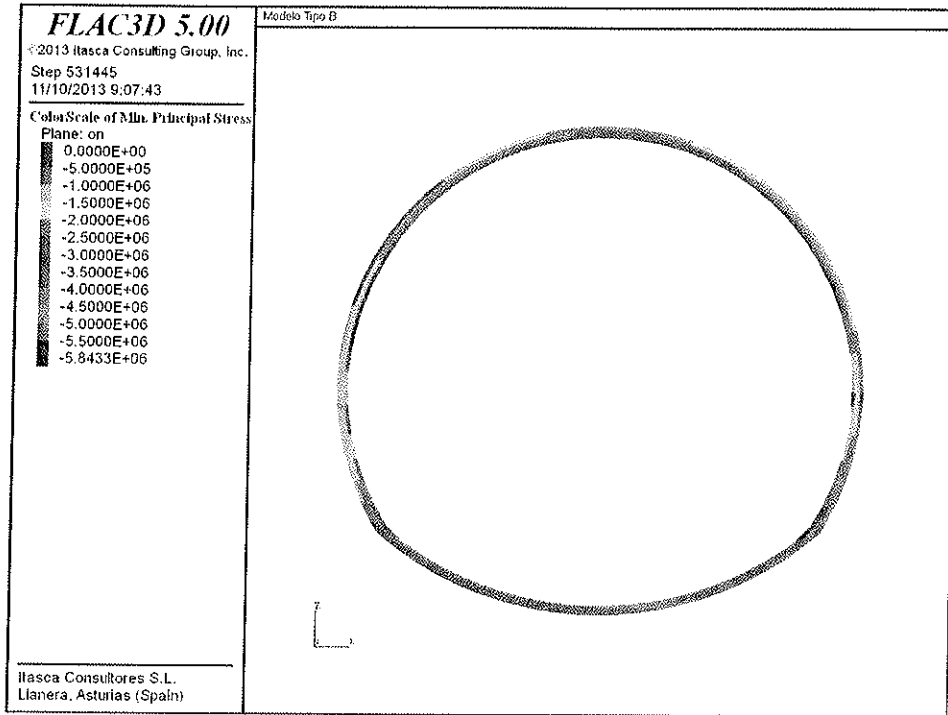


Figura 3.2-12. Sección tipo B. Compresiones en el hormigón (en Pa). Sección central.

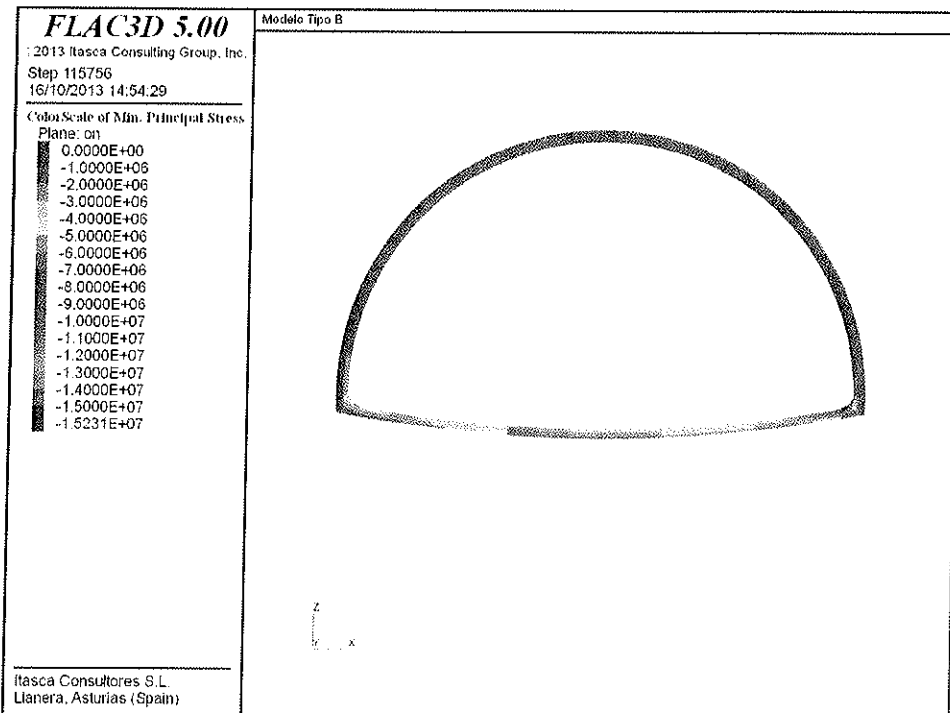
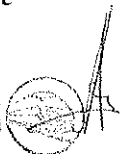


Figura 3.2-13. Sección tipo B. Compresiones en el hormigón (en Pa). Sección central. Fase intermedia del avance.

CONSEJO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



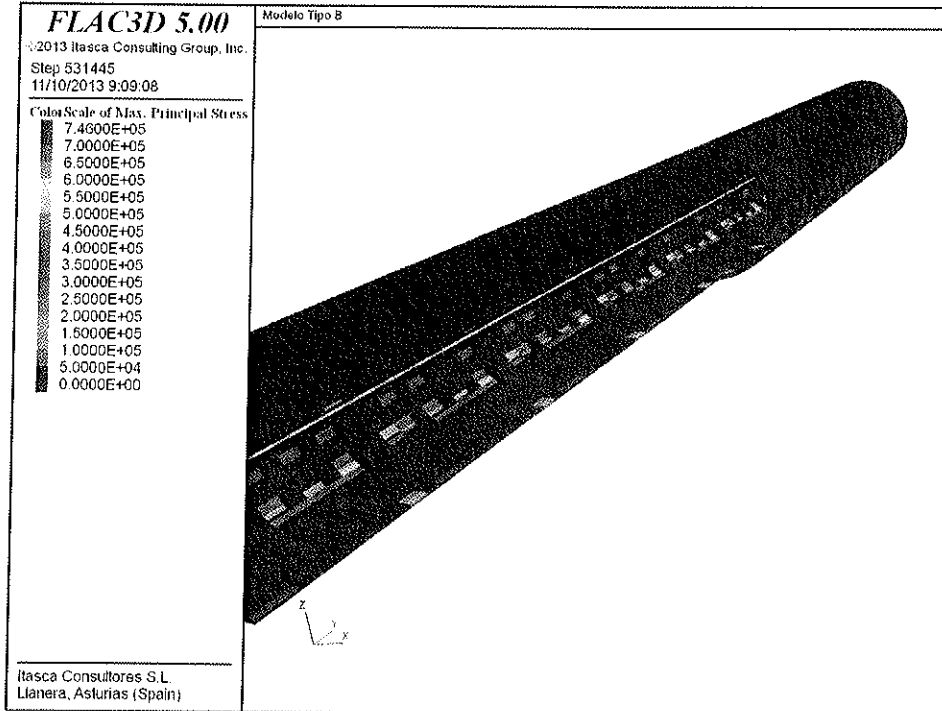


Figura 3.2-14. Sección tipo B. Tracciones en el hormigón (en Pa).

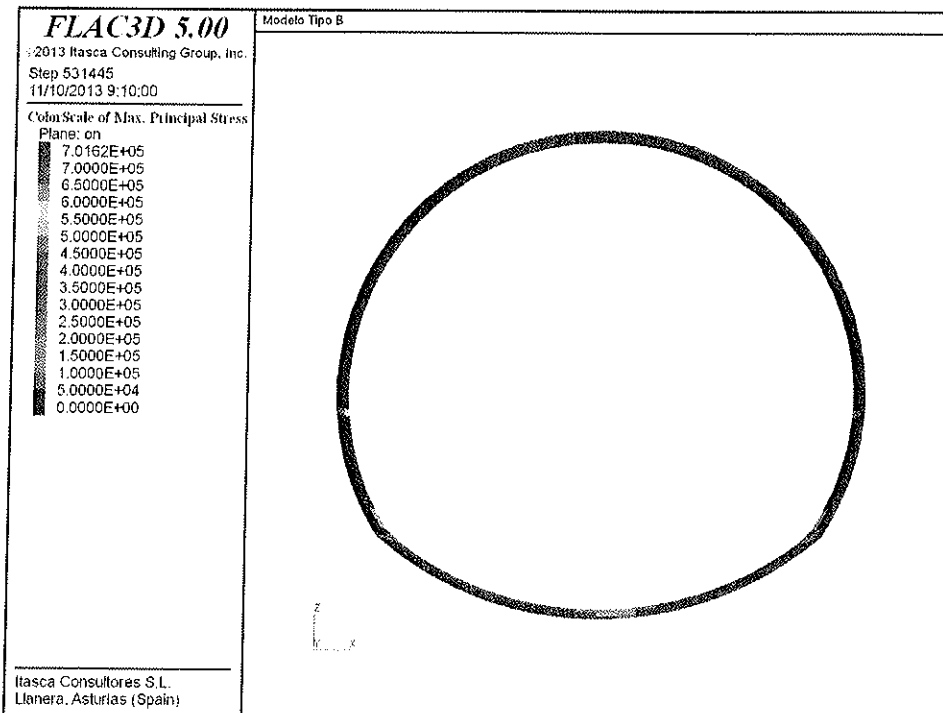


Figura 3.2-15. Sección tipo B. Tracciones en el hormigón (en Pa). Sección central.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASARRE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



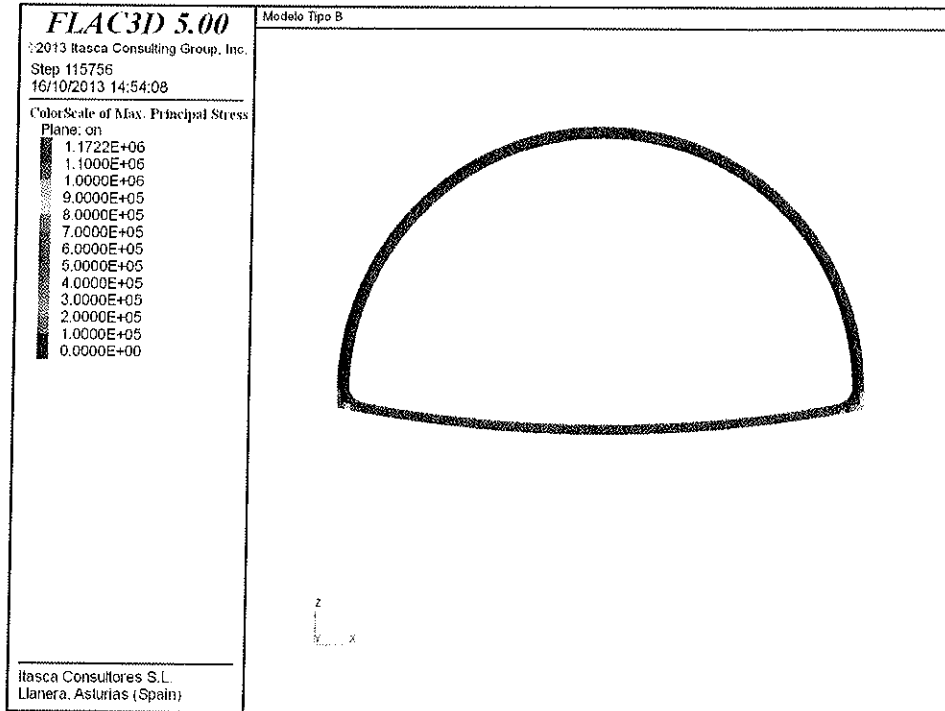


Figura 3.2-16. Sección tipo B. Tracciones en el hormigón (en Pa). Sección central. Fase intermedia del avance.

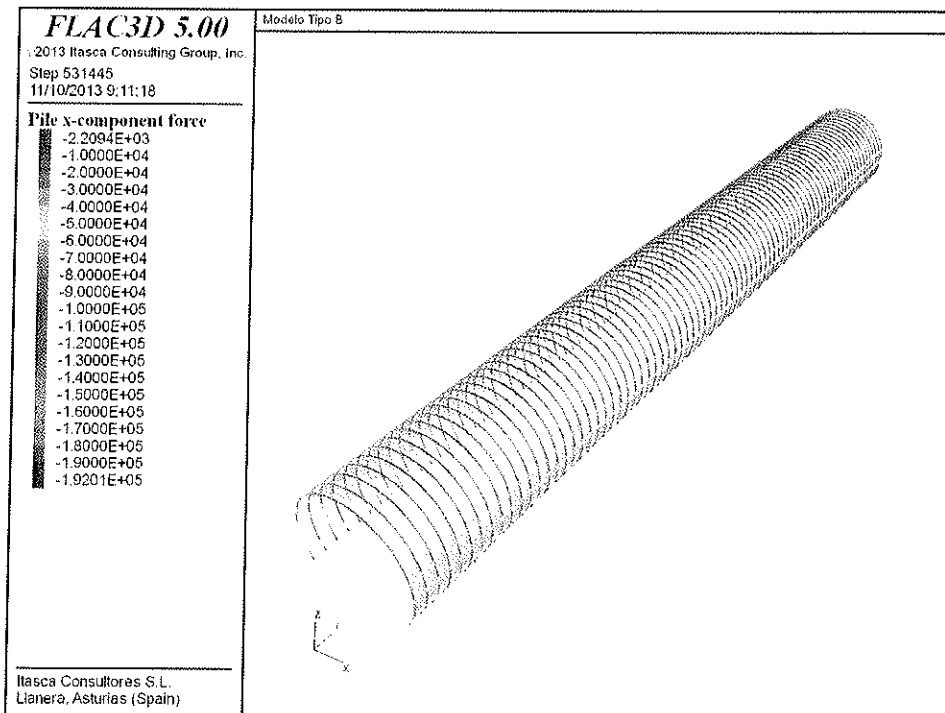


Figura 3.2-17. Sección tipo B. Distribución de axiles en las cerchas (en N).

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

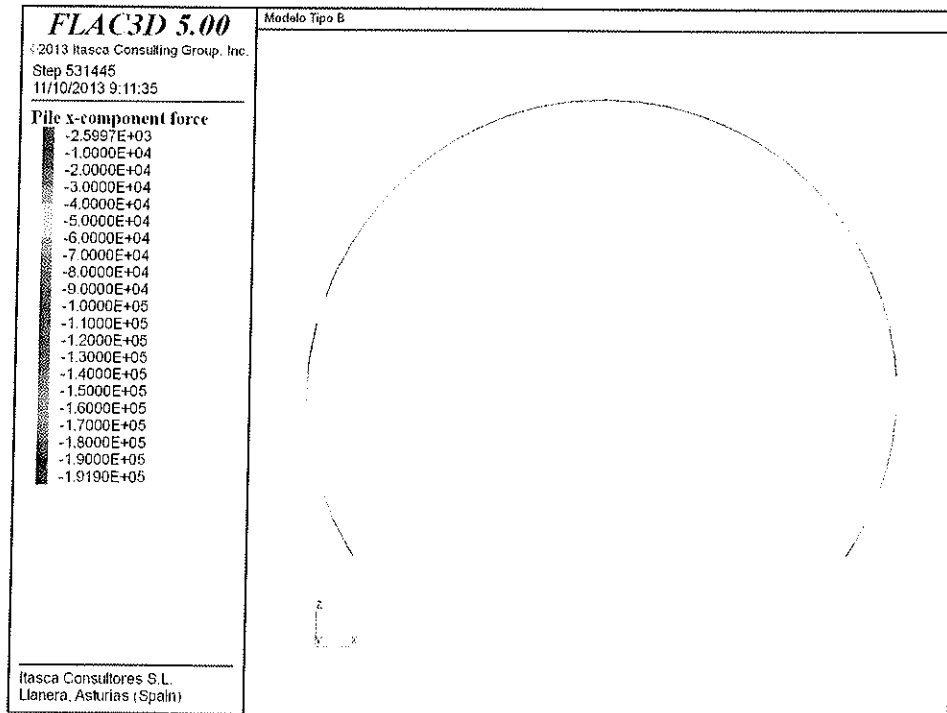


Figura 3.2-18. Sección tipo B. Distribución de axiles en las cerchas (en N). Sección central.

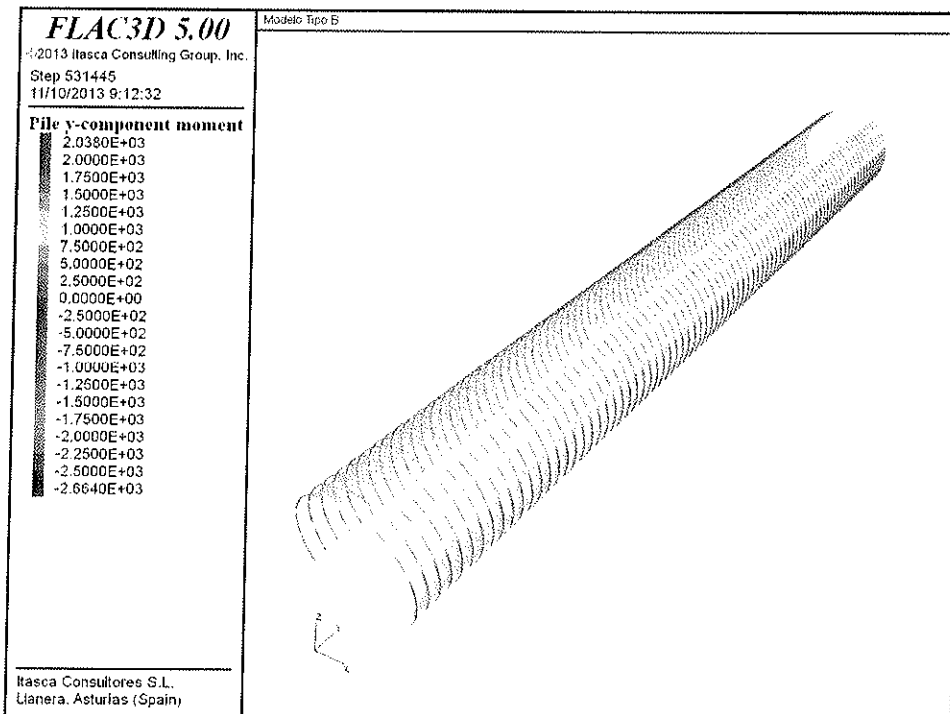



Figura 3.2-19. Sección tipo B. Distribución de flectores en las cerchas (en m·N).

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



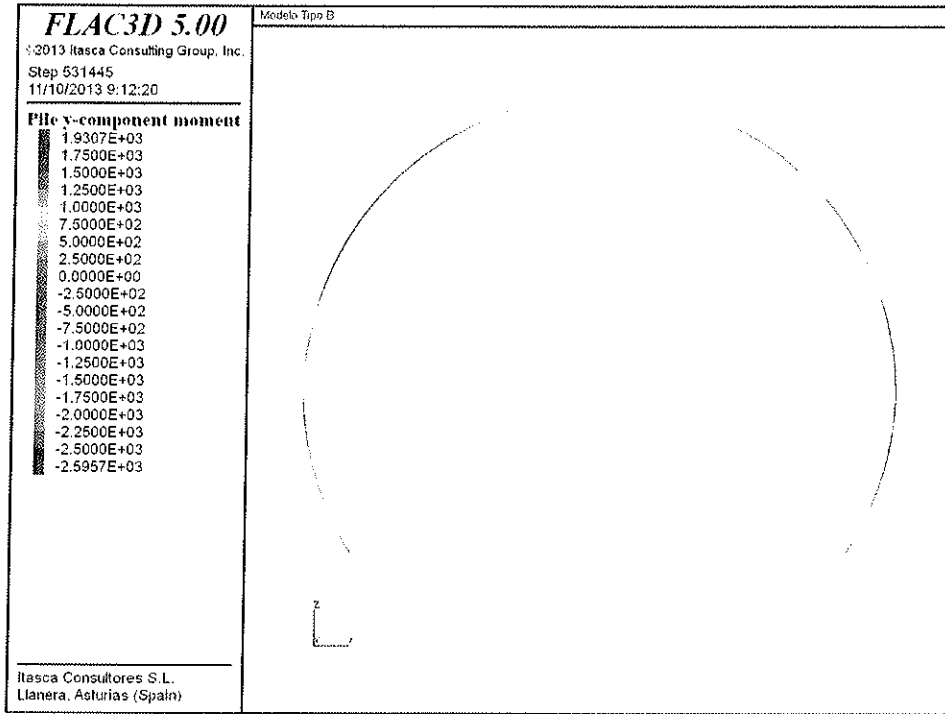


Figura 3.2-20. Sección tipo B. Distribución de flectores en las cerchas (en m·N). Sección central.

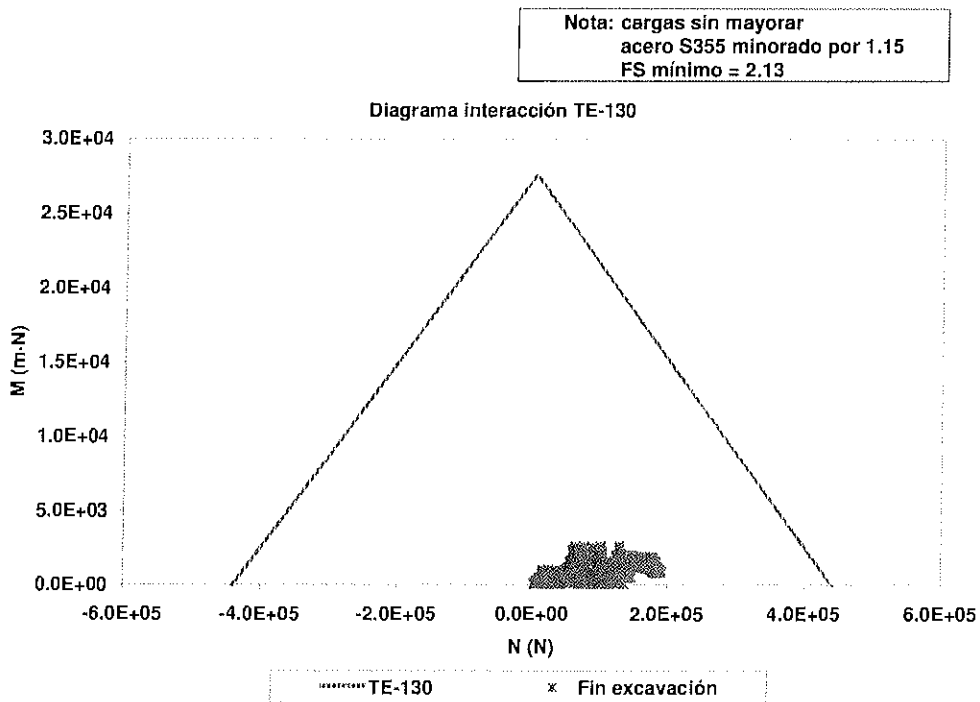


Figura 3.2-21. Sección tipo B. Diagrama de interacción de las cerchas.

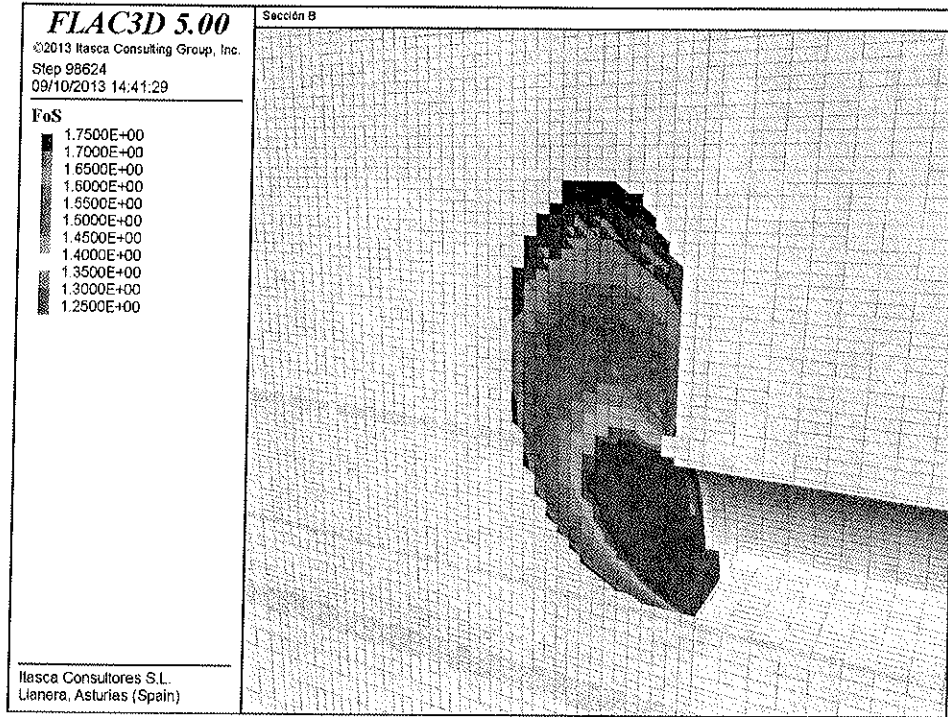


Figura 3.2-22. Sección tipo B. Factor de seguridad del frente de avance.

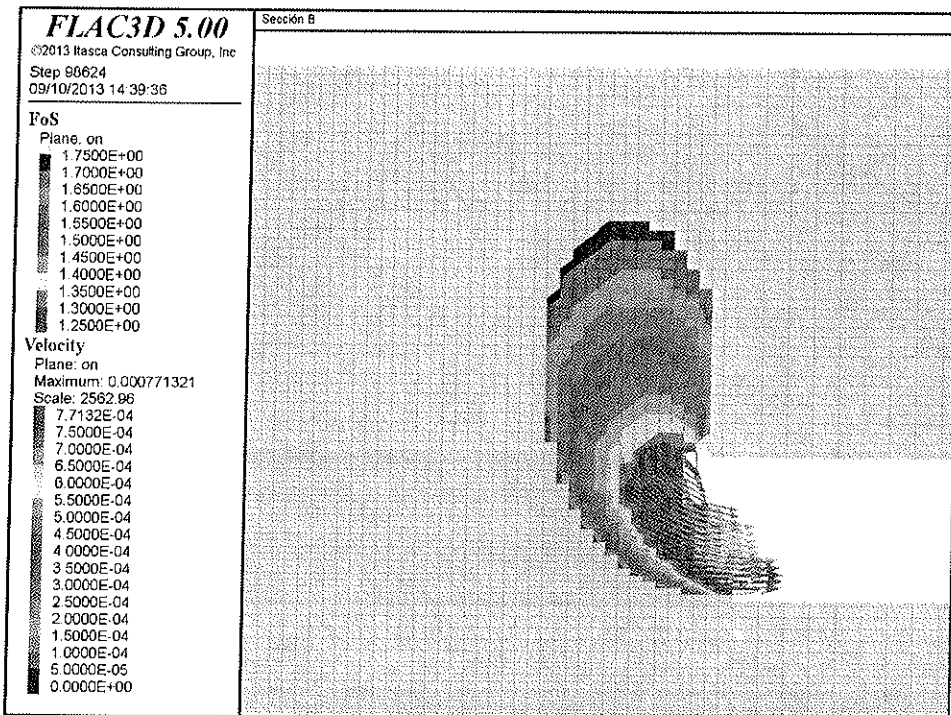


Figura 3.2-23. Sección tipo B. Factor de seguridad del frente de avance. Superficie potencial de rotura.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





### 3.3 Sección tipo B2

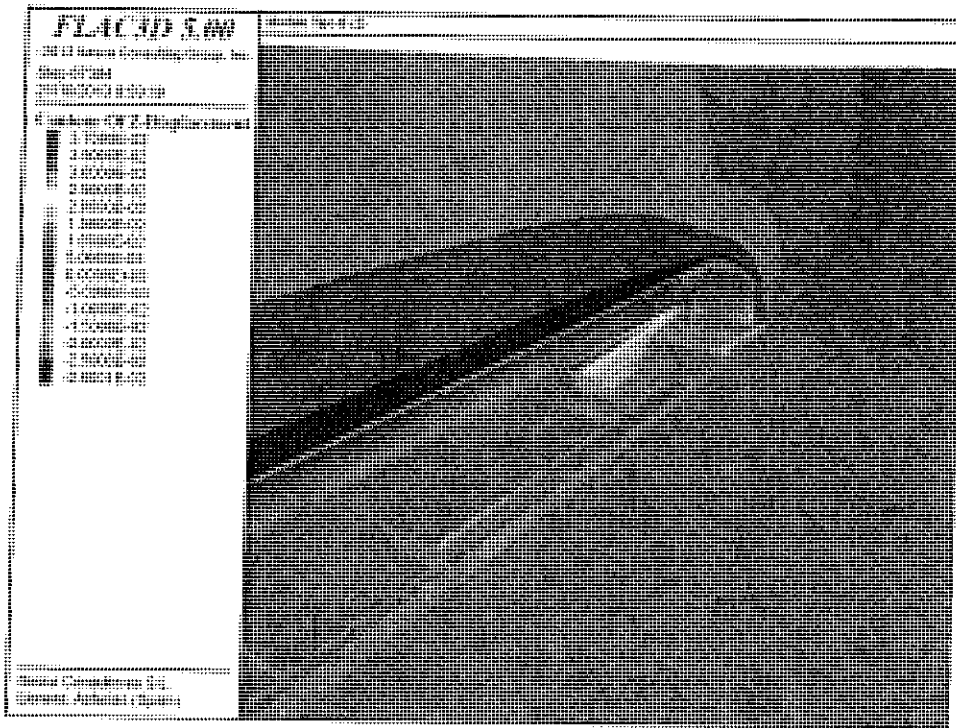
			Máximo	Figura Nº	Observaciones
Fase Final	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	26.0	3.3-1/3.3-4	Localizados sobre clave
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	25.5	3.3-2/3.3-5	Localizados en el hastial de destroza
		Desp. Vertical en superficie (mm)	12.3	3.3-4	Máximo sobre clave
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	5.7	3.3-5	Máximo a 13 m del eje del túnel
		Plastificación	1-1.5 m	3.3-6/3.3-7	Alrededor de la excavación
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5	3.3-14/3.3-15	Las tracciones son nulas en prácticamente toda la sección Máximos puntuales (0.7 MPa) en la unión hastial-contrabóveda
		Compresiones (MPa)	3.9	3.3-11/3.3-12	Máximo localizado en la unión hastial-contrabóveda En la bóveda máximos de 3.5 MPa
		Semiconvergencia Horiz. medible (mm)	20	3.3-10	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
		Bajada de clave medible (mm)	12.5	3.3-9	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
	Cerchas TE-130	Axil (T)	18.0	3.3-17/3.3-18	Estos valores corresponden a los máximos, no tienen porque ser concomitantes En diagrama de Interacción, con valores concomitantes, se obtiene un FS=2.33
Flector (m*T)		0.24	3.3-19/3.3-20		

**Tabla 3.3-1. Sección tipo B2. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo.**

Teniendo en cuenta las hipótesis consideradas en este modelo numérico (propiedades del terreno, geometría, cuantías de sostenimiento, longitud del pase de excavación, etc.), del cálculo realizado se concluye lo siguiente:

- El desplazamiento vertical máximo en la sección es de 26 mm sobre clave
- El desplazamiento horizontal máximo es de 25.5 mm en el hastial de destroza.
- El desplazamiento del frente de avance medio es de 40-50 mm.
- En superficie, estas deformaciones se traducen en un asiento máximo de 12.3 mm y un desplazamiento horizontal máximo de 5.7 mm.
- La bajada de clave máxima en el sostenimiento es de 12.5 mm. La semi-convergencia medible máxima en el avance es de 20 mm. En el modelo, se considera que la lectura de los puntos de monitoreo comienzan a una distancia de 0 m del frente.
- Las compresiones máximas en el sostenimiento son de 3.9 MPa en la unión hastial-contrabóveda. En los hombros de la bóveda, el máximo calculado es de 3.5 MPa.
- Las tracciones son prácticamente nulas en toda la sección, salvo en la unión entre el hastial y la contrabóveda, con máximos de 0.65 MPa.

- Representando los axiles y flectores concomitantes de todos los elementos de cercha en un diagrama de interacción y teniendo en cuenta la resistencia de la cercha, se obtienen factores de seguridad mínimos de  $FS=2.33$ .



*Figura 3.3-1. Sección tipo B2. Desplazamiento vertical del terreno (en m). Fase intermedia*

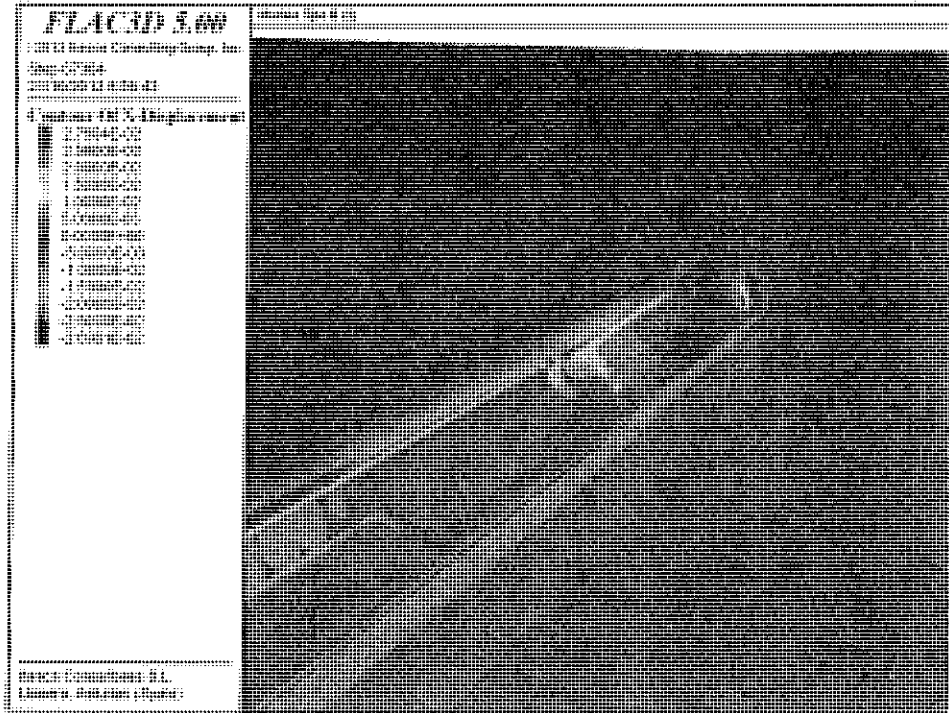


Figura 3.3-2. Sección tipo B2. Desplazamiento horizontal transversal del terreno (en m). Fase intermedia.

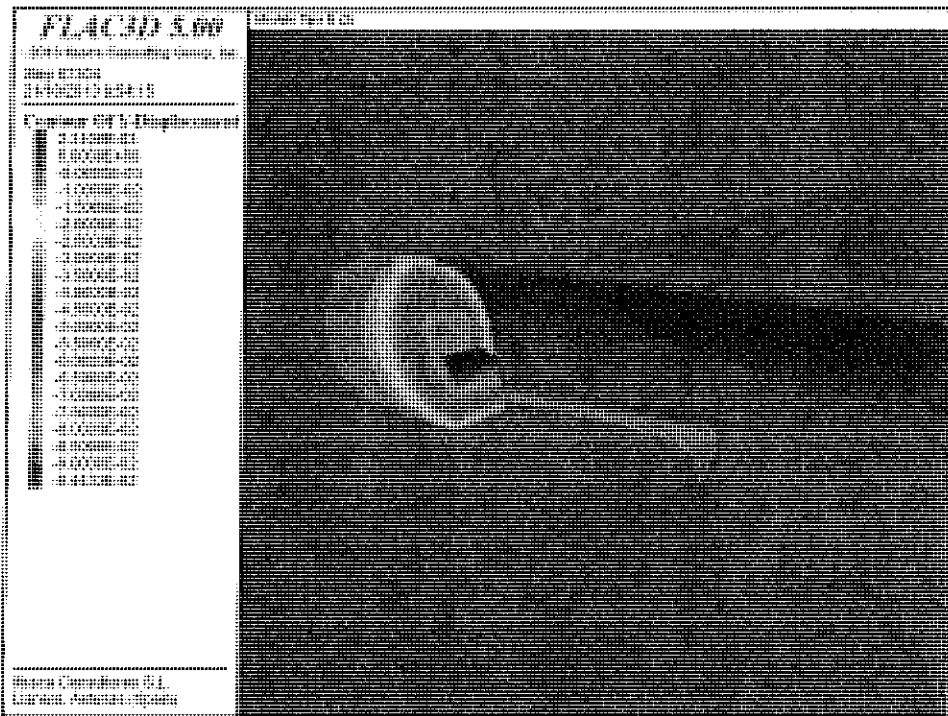
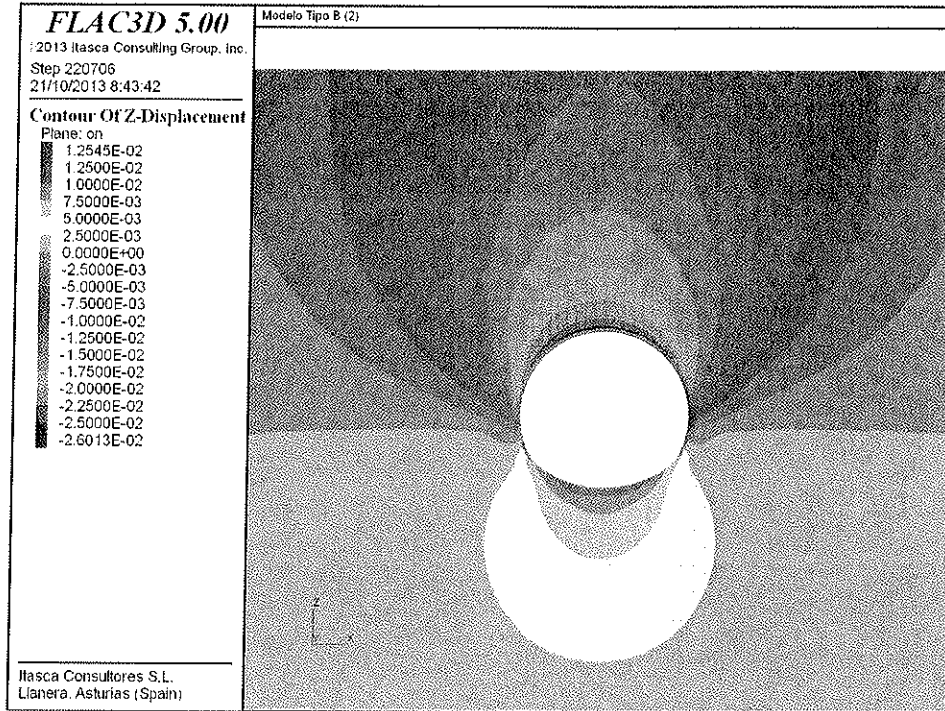
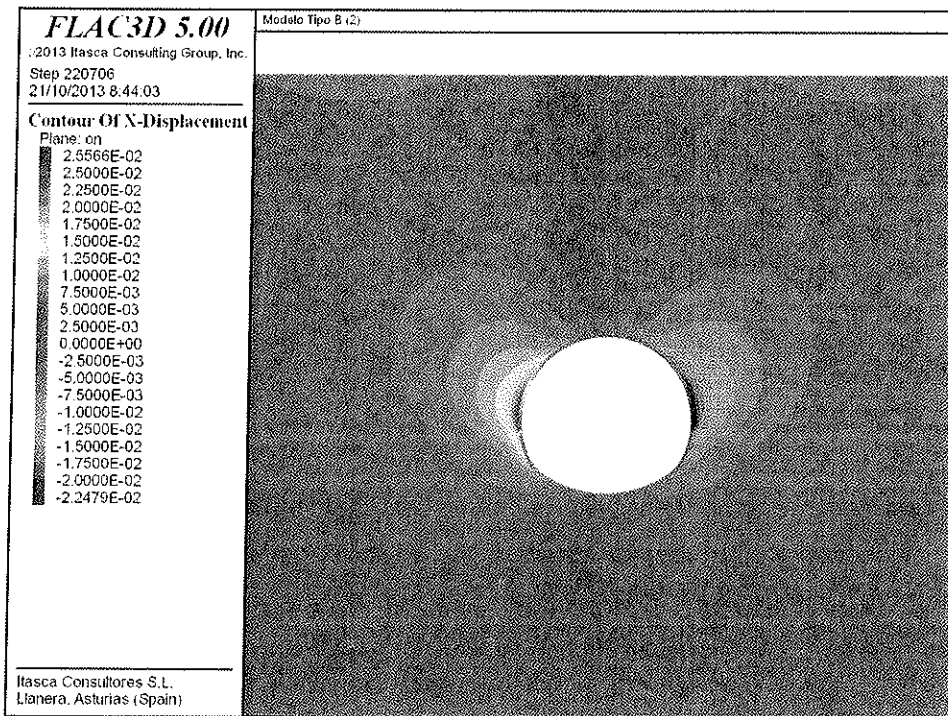


Figura 3.3-3. Sección tipo B2. Desplazamiento horizontal longitudinal del terreno (en m). Fase intermedia.



**Figura 3.3-4. Sección tipo B2. Desplazamiento vertical del terreno (en m). Sección vertical. Fase final.**



**Figura 3.3-5. Sección tipo B2. Desplazamiento horizontal transversal del terreno (en m). Sección vertical. Fase final.**

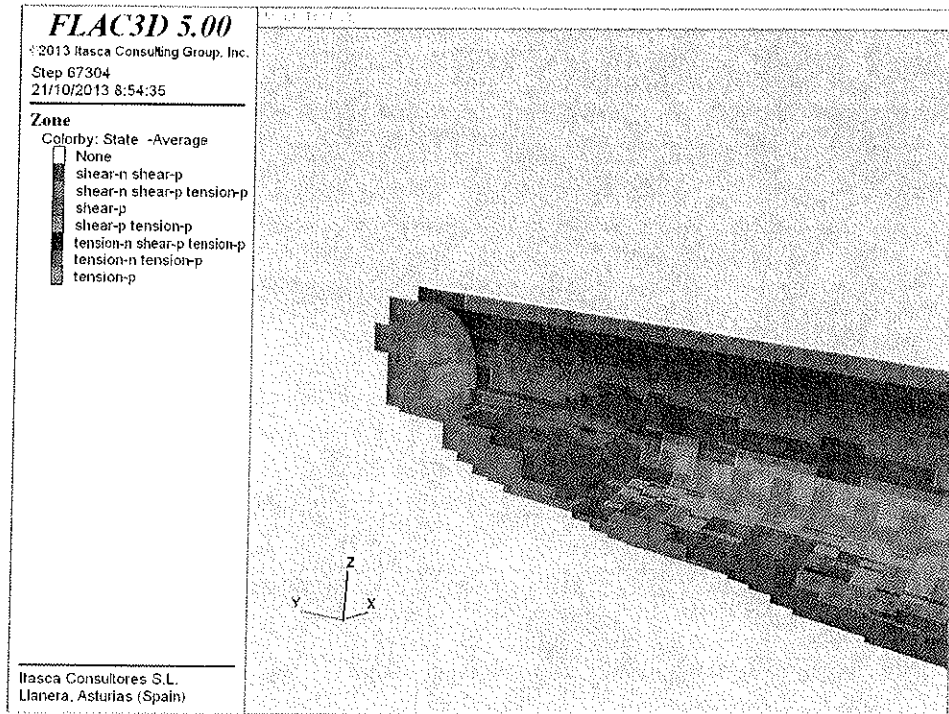


Figura 3.3-6. Sección tipo B2. Elementos plastificados en el terreno. Fase intermedia.

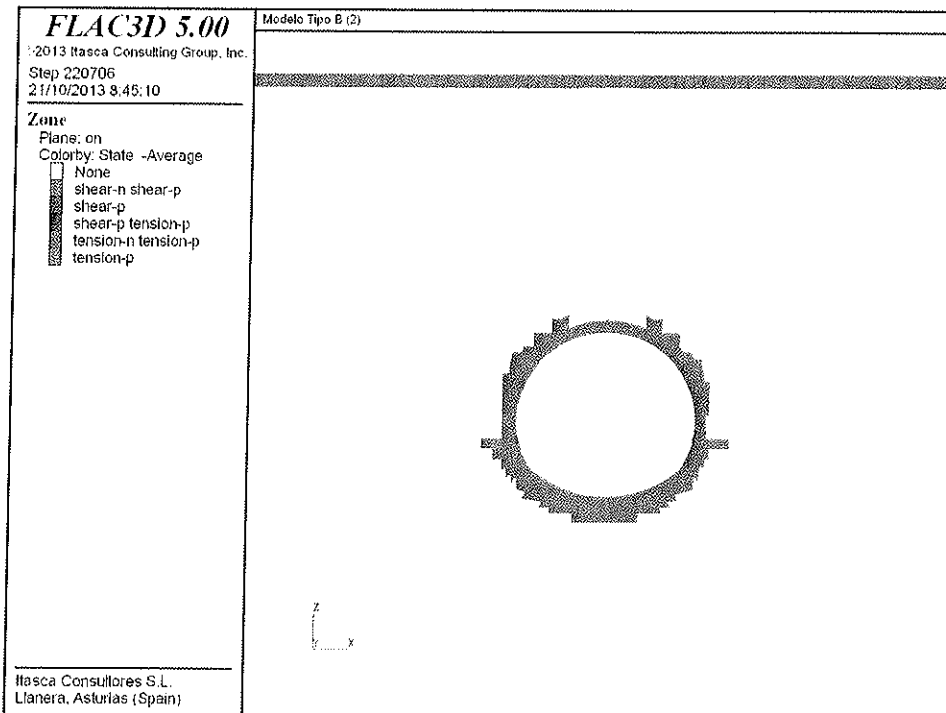


Figura 3.3-7. Sección tipo B2. Elementos plastificados en el terreno. Fase final.

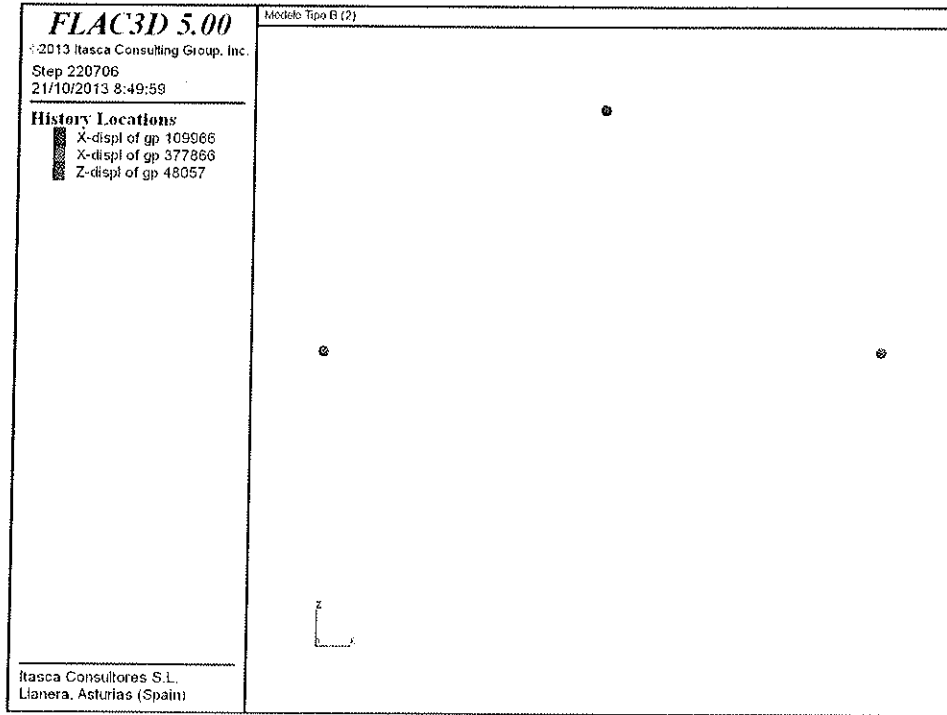


Figura 3.3-8. Sección tipo B2. Localización puntos de control en el sostenimiento.

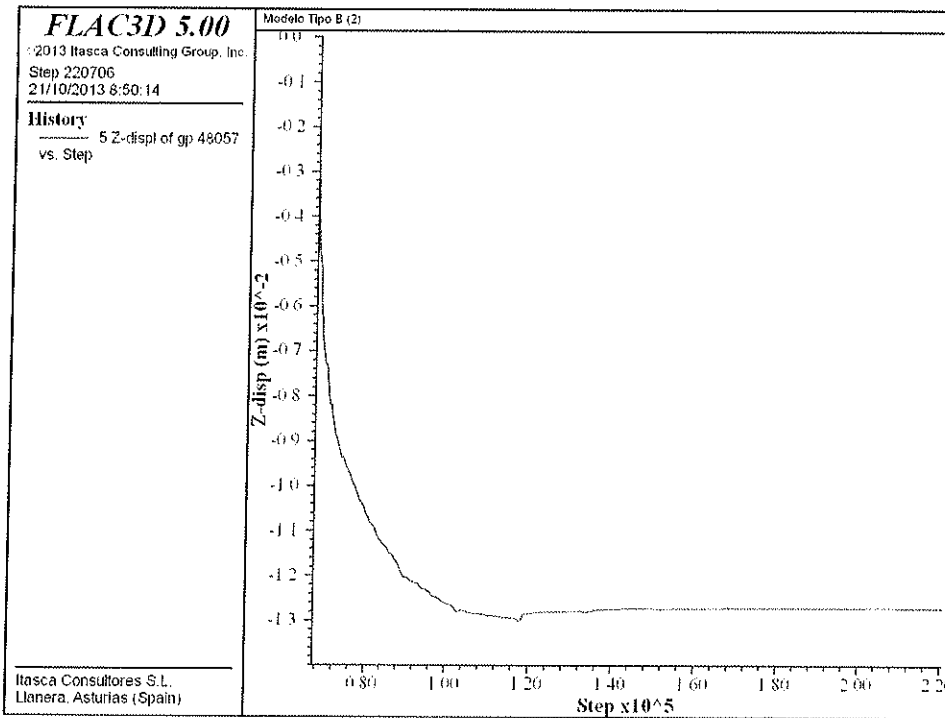


Figura 3.3-9. Sección tipo B2. Evolución monitoreo bajada de clave

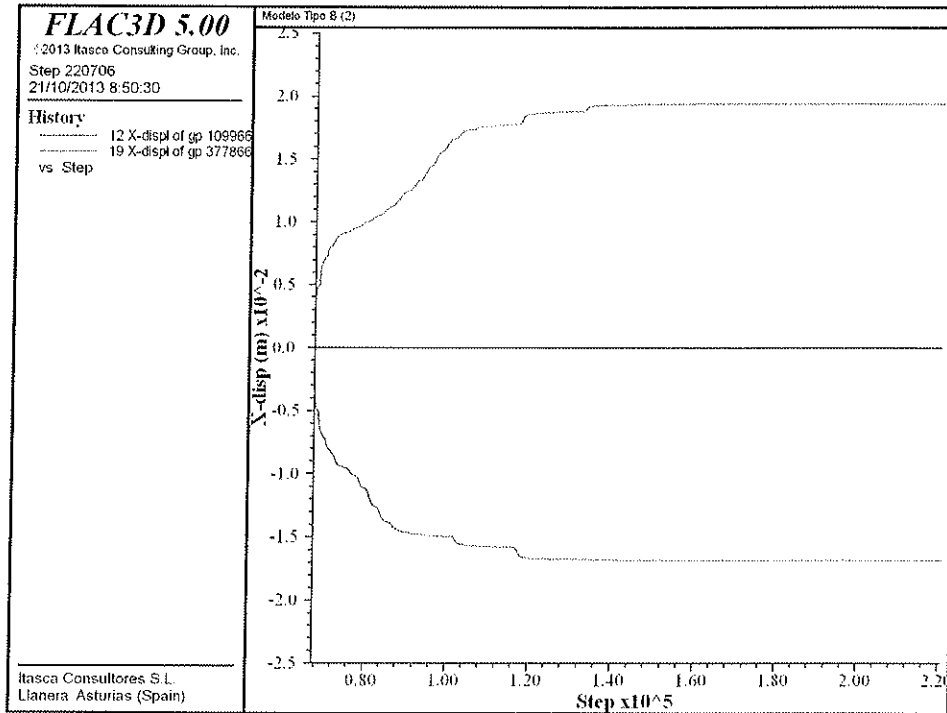


Figura 3.3-10. Sección tipo B2. Evolución monitoreo bóveda en hombros.

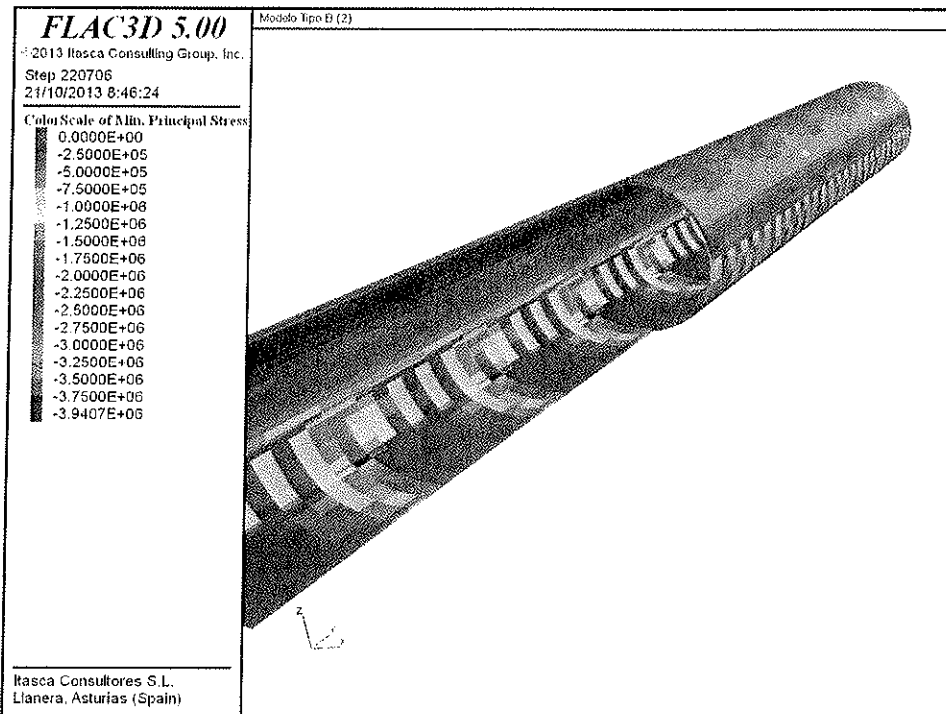


Figura 3.3-11. Sección tipo B2. Compresiones en el hormigón (en Pa).

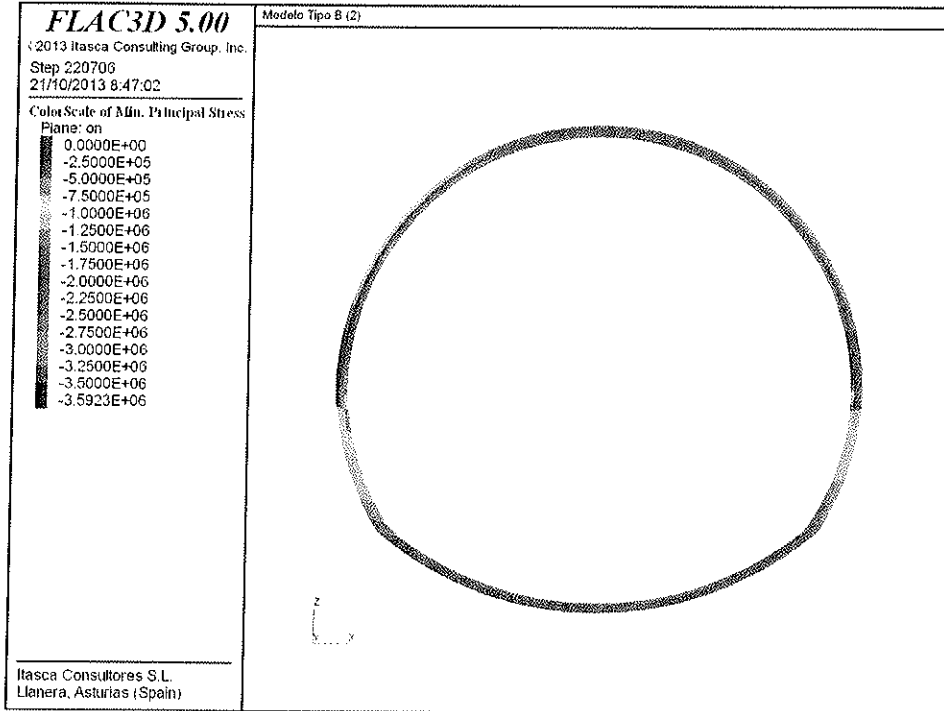


Figura 3.3-12. Sección tipo B2. Compresiones en el hormigón (en Pa). Sección central.

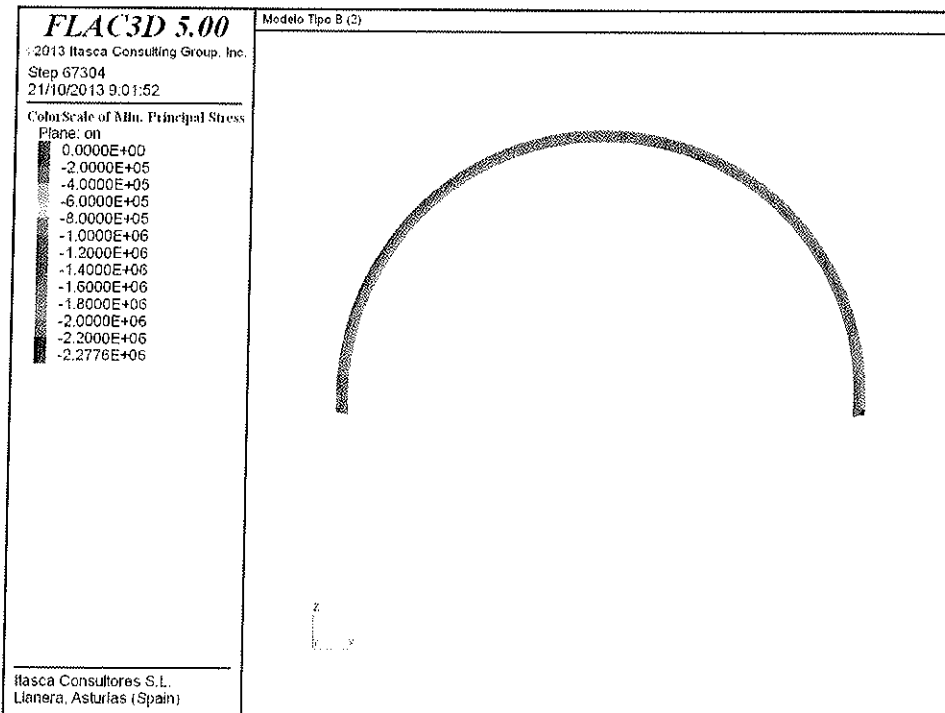


Figura 3.3-13. Sección tipo B2. Compresiones en el hormigón (en Pa). Sección central.  
Fase intermedia del avance.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





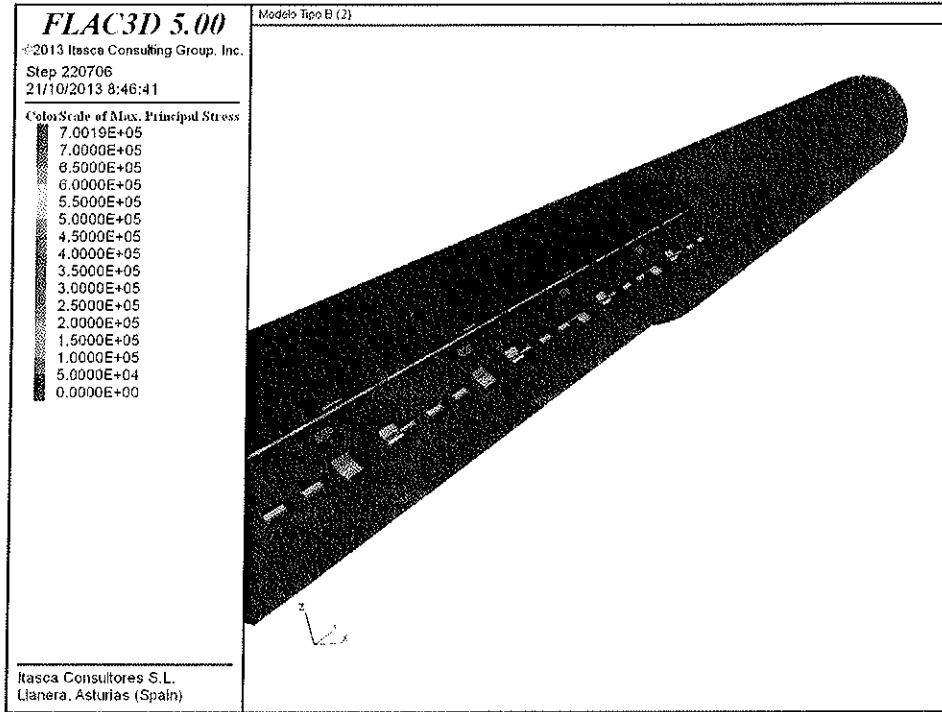


Figura 3.3-14. Sección tipo B2. Tracciones en el hormigón (en Pa).

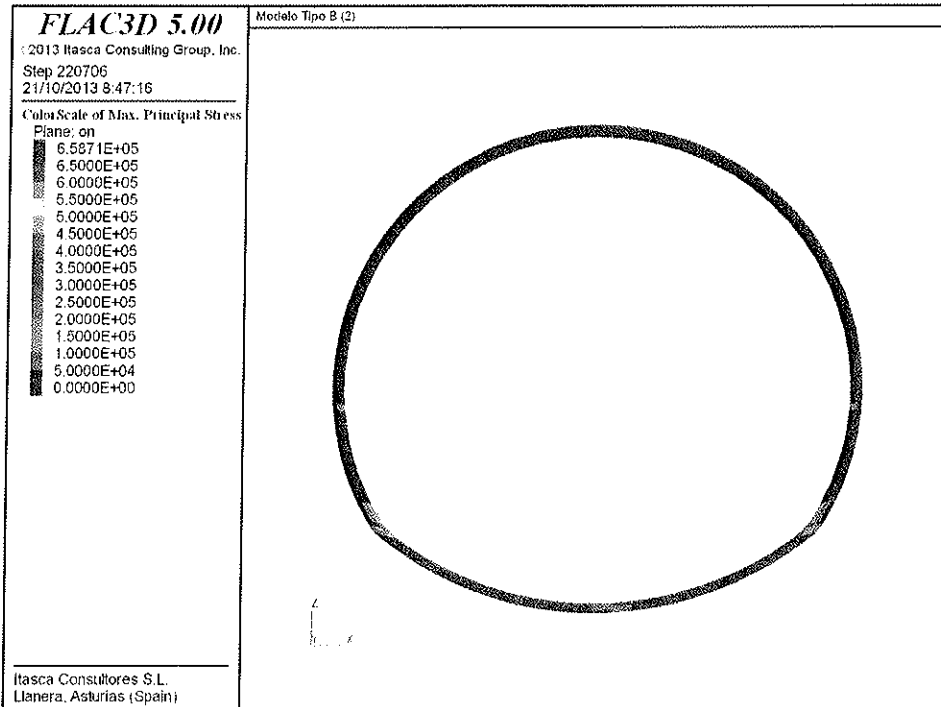


Figura 3.3-15. Sección tipo B2. Tracciones en el hormigón (en Pa). Sección central.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN GASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



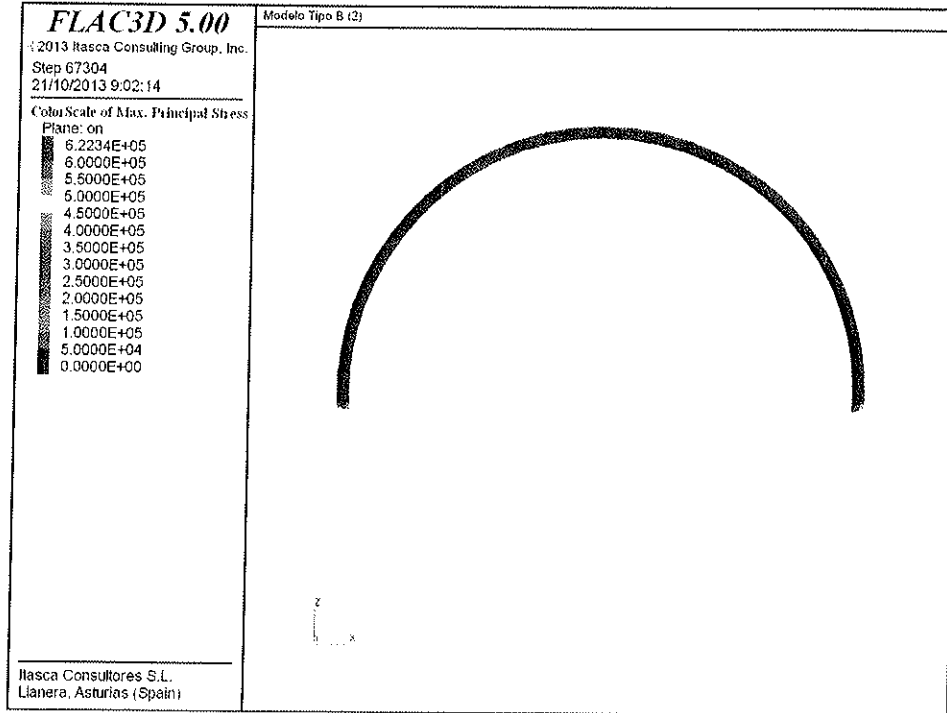


Figura 3.3-16. Sección tipo B2. Tracciones en el hormigón (en Pa). Sección central. Fase intermedia del avance.

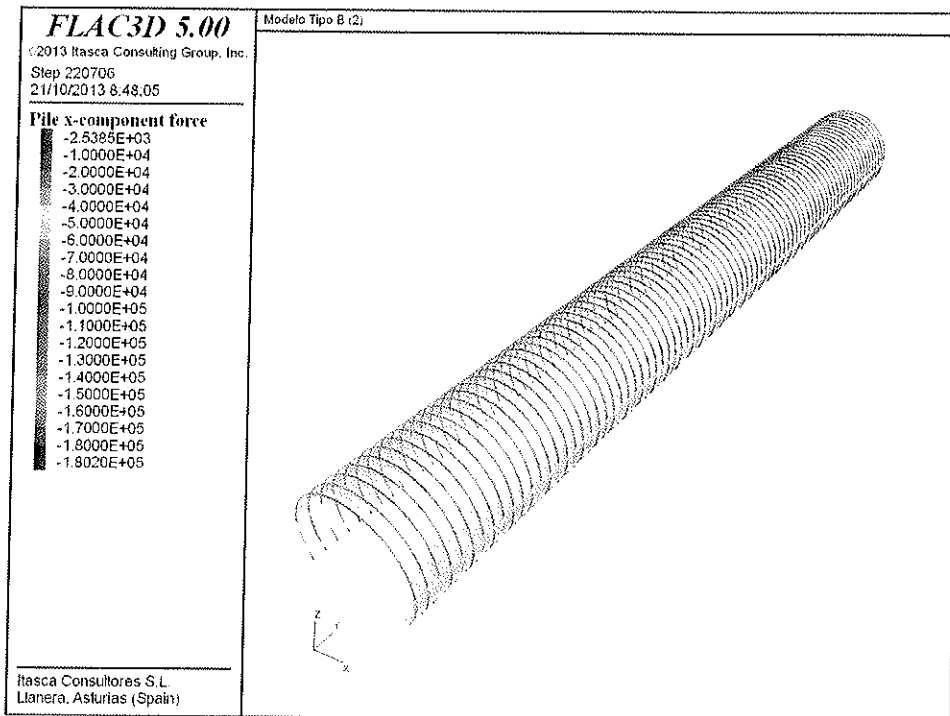


Figura 3.3-17. Sección tipo B2. Distribución de axiles en las cerchas (en N).

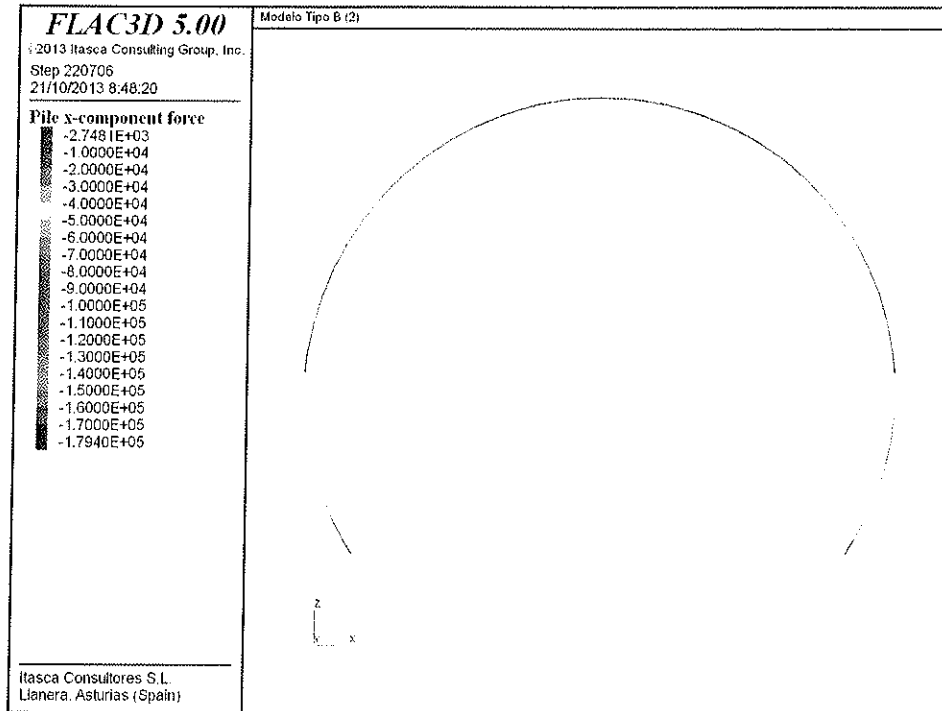


Figura 3.3-18. Sección tipo B2. Distribución de axiles en las cerchas (en N). Sección central.

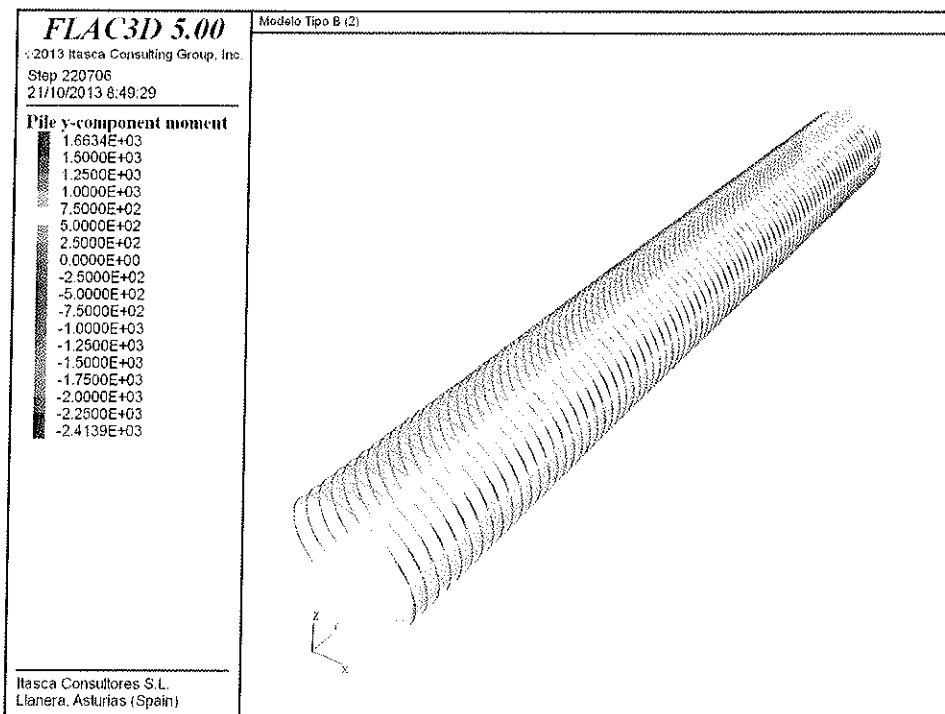


Figura 3.3-19. Sección tipo B2. Distribución de flectores en las cerchas (en m·N).

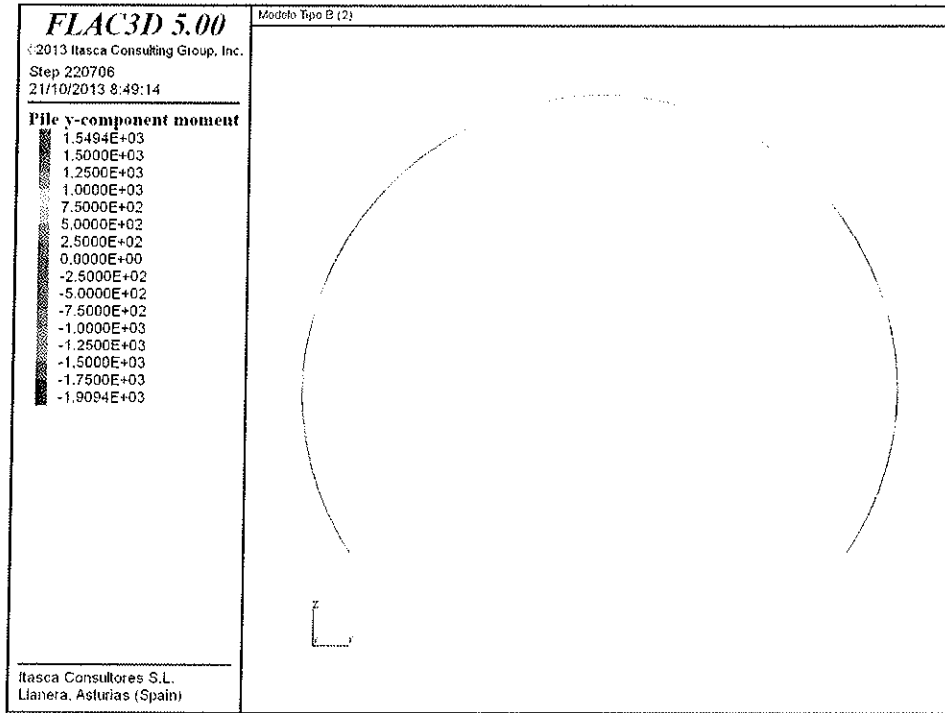


Figura 3.3-20. Sección tipo B2. Distribución de flectores en las cerchas (en m·N). Sección central.

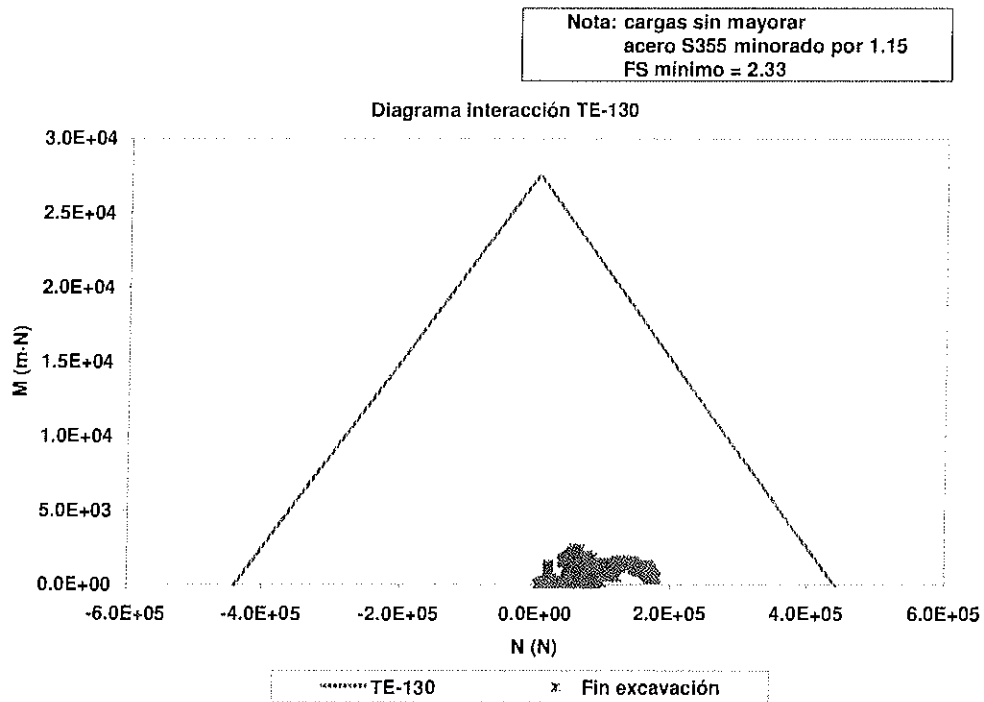


Figura 3.3-21. Sección tipo B2. Diagrama de interacción de las cerchas.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### 3.4 Sección tipo Caverna

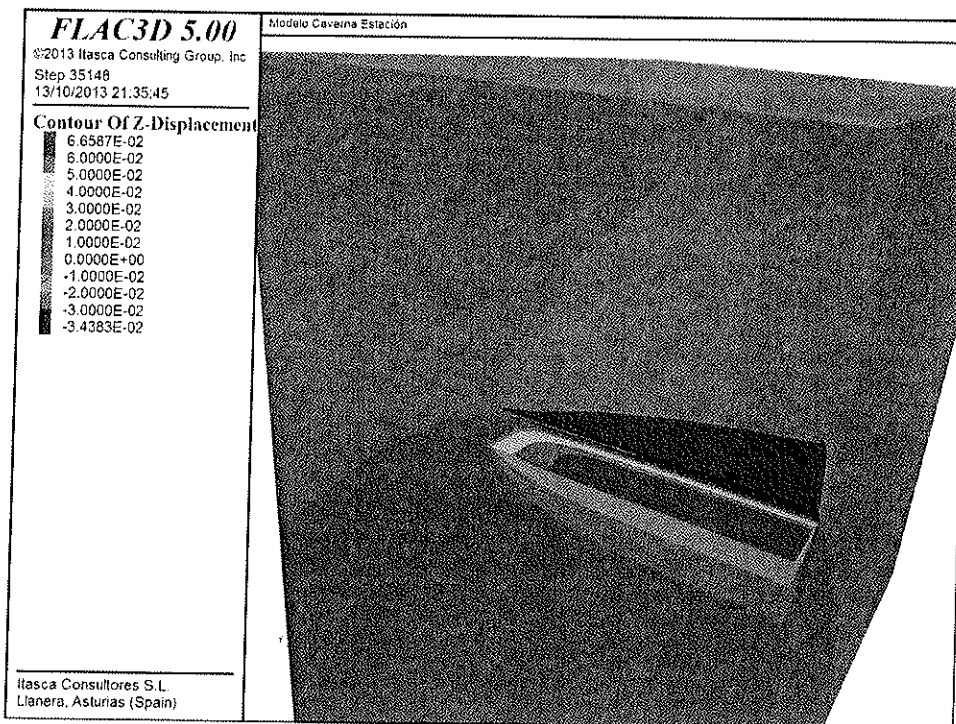
			Máximo	Figura Nº	Observaciones
Fase Final Avance	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	35.7	3.4-1/3.4-4	Localizados sobre clave
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	11.3	3.4-2/3.4-5	Localizados sobre el hombro de la bóveda
		Desp. Vertical en superficie (mm)	12.2	3.4-4	Descenso bastante homogéneo de todo el terreno sobre al bóveda, parece indicar un cierto hincamiento de la bóveda en el terreno
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	5.6	3.4-5	Máximo a 24 m del eje del túnel
		Plastificación	1.5 m	3.4-7/3.4-8	Sobre clave, 5 m bajo la solera del avance
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.03	3.4-14/3.4-15	Las tracciones son nulas en prácticamente toda la sección Máximos puntuales cara inferior del hombro
		Compresiones (MPa)	4.9	3.4-12/3.4-13	Máximo localizado en la base de la bóveda En la bóveda máximos de 3.8 MPa
		Semiconvergencia Horiz. medible (mm)	6.9	3.4-11	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
		Bajada de clave medible (mm)	23.5	3.4-10	Lectura tomada a una distancia de 0 m del frente de avance
	Cerchas TE-130	Axil (T)	25.6	3.4-16/3.4-17	Estos valores corresponden a los máximos, no tienen porque ser concomitantes
Flector (m*T)		0.15	3.4-18/3.4-19	En diagrama de interacción, con valores concomitantes, se obtiene un FS=1.60	
Factor de seguridad del frente		1.4	3.4-21/3.4-22	Se considera una fase intermedia con el pase de avance abierto (1 m)	

**Tabla 3.4-1. Sección tipo caverna. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo.**

Teniendo en cuenta las hipótesis consideradas en este modelo numérico (propiedades del terreno, geometría, cuantías de sostenimiento, longitud del pase de excavación, etc.), del cálculo realizado se concluye lo siguiente:

- El desplazamiento vertical máximo, al final del avance, en la sección es de 35.7 mm sobre clave
- El desplazamiento horizontal máximo es de 11.3 mm en hombro de la bóveda.
- El desplazamiento del frente de avance medio es de 54 mm.
- En superficie, estas deformaciones se traducen en un asiento máximo de 12.2 mm y un desplazamiento horizontal máximo de 5.6 mm.
- La bajada de clave máxima en el sostenimiento es de 23.5 mm. La semi-convergencia medible máxima en el avance es de 7 mm. En el modelo, se considera que la lectura de los puntos de monitoreo comienzan a una distancia de 0 m del frente.
- Se produce cierto hincamiento de la bóveda en el terreno, que se refleja en un desplazamiento vertical en la base de apoyo de la misma.
- Las compresiones máximas en el sostenimiento son de 4.9 MPa en la base de apoyo de la bóveda. En la bóveda, el máximo calculado es de 3.8 MPa.

- Las tracciones son prácticamente nulas en toda la sección. En el intradós del hombro se obtienen máximos de 0.03 MPa.
- Representando los axiles y flectores concomitantes de todos los elementos de cercha en un diagrama de interacción y teniendo en cuenta la resistencia de la cercha, se obtienen factores de seguridad mínimos de  $FS=1.60$ .
- El análisis de la estabilidad del frente da como resultado un FS mínimo en el frente de 1.40



**Figura 3.4-I. Sección tipo caverna. Desplazamiento vertical del terreno (en m). Fase intermedia**

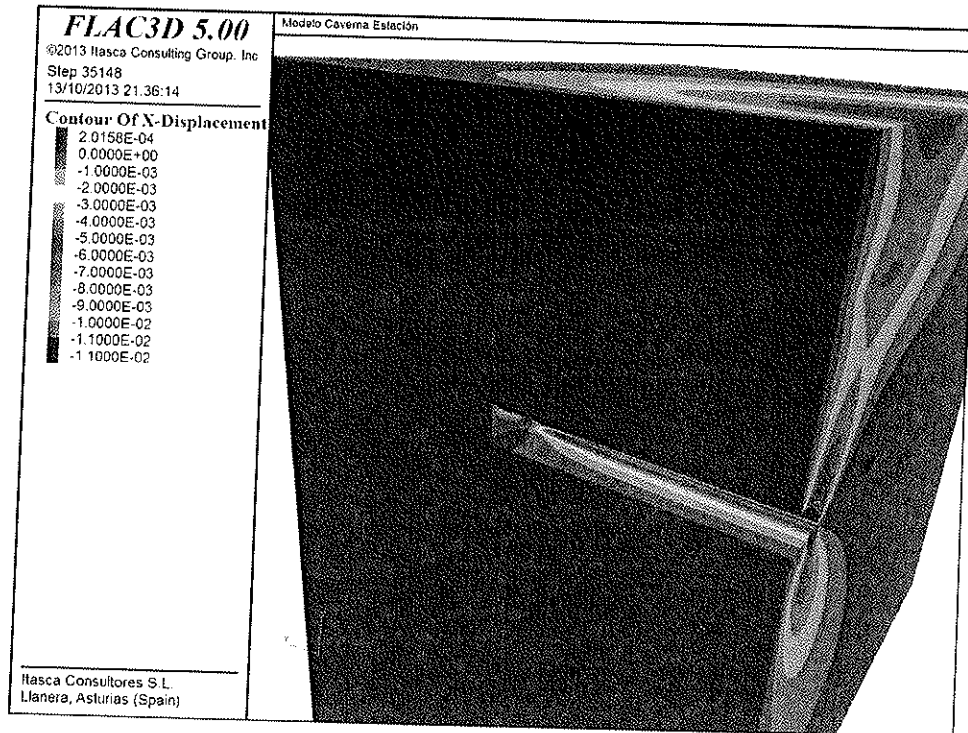


Figura 3.4-2. Sección tipo caverna. Desplazamiento horizontal transversal del terreno (en m). Fase intermedia.

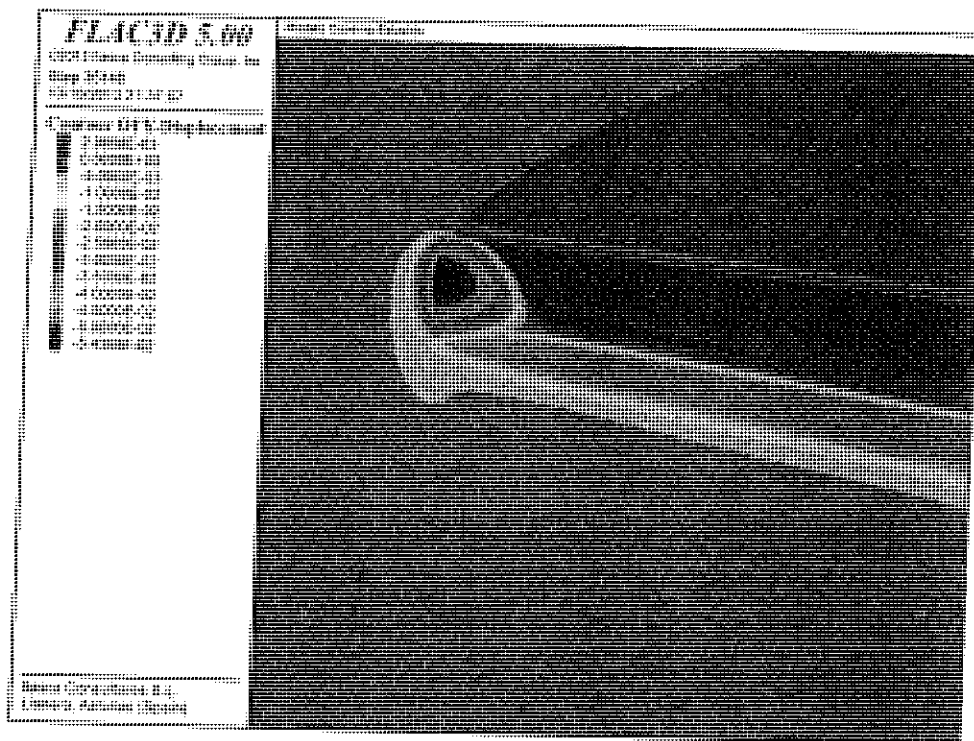


Figura 3.4-3. Sección tipo caverna. Desplazamiento horizontal longitudinal del terreno (en m). Fase intermedia.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

*[Handwritten signature]*



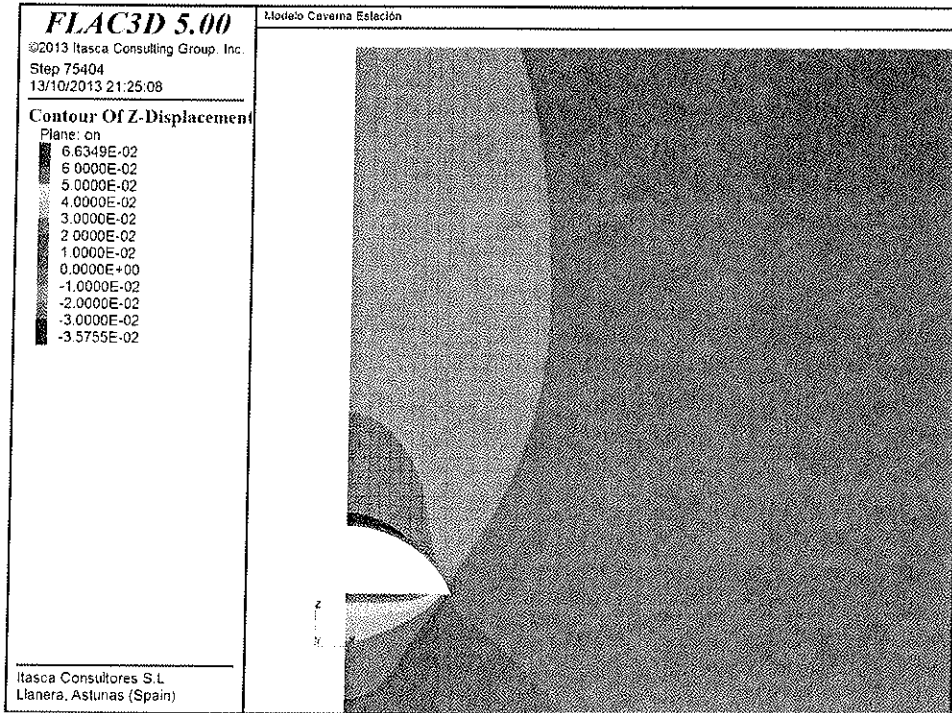


Figura 3.4-4. Sección tipo caverna. Desplazamiento vertical del terreno (en m). Sección vertical. Fase final.

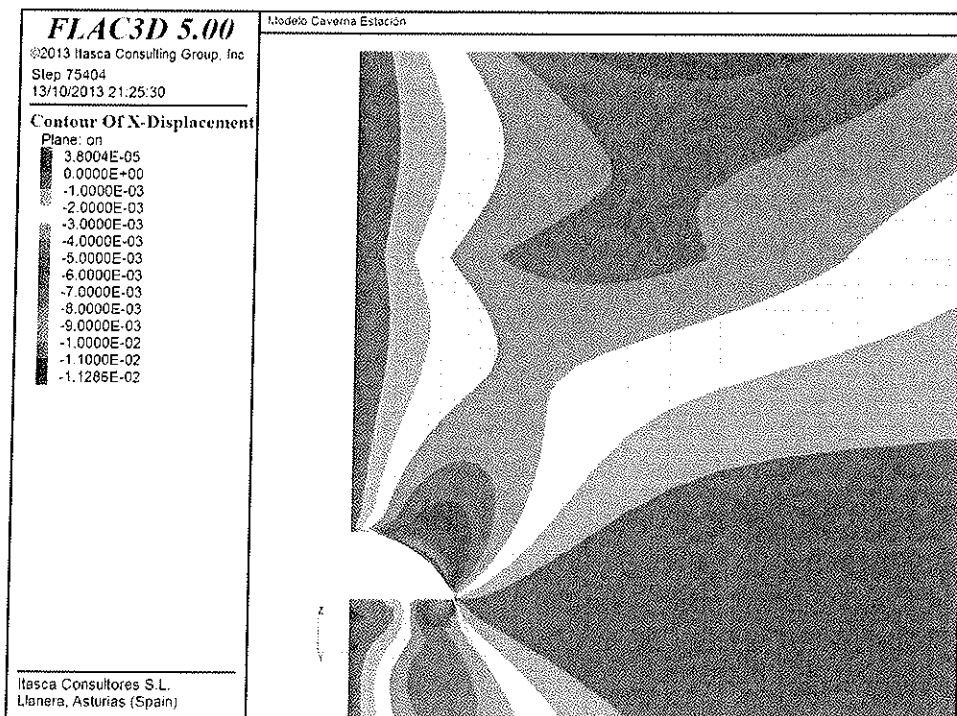


Figura 3.4-5. Sección tipo caverna. Desplazamiento horizontal transversal del terreno (en m). Sección vertical. Fase final.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



*A*  
Pág.

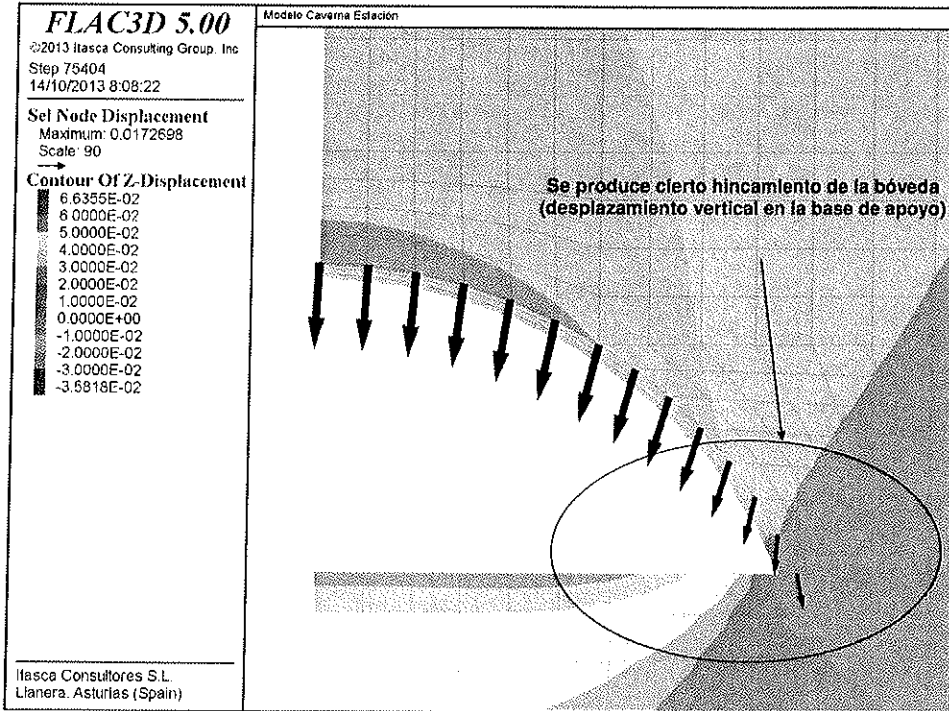


Figura 3.4-6. Sección tipo caverna. Desplazamiento vertical de la bóveda en una sección intermedia.

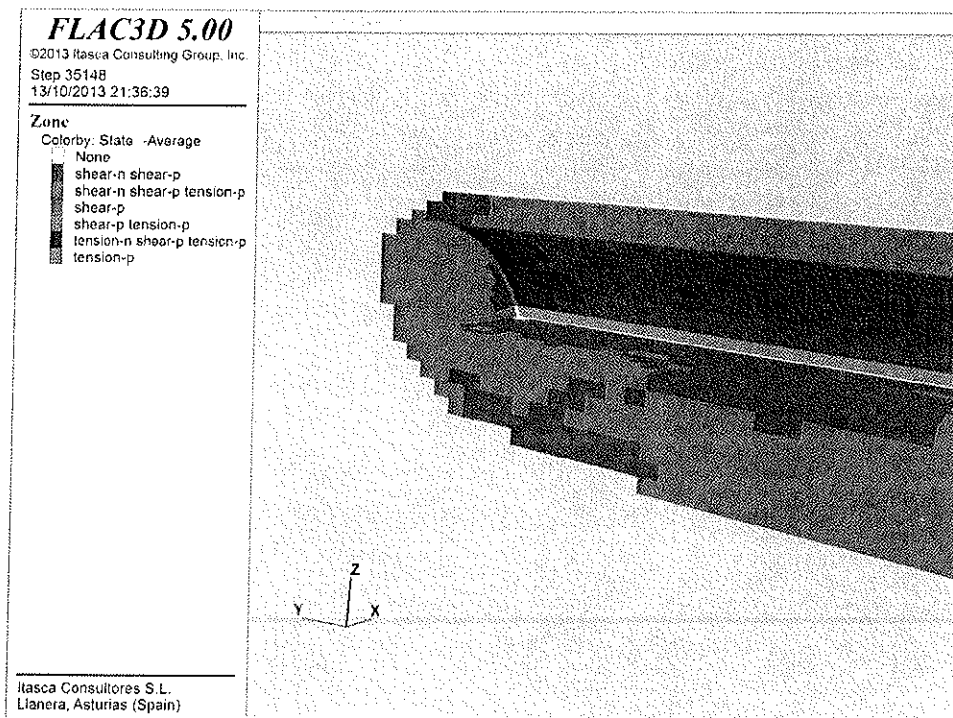


Figura 3.4-7. Sección tipo caverna. Elementos plastificados en el terreno. Fase intermedia.

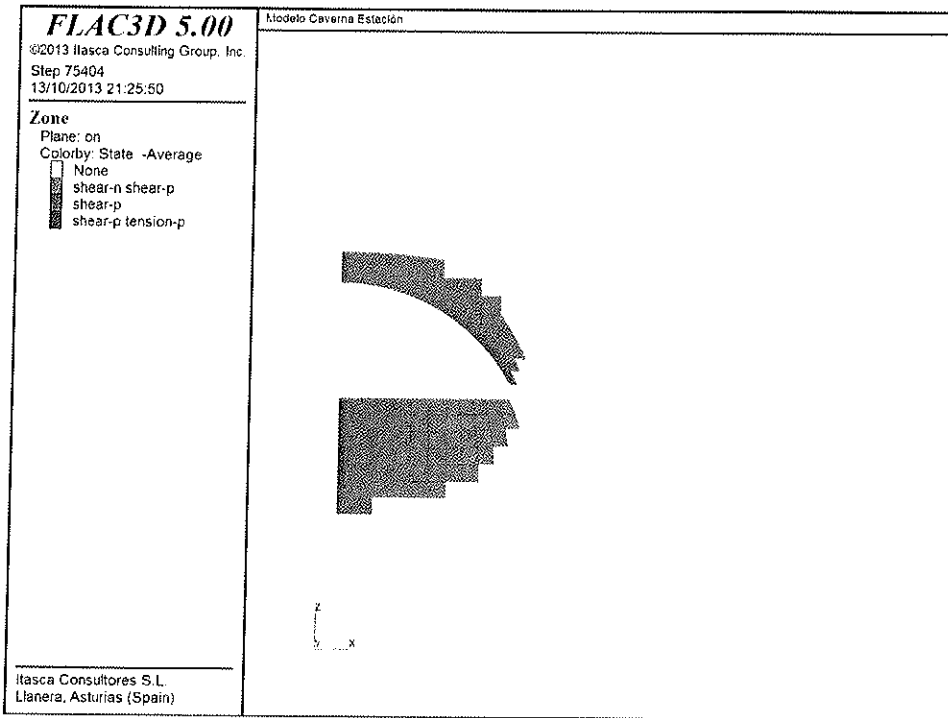


Figura 3.4-8. Sección tipo caverna. Elementos plastificados en el terreno. Fase final.

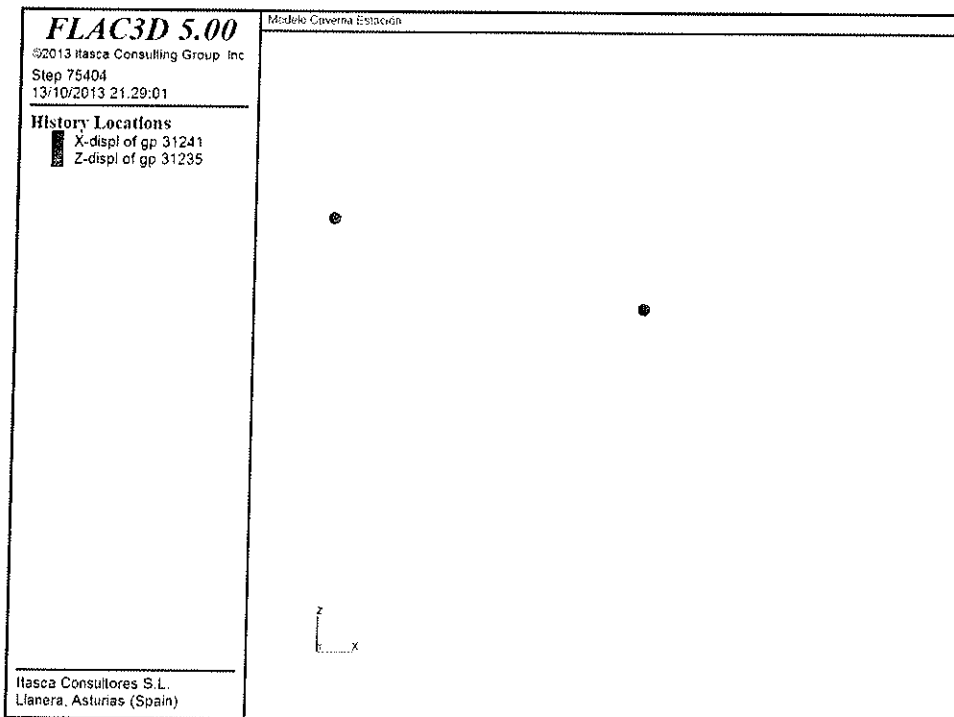


Figura 3.4-9. Sección tipo caverna. Localización puntos de control en el sostenimiento.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



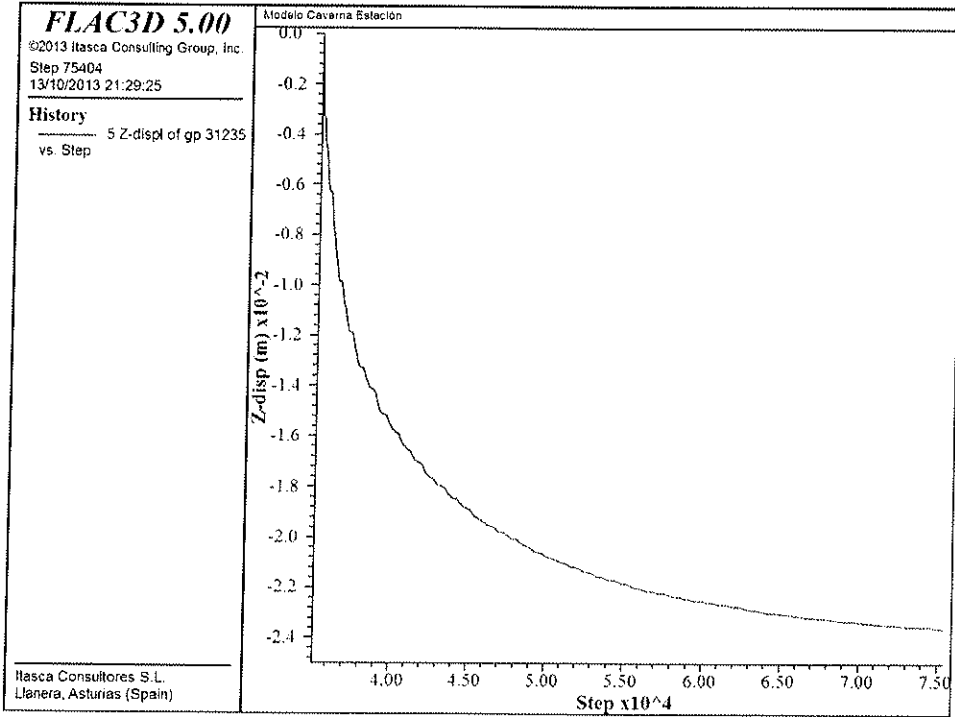


Figura 3.4-10. Sección tipo caverna. Evolución monitoreo bajada de clave

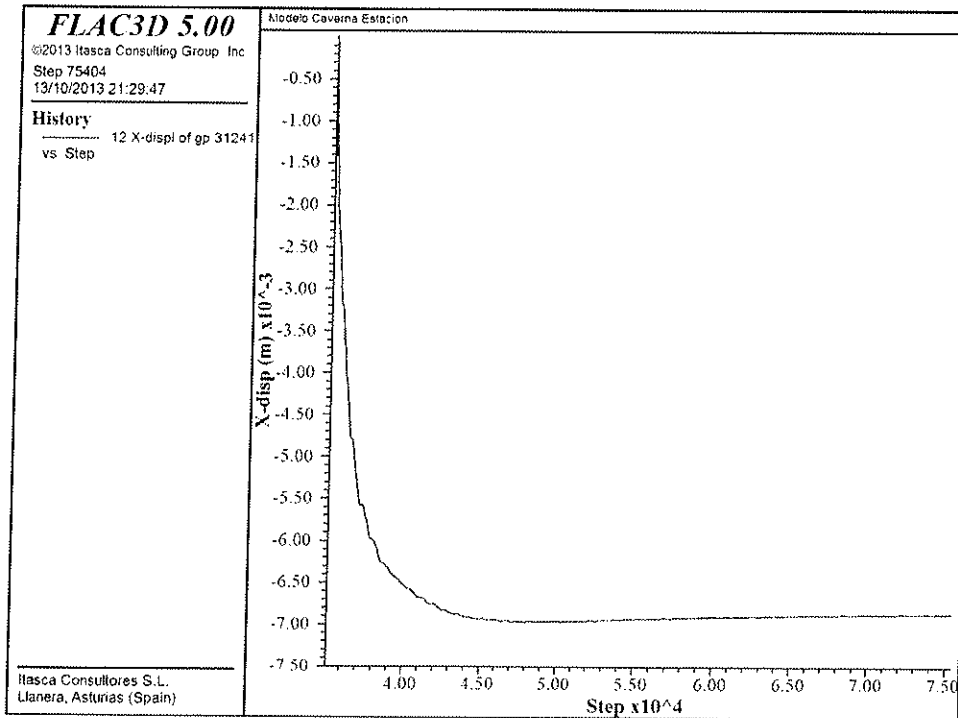


Figura 3.4-11. Sección tipo caverna. Evolución monitoreo bóveda en hombros.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO PIPIN CASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



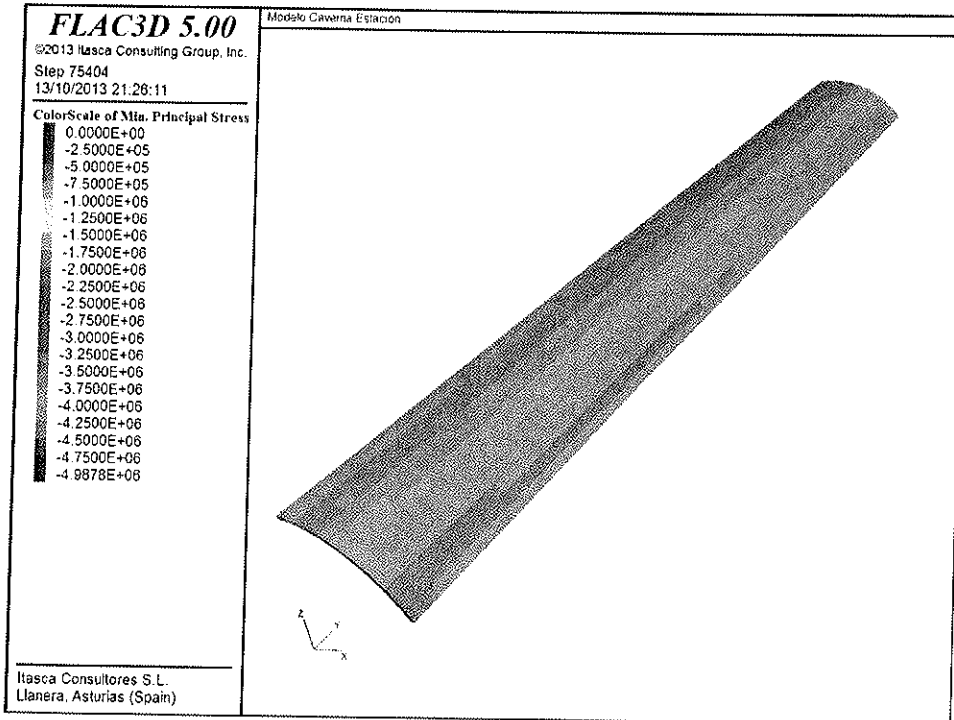


Figura 3.4-12. Sección tipo caverna. Compresiones en el hormigón (en Pa).

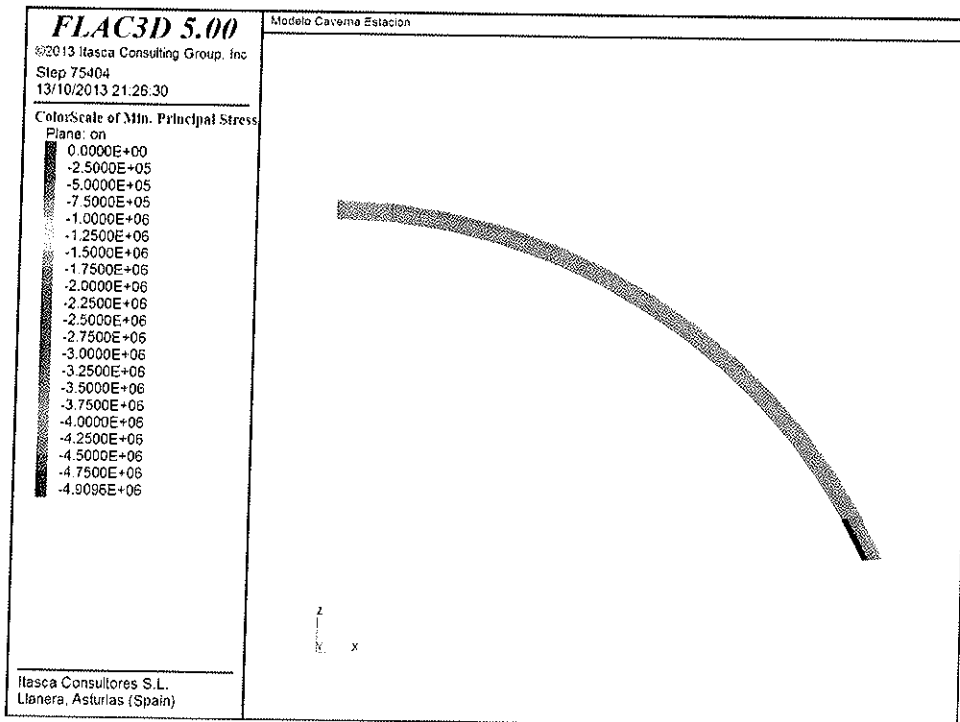



Figura 3.4-13. Sección tipo caverna. Compresiones en el hormigón (en Pa). Sección central.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO HUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



Pág.

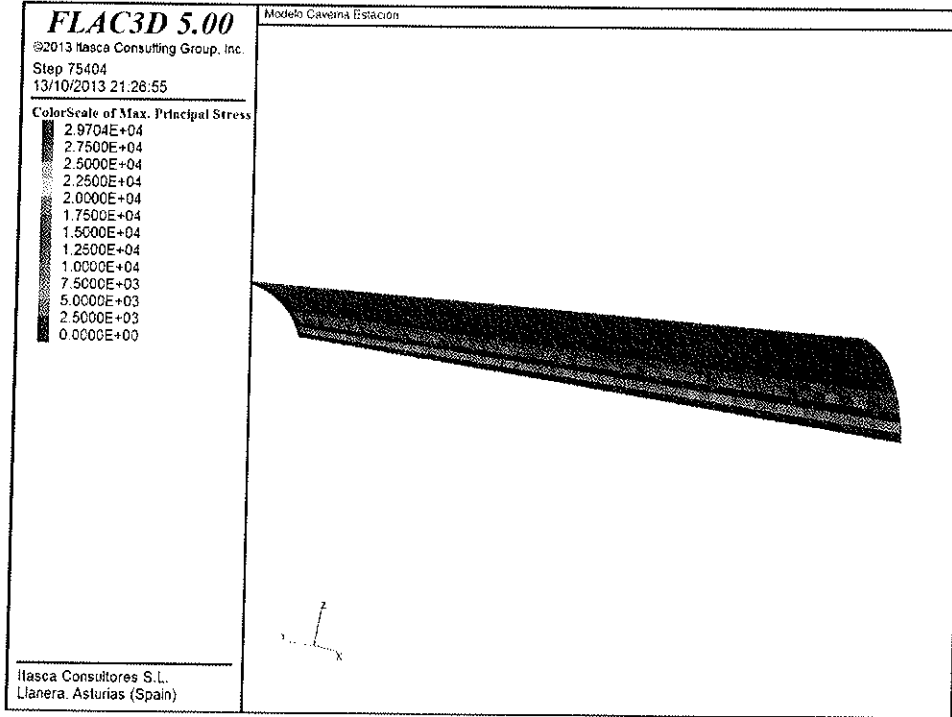


Figura 3.4-14. Sección tipo caverna. Tracciones en el hormigón (en Pa).

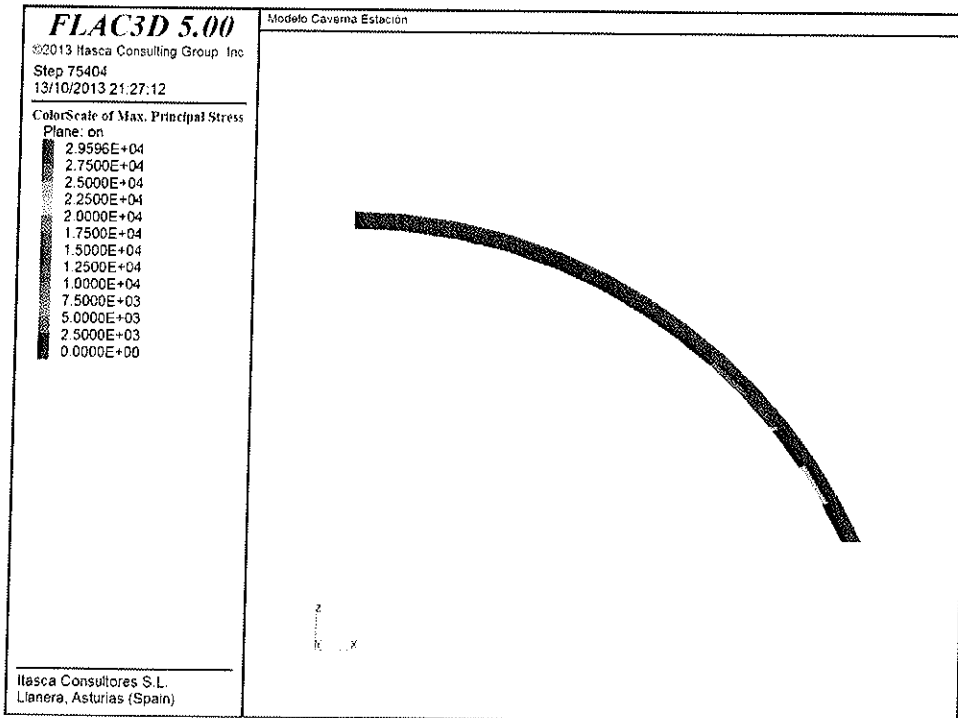


Figura 3.4-15. Sección tipo caverna. Tracciones en el hormigón (en Pa). Sección central.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



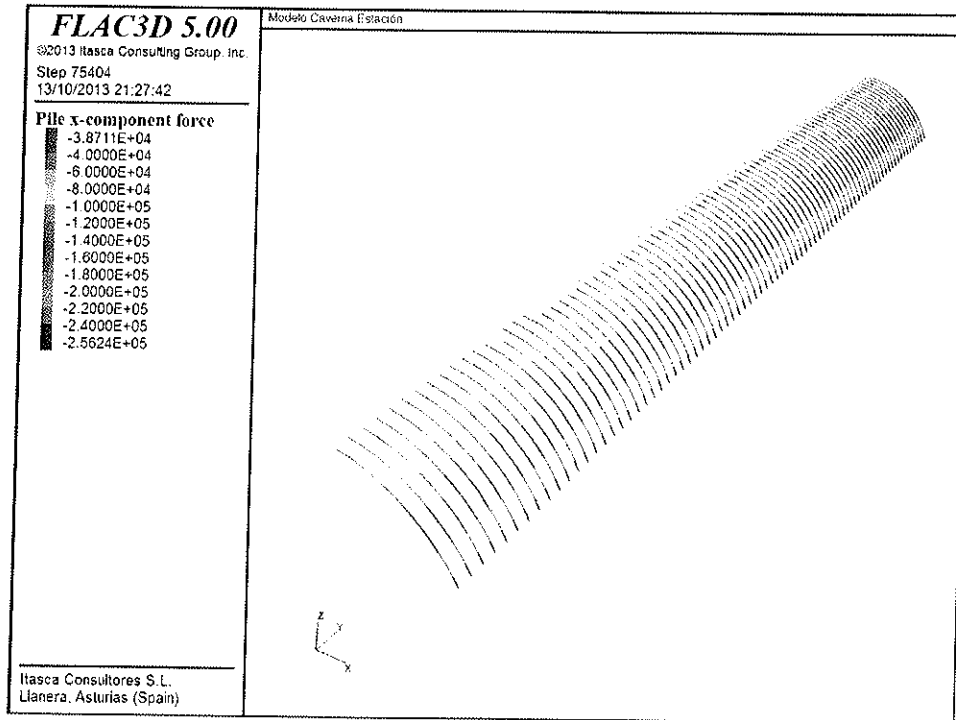


Figura 3.4-16. Sección tipo caverna. Distribución de axiles en las cerchas (en N).

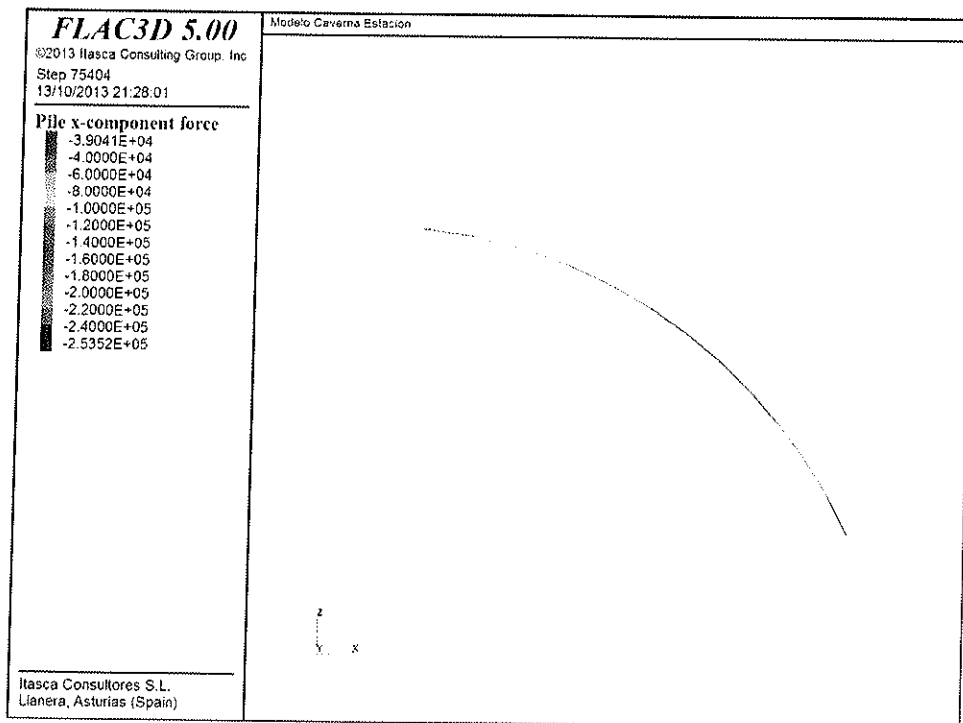


Figura 3.4-17. Sección tipo caverna. Distribución de axiles en las cerchas (en N). Sección central.

CONSEJO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO HUAM DASAGUE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



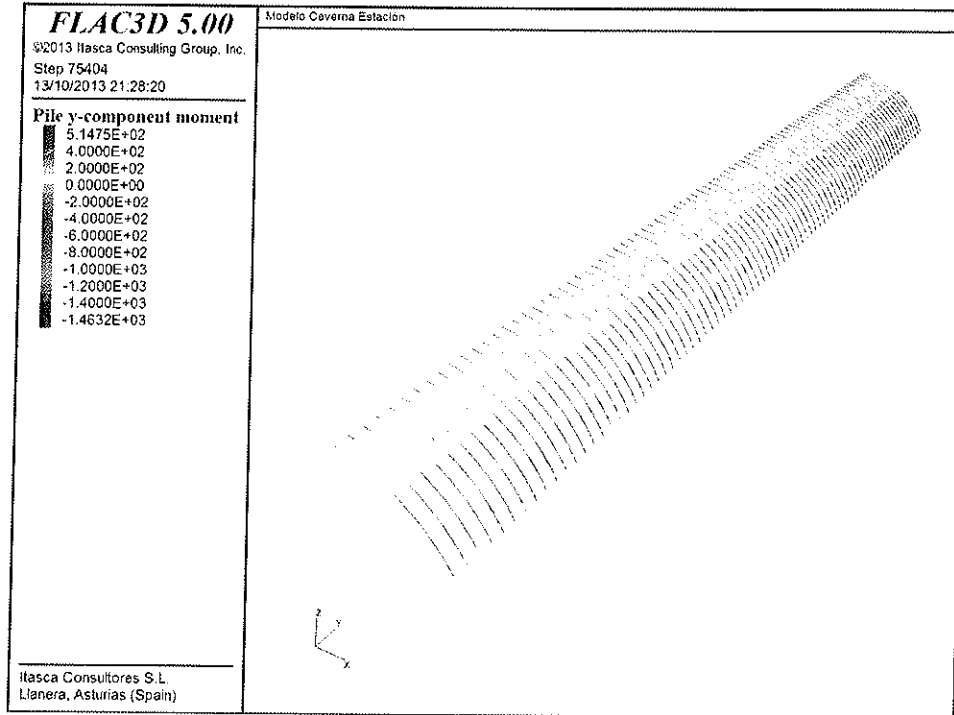


Figura 3.4-18. Sección tipo caverna. Distribución de flectores en las cerchas (en m·N).

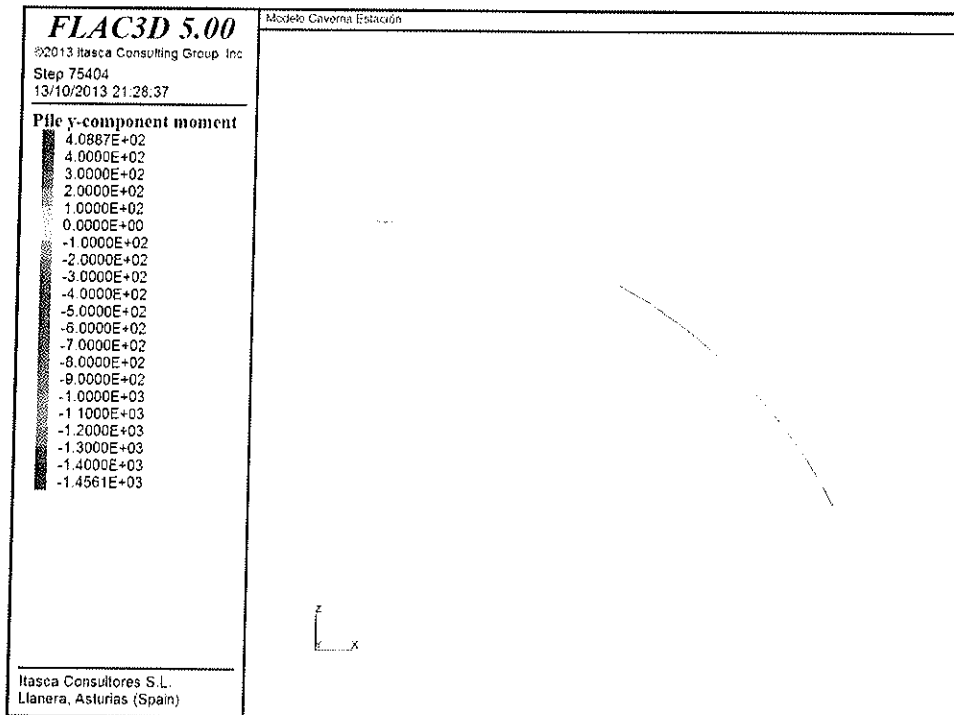


Figura 3.4-19. Sección tipo caverna. Distribución de flectores en las cerchas (en m·N).  
Sección central.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN CASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





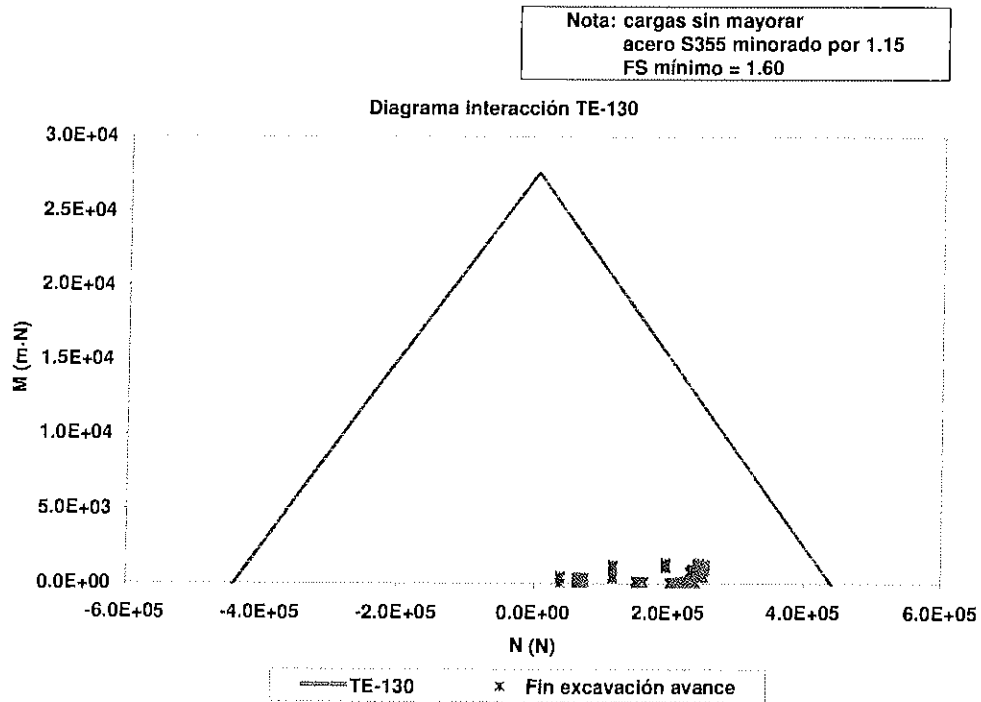


Figura 3.4-20. Sección tipo caverna. Diagrama de interacción de las cerchas.

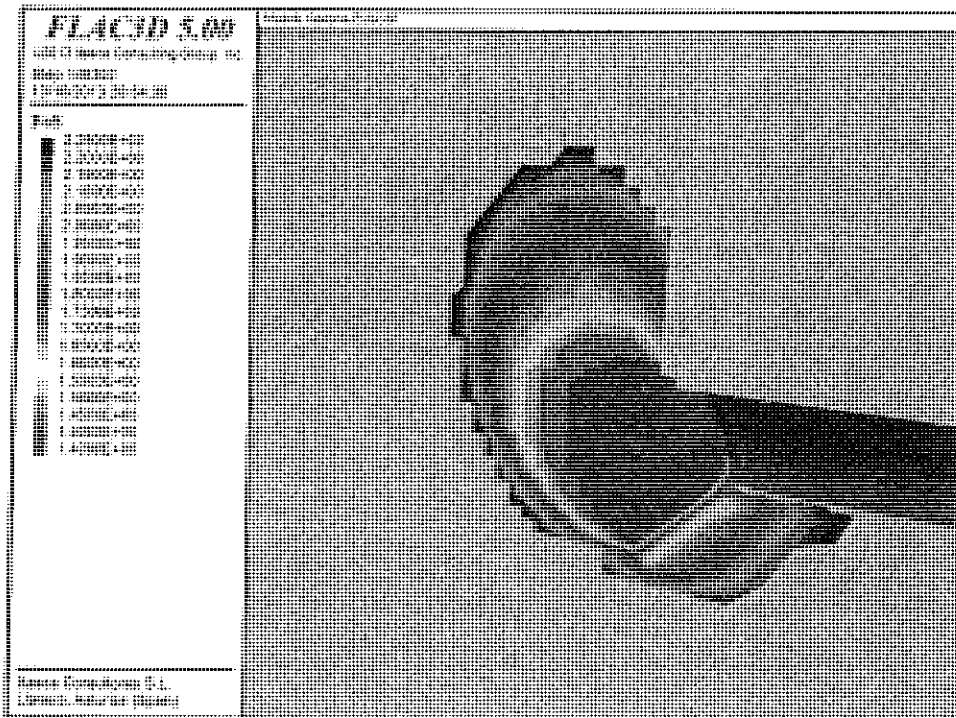
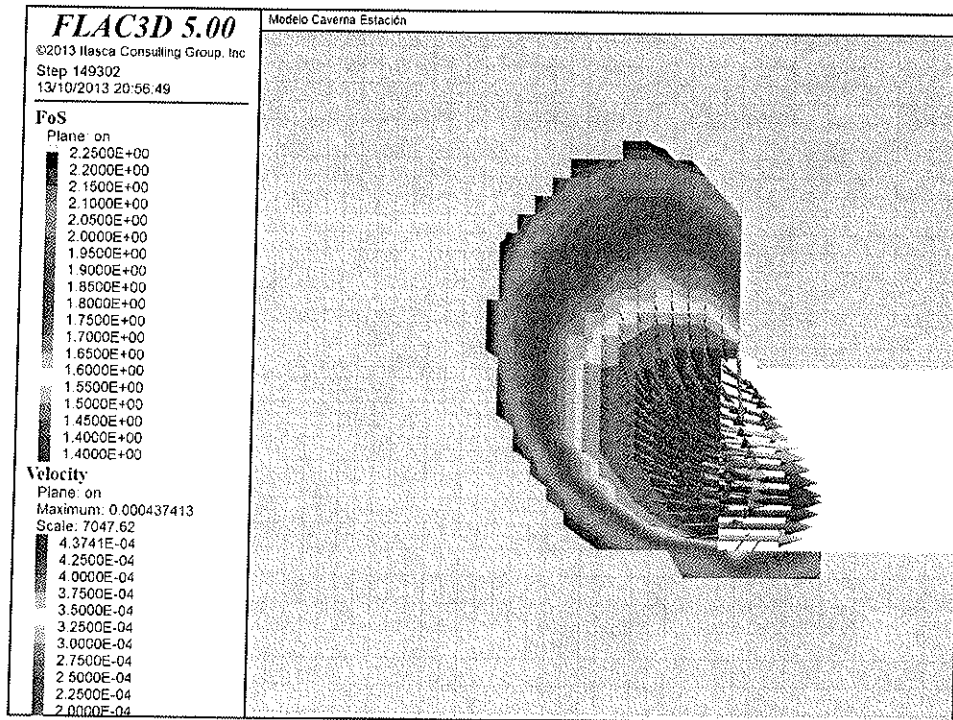


Figura 3.4-21. Sección tipo caverna. Factor de seguridad del frente de avance.

CONSORCIO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



111



*Figura 3.4-22. Sección tipo caverna. Factor de seguridad del frente de avance. Superficie potencial de rotura.*

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





2013

#### 4.0 RESUMEN

Se han puesto a punto modelos de cálculo en 3 dimensiones que reproducen tanto la geometría como la secuencia constructiva propuestos para las secciones tipo A y B de los túneles de línea y de la sección tipo de caverna de estación.

La validez de las secciones tipo se ha analizado tanto en términos de deformaciones como de esfuerzos en los sostenimientos. Adicionalmente, en aquellas secciones excavadas en gravas sueltas, se ha determinado la estabilidad del frente de avance en términos de factor de seguridad.

Los principales resultados obtenidos en cada una de las secciones analizadas se resumen en las siguientes tablas.

			<b>Máximo</b>
<b>Fase Final</b>	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	10.5
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	10.3
		Desp. Vertical en superficie (mm)	4.1
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	2.7
		Plastificación	1-1.5 m
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5
		Compresiones (MPa)	3.25
		Semiconvergencia Horiz. medible (mm)	8
		Bajada de clave medible (mm)	8
	Cerchas TE-70	Axil (T)	13.7
Flector (m*T)		0.04	

**Tabla 4-1. Sección tipo A. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo.**

			Máximo
Fase Final	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	29.7
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	39.9
		Desp. Vertical en superficie (mm)	16.0
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	7.4
		Plastificación	1-1.5 m
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5
		Compresiones (MPa)	5.8
		Semiconvergencia Horiz. medible (mm)	25
		Bajada de clave medible (mm)	15
	Cerchas TE-130	Axil (T)	19.2
Flector (m*T)		0.26	
Factor de seguridad del frente			1.25

Tabla 4-2. Sección tipo B. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo.

			Máximo
Fase Final	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	26.0
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	25.5
		Desp. Vertical en superficie (mm)	12.3
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	5.7
		Plastificación	1-1.5 m
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.5
		Compresiones (MPa)	3.9
		Semiconvergencia Horiz. medible (mm)	20
		Bajada de clave medible (mm)	12.5
	Cerchas TE-130	Axil (T)	18.0
Flector (m*T)		0.24	

Tabla 4-3. Sección tipo B2. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASARE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



PAG

114

			Máximo
<b>Fase Final Avance</b>	Terreno	Desp. Vertical sobre clave (mm)	35.7
		Desp. Horizontal en hastiales (mm)	11.3
		Desp. Vertical en superficie (mm)	12.2
		Desp. Horizontal en superficie (mm)	5.6
		Plastificación	1.5 m
	Hormigón HP-30	Tracciones (MPa)	<0.03
		Compresiones (MPa)	4.9
		Semiconvergencia Horiz. medible (mm)	6.9
		Bajada de clave medible (mm)	23.5
	Cerchas TE-130	Axil (T)	25.6
		Flector (m*T)	0.15
Factor de seguridad del frente			1.4

**Tabla 4-4. Sección tipo Caverna. Resumen de resultados obtenidos en el cálculo.**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BACABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



*[Handwritten signature]*

2013

[2654]  
002298

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



A.6.4. Nº DOCUMENTO	A) DISEÑO DE INGENIERÍA TIPO DE DOCUMENTO
------------------------	--

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

**A.6.4. MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS  
ESTRUCTURAS PERMANENTES.  
APÉNDICE 2. OBTENCIÓN DE LOS  
ESFUERZOS EN EL REVESTIMIENTO POR  
MÉTODOS ANALÍTICOS**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO HERNANDEZ GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





## Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>118</b>
<b>2</b>	<b>EXPRESIONES ANÁLITICAS</b> .....	<b>118</b>
2.1	Generalidades.....	118
2.2	Esfuerzos por la carga estática del terreno.....	119
2.3	Esfuerzos por sismo .....	120
<b>3</b>	<b>ESFUERZOS EN LAS DOVELAS</b> .....	<b>120</b>
3.1	Parámetros de entrada.....	120
3.2	Resultados .....	122
<b>4</b>	<b>ESFUERZOS EN EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO DEL TÚNEL DE LÍNEA POR MÉTODOS CONVENCIONALES</b> .....	<b>122</b>
4.1	Introducción.....	122
4.2	Esfuerzos en secciones con solera curva (secciones tipo A y B).....	123
4.2.1	Parámetros de entrada .....	123
4.2.2	Resultados .....	124
4.3	Esfuerzos en sección con contrabóveda (sección tipo C) .....	125
4.3.1	Parámetros de entrada .....	125
4.3.2	Resultados .....	126
<b>5</b>	<b>ESFUERZOS EN SECCIÓN CAVERNA EJE DE ESTACIÓN JAVIER PRADO</b> .....	<b>127</b>
5.1	Parámetros de entrada.....	127
5.2	Resultados .....	128



## 1 INTRODUCCIÓN

El dimensionamiento de las dovelas para el túnel de línea excavado con TBM y del revestimiento definitivo para el túnel de línea, galerías y cavernas excavadas por métodos convencionales se ha realizado en parte mediante los métodos analíticos que se describen en este apéndice.

El diseño de las dovelas y los revestimientos definitivos se han planteado para resistir las cargas estáticas del terreno que recubre el túnel, así como para poder encajar las deformaciones adicionales impuestas por los movimientos causados por un evento sísmico.

Mediante las expresiones analíticas propuestas por Bobet (2003) que se describen más abajo, se pueden obtener los esfuerzos a los que van a estar sometidas las dovelas y revestimientos definitivos y por tanto, dimensionarlas adecuadamente.

En los siguientes apartados se describen las expresiones analíticas utilizadas en el cálculo, los valores de los parámetros que intervienen y los resultados obtenidos.

Con estos resultados se está en disposición de dimensionar adecuadamente las dovelas. En cuanto a los revestimientos, al no ser de sección circular, es necesario realizar un análisis mediante métodos numéricos para obtener los esfuerzos correspondientes, tal y como se describe más adelante y en el *Apéndice III. Modelización numérica (phase2d) para la obtención de los esfuerzos en el revestimiento definitivo.*

## 2 EXPRESIONES ANÁLITICAS

### 2.1 Generalidades

Los esfuerzos que se han determinado analíticamente corresponden a los generados por la carga estática del terreno y a la acción de un sismo.

Las expresiones analíticas utilizadas para el cálculo de los esfuerzos sobre el revestimiento, fueron propuestas por el profesor D. Antonio Bobet de la Universidad de Purdue de USA en 2003 y se describen a continuación.





## 2.2 Esfuerzos por la carga estática del terreno

La obtención de los esfuerzos debidos a las cargas estáticas del terreno, se basa en el método de rigidez relativa entre el revestimiento objeto de estudio y el terreno circundante. Para ello se proponen las siguientes expresiones:

$$N_1 = \frac{1}{2}(\sigma'_v + \sigma'_h)(1 + C_1)r_o + \frac{1}{2}(\sigma'_v - \sigma'_h)(1 + 2C_2)r_o \cos 2\theta \quad (1)$$

$$M_1 = \frac{1}{4}(\sigma'_v - \sigma'_h)(1 - 2C_2 + 2C_3)r_o^2 \cos 2\theta$$

donde:

$\sigma'_v$  y  $\sigma'_h$  son las tensiones efectivas

$r_o$  es el radio del túnel

$$C_1 = \frac{CF(1-\nu)}{C+F+CF(1-\nu)}$$

$$\beta = \frac{(6+F)C(1-\nu)+2F\nu}{3F+3C+2CF(1-\nu)} \quad C_2 = \beta C_3$$

$$C_3 = \frac{C(1-\nu)}{2[C(1-\nu)+4\nu-6\beta-3\beta C(1-\nu)]}$$

Siendo C y F los coeficientes de compresibilidad y flexibilidad respectivamente y vienen definidos por las siguientes expresiones:

$$C = \frac{Er_o(1-\nu_s^2)}{E_s A_s(1-\nu^2)}$$

$$F = \frac{Er_o^3(1-\nu_s^2)}{E_s I_s(1-\nu^2)}$$

Donde:

E y  $\nu$  son el Módulo de Young y el coeficiente de Poisson del terreno, respectivamente.

$E_s$  y  $\nu_s$  son el Módulo de Young y el coeficiente de Poisson del revestimiento, respectivamente.

$A_s$  y  $I_s$  son el área y el momento de inercia de la sección transversal del revestimiento. En el caso de las dovelas, se considera la mitad para tener en cuenta las juntas de unión.

Hay que tener en cuenta que al utilizar esta expresión se asume lo siguiente:

- El revestimiento y el terreno son elásticos.
- No hay agua en el terreno.
- La excavación del túnel y la ejecución del revestimiento es simultánea
- La sección del túnel es circular.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASADE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





### 2.3 Esfuerzos por sismo

Las ondas p y las ondas s que se propagan en el plano perpendicular al eje del túnel generan una deformación en el terreno que tiende a causar una ovalización del revestimiento.

Este cambio de forma, conlleva la generación de tensiones circunferenciales en el revestimiento que pueden ocasionar el agrietamiento o rotura del mismo y la consecuente pérdida de capacidad estructural.

En revestimientos de hormigón este fenómeno es el que condiciona el diseño sísmico de una estructura subterránea.

Para la obtención de los esfuerzos sobre el revestimiento causados por el sismo, Bobet (2003) propone utilizar en las ecuaciones anteriores (1) con los siguientes valores en lugar de las tensiones efectivas:

$$\sigma_v = \frac{E}{2(1+\nu)} \frac{V_{\max}}{V_s}$$

$$\sigma_h = -\sigma_v$$

Donde:

E y  $\nu$  son el Módulo de Young y el coeficiente de Poisson del terreno, respectivamente.

$V_{\max}$  es la velocidad máxima del terreno.

$V_s$  es la velocidad de propagación por el terreno de las ondas s.

En los resultados que se obtienen, se asume que la amplificación dinámica de las tensiones asociadas a la onda de tensión incidiendo en el túnel es despreciable, puesto que se considera que la longitud de onda es ocho veces o más ancha que el diámetro del túnel.

## 3 ESFUERZOS EN LAS DOVELAS

### 3.1 Parámetros de entrada

Para el dimensionamiento de las dovelas se considera el escenario más desfavorable por el que discurre la traza en la que se prevé excavación mediante tuneladora, con un recubrimiento de 26 m, en las gravas muy densas del Conglomerado de Lima.

En cuanto al sismo, se tiene en cuenta la Norma Sísmica Peruana y el análisis del Estudio de Factibilidad.

Los valores de entrada de los parámetros que intervienen en las expresiones, así como los valores de los parámetros necesarios para obtenerlos, se presentan en las siguientes tablas:



**REVESTIMIENTO**

$\Phi_{NT} =$	9,20 m	Diámetro interior
$h_{REVEST} =$	0,32 m	Espesor
$d_{GAP} =$	0,15 m	Gap
$R_{EXT} =$	5,07 m	Radio túnel (Exterior)
$A_{REVEST} =$	0,32 m <sup>2</sup>	Área
$I_{REVEST} =$	1,37E-03 m <sup>4</sup>	Momento de inercia (mitad)
$E_{REVEST} =$	3089105 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. Revest.
$\nu_{REVEST} =$	0,20	Módulo de Poisson
$\theta =$	0 °	Ángulo respecto a la horizontal

**TERRENO**

$\gamma_M =$	2,08 t/m <sup>3</sup>	Peso específico
$E_M =$	36600 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. terreno
$\nu_M =$	0,30	Poisson terreno
$K_0 =$	1,00	Coefficiente de empuje (reposo)
$H_W =$	0,00 m	Altura Nivel freático desde clave
$H_{TIERRAS} =$	26 m	Recubrimiento
$E_{M,DIN} =$	36600 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. Terreno dinámico

**SISMO**

$a_B =$	0,40 g	Aceleración básica
$S =$	1,00	Coefficiente del terreno
$a_{MAX,S} =$	0,4 g	Aceleración máxima ( $a_{MAX,S} = S \cdot a_B$ )
$C =$	0,80	Coefficiente de profundidad
$a_{Z,MAX} =$	0,32 g	Aceleración máxima en profundidad ( $a_{Z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S}$ )
$C_S =$	750,00 m/s	Velocidad pico del terreno
$k =$	1,52	Coefficiente de la velocidad de pico (dependiente de la magnitud del sismo)
$V_S =$	0,4864 m/s	Velocidad de de las ondas de cortante del sismo ( $V_S = k \cdot a_{Z,MAX}$ )
$\gamma_{MAX} =$	0,000649 rad	Distorsión angular máxima ( $\gamma_{MAX} = V_S / C_S$ )

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





### 3.2 Resultados

Aplicando las expresiones indicadas en los apartados anteriores se obtienen los resultados siguientes:

#### CARGA DEL TERRENO

$\sigma_v = 64,77 \text{ t/m}^2$  Tensión vertical efectiva  
 $\sigma_H = 64,77 \text{ t/m}^2$  Tensión horizontal efectiva

$N_1 = 288,41 \text{ t}$  Axil deformación relativa terreno-revestimiento  
 $M_1 = 0,00 \text{ m}\cdot\text{t}$  Momento por deformación relativa terreno-revestimiento  
 $\sigma_{TANG} = 901,27 \text{ t/m}^2$  Tensión tangencial  
 $\epsilon = 2,33\text{E-}04$  Deformación tangencial

#### SISMO

$\sigma_{v,SISMO} = 9,13 \text{ t/m}^2$  Tensión vertical por sismo  
 $\sigma_{H,SISMO} = -9,13 \text{ t/m}^2$  Tensión horizontal por sismo

$N_3 = 32,95 \text{ t}$  Axil sismo  
 $M_3 = 1,26 \text{ m}\cdot\text{t}$  Momento sismo

#### TOTAL SIN SISMO (SIN MAYORAR)

$N_K = 288,41 \text{ t}$   
 $M_K = 0,00 \text{ m}\cdot\text{t}$

#### TOTAL CON SISMO (SIN MAYORAR)

$N_K = 321,36 \text{ t}$   
 $M_K = 1,26 \text{ m}\cdot\text{t}$

Como se indicaba anteriormente, con estos resultados se pueden dimensionar las dovelas, pues la sección del túnel excavado con TBM, es circular.

## 4 ESFUERZOS EN EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO DEL TÚNEL DE LÍNEA POR MÉTODOS CONVENCIONALES

### 4.1 Introducción

En el caso del túnel de línea excavado con métodos convencionales, la determinación de los esfuerzos, analíticamente, es aproximado, pues la sección no es circular. Para una mejor estimación, es mejor opción el empleo de métodos numéricos que tengan en cuenta la geometría de la sección objeto de análisis. No obstante, para obtener unos resultados lo más representativo posible, se ha realizado un calibrado del modelo numérico a partir de los resultados analíticos.

En los siguientes subapartados se presentan los valores de los parámetros utilizados y los resultados obtenidos y que servirán para calibrar el modelo numérico, cuyo análisis se describe en el *Apéndice III. Modelización numérica (PHASE2D) para la obtención de los esfuerzos en el revestimiento definitivo.*

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL





## 4.2 Esfuerzos en secciones con solera curva (secciones tipo A y B)

### 4.2.1 Parámetros de entrada

#### REVESTIMIENTO

$\phi_{NT} =$	9,20 m	Diámetro interior
$h_{REVEST} =$	0,30 m	Espesor
$R_{EXT} =$	4,90 m	Radio túnel (Exterior)
$A_{REVEST} =$	0,3 m <sup>2</sup>	Área
$I_{REVEST} =$	2,25E-03 m <sup>4</sup>	Momento de inercia
$E_{REVEST} =$	3089105 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. Revest.
$\nu_{REVEST} =$	0,20	Módulo de Poisson
$\theta =$	0 °	Ángulo respecto a la horizontal

#### TERRENO

$\gamma_M =$	2,11 t/m <sup>3</sup>	Peso específico
$E_M =$	36600 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. terreno
$\nu_M =$	0,30	Poisson terreno
$K_0 =$	1,00	Coefficiente de empuje (reposo)
$H_w =$	0,00 m	Altura Nivel freático desde clave
$H_{TIERRAS} =$	35 m	Recubrimiento
$E_{M,DIN} =$	36600 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. Terreno dinámico

#### SISMO

$a_B =$	0,40 g	Aceleración básica
$S =$	1,00	Coefficiente del terreno
$a_{MAX,S} =$	0,4 g	Aceleración máxima ( $a_{MAX,S} = S \cdot a_B$ )
$C =$	0,70	Coefficiente de profundidad
$a_{z,,MAX} =$	0,28 g	Aceleración máxima en profundidad ( $a_{z,,MAX} = C \cdot a_{MAX,S}$ )
$C_s =$	450,00 m/s	Velocidad pico del terreno
$k =$	1,52	Coefficiente de la velocidad de pico (dependiente de la magnitud del sismo)
$V_s =$	0,4256 m/s	Velocidad de de las ondas de cortante del sismo ( $V_s = k \cdot a_{z,,MAX}$ )
$\gamma_{MAX} =$	0,000946 rad	Distorsión angular máxima ( $\gamma_{MAX} = V_s / C_s$ )

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO RUIZ BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



039  
A



#### 4.2.2 Resultados

##### CARGA DEL TERRENO

$\sigma_v = 84,36 \text{ t/m}^2$  Tensión vertical efectiva  
 $\sigma_H = 84,36 \text{ t/m}^2$  Tensión horizontal efectiva

$N_1 = 361,69 \text{ t}$  Axil deformación relativa terreno-revestimiento  
 $M_1 = 0,00 \text{ m-t}$  Momento por deformación relativa terreno-revestimiento  
 $\sigma_{TANG} = 1.205,64 \text{ t/m}^2$  Tensión tangencial  
 $\epsilon = 3,12E-04$  Deformación tangencial

##### SISMO

$\sigma_{V,SISMO} = 13,31 \text{ t/m}^2$  Tensión vertical por sismo  
 $\sigma_{H,SISMO} = -13,31 \text{ t/m}^2$  Tensión horizontal por sismo

$N_3 = 46,51 \text{ t}$  Axil sismo  
 $M_3 = 3,12 \text{ m-t}$  Momento sismo

##### TOTAL SIN SISMO (SIN MAYORAR)

$N_K = 361,69 \text{ t}$   
 $M_K = 0,00 \text{ m-t}$

##### TOTAL CON SISMO (SIN MAYORAR)

$N_K = 408,21 \text{ t}$   
 $M_K = 3,12 \text{ m-t}$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL





### 4.3 Esfuerzos en sección con contrabóveda (sección tipo C)

#### 4.3.1 Parámetros de entrada

##### REVESTIMIENTO

$\phi_{INT} =$	9,20 m	Diámetro interior
$h_{REVEST} =$	0,30 m	Espesor
$R_{EXT} =$	4,90 m	Radio túnel (Exterior)
$A_{REVEST} =$	0,3 m <sup>2</sup>	Área
$I_{REVEST} =$	2,25E-03 m <sup>4</sup>	Momento de inercia
$E_{REVEST} =$	3089105 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. Revest.
$\nu_{REVEST} =$	0,20	Módulo de Poisson
$\theta =$	0 °	Ángulo respecto a la horizontal

##### TERRENO

$\gamma_M =$	2,00 t/m <sup>3</sup>	Peso específico
$E_M =$	8300 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. terreno
$\nu_M =$	0,30	Poisson terreno
$K_0 =$	1,00	Coefficiente de empuje (reposo)
$H_w =$	0,00 m	Altura Nivel freático desde clave
$H_{TIERRAS} =$	15 m	Recubrimiento
$E_{M,DIN} =$	8300 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. Terreno dinámico

##### SISMO

$a_B =$	0,40 g	Aceleración básica
$S =$	1,20	Coefficiente del terreno
$a_{MAX,S} =$	0,48 g	Aceleración máxima ( $a_{MAX,S} = S \cdot a_B$ )
$C =$	0,90	Coefficiente de profundidad
$a_{z,MAX} =$	0,432 g	Aceleración máxima en profundidad ( $a_{z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S}$ )
$C_S =$	400,00 m/s	Velocidad pico del terreno
$k =$	1,52	Coefficiente de la velocidad de pico (dependiente de la magnitud del sismo)
$V_s =$	0,65664 m/s	Velocidad de de las ondas de cortante del sismo ( $V_s = k \cdot a_{z,MAX}$ )
$\gamma_{MAX} =$	0,001642 rad	Distorsión angular máxima ( $\gamma_{MAX} = V_s / C_S$ )

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASADE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



### 4.3.2 Resultados

**CARGA DEL TERRENO**

$\sigma_v = 39,80 \text{ t/m}^2$  Tensión vertical efectiva  
 $\sigma_h = 39,80 \text{ t/m}^2$  Tensión horizontal efectiva

$N_1 = 188,90 \text{ t}$  Axil deformación relativa terreno-revestimiento  
 $M_1 = 0,00 \text{ m-t}$  Momento por deformación relativa terreno-revestimiento  
 $\sigma_{TANG} = 629,67 \text{ t/m}^2$  Tensión tangencial  
 $\epsilon = 1,63E-04$  Deformación tangencial

**SISMO**

$\sigma_{v,SISMO} = 5,24 \text{ t/m}^2$  Tensión vertical por sismo  
 $\sigma_{h,SISMO} = -5,24 \text{ t/m}^2$  Tensión horizontal por sismo


$N_3 = 19,52 \text{ t}$  Axil sismo  
 $M_3 = 5,03 \text{ m-t}$  Momento sismo

**TOTAL SIN SISMO (SIN MAYORAR)**

$N_K = 188,90 \text{ t}$   
 $M_K = 0,00 \text{ m-t}$

**TOTAL CON SISMO (SIN MAYORAR)**

$N_K = 208,42 \text{ t}$   
 $M_K = 5,03 \text{ m-t}$

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL 



## 5 ESFUERZOS EN SECCIÓN CAVERNA EJE DE ESTACIÓN JAVIER PRADO

Siguiendo el mismo proceso y métodos para determinar los esfuerzos en los revestimientos del túnel de línea construido por métodos convencionales, se han determinado los esfuerzos en el revestimiento de la caverna del eje de la estación Javier Prado. A continuación se presentan los valores de los parámetros utilizados y los resultados.

### 5.1 Parámetros de entrada

#### REVESTIMIENTO

$\phi_{INT} =$	17,40 m	Diámetro interior
$h_{REVEST} =$	0,30 m	Espesor
$R_{EXT} =$	9,00 m	Radio túnel (Exterior)
$A_{REVEST} =$	0,3 m <sup>2</sup>	Área
$I_{REVEST} =$	2,25E-03 m <sup>4</sup>	Momento de inercia
$E_{REVEST} =$	3089105 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. Revest.
$\nu_{REVEST} =$	0,20	Módulo de Poisson
$\theta =$	0 °	Ángulo respecto a la horizontal

#### TERRENO

$\gamma_M =$	2,00 t/m <sup>3</sup>	Peso específico
$E_M =$	36600 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. terreno
$\nu_M =$	0,30	Poisson terreno
$K_0 =$	1,00	Coefficiente de empuje (reposo)
$H_W =$	0,00 m	Altura Nivel freático desde clave
$H_{TIERRAS} =$	15 m	Recubrimiento
$E_{M,DIN} =$	36600 t/m <sup>2</sup>	Mod. Deform. Terreno dinámico

#### SISMO

$a_B =$	0,40 g	Aceleración básica
$S =$	1,00	Coefficiente del terreno
$a_{MAX,S} =$	0,4 g	Aceleración máxima ( $a_{MAX,S} = S \cdot a_B$ )
$C =$	0,90	Coefficiente de profundidad
$a_{z,MAX} =$	0,36 g	Aceleración máxima en profundidad ( $a_{z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S}$ )
$C_S =$	600,00 m/s	Velocidad pico del terreno
$k =$	1,52	Coefficiente de la velocidad de pico (dependiente de la magnitud del sismo)
$V_S =$	0,5472 m/s	Velocidad de de las ondas de cortante del sismo ( $V_S = k \cdot a_{z,MAX}$ )
$\gamma_{MAX} =$	0,000912 rad	Distorsión angular máxima ( $\gamma_{MAX} = V_S / C_S$ )

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



## 5.2 Resultados

### CARGA DEL TERRENO

$\sigma_v = 48,00 \text{ t/m}^2$  Tensión vertical efectiva  
 $\sigma_H = 48,00 \text{ t/m}^2$  Tensión horizontal efectiva

$N_3 = 342,19 \text{ t}$  Axil deformación relativa terreno-revestimiento  
 $M_1 = 0,00 \text{ m-t}$  Momento por deformación relativa terreno-revestimiento  
 $\sigma_{TANG} = 1.140,63 \text{ t/m}^2$  Tensión tangencial  
 $\epsilon = 2,95E-04$  Deformación tangencial

### SISMO

$\sigma_{V,SISMO} = 12,84 \text{ t/m}^2$  Tensión vertical por sismo  
 $\sigma_{H,SISMO} = -12,84 \text{ t/m}^2$  Tensión horizontal por sismo

$N_3 = 78,22 \text{ t}$  Axil sismo  
 $M_3 = 1,68 \text{ m-t}$  Momento sismo

### TOTAL SIN SISMO (SIN MAYORAR)

$N_K = 342,19 \text{ t}$   
 $M_K = 0,00 \text{ m-t}$

### TOTAL CON SISMO (SIN MAYORAR)

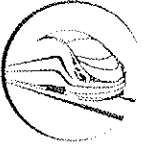
$N_K = 420,41 \text{ t}$   
 $M_K = 1,68 \text{ m-t}$



[2667]  
002311

A.6.4. Memoria de Cálculo de las  
Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



A.6.4.  Nº DOCUMENTO	A) DISEÑO DE INGENIERÍA  TIPO DE DOCUMENTO
----------------------------	--

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA  
RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

**A.6.4. MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS  
ESTRUCTURAS PERMANENTES.  
APÉNDICE 3. MODELIZACIÓN NUMÉRICA  
(PHASE2D) PARA LA OBTENCIÓN DE LOS  
ESFUERZOS EN EL REVESTIMIENTO  
DEFINITIVO**

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





## Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>132</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>132</b>
2.1	<b>Introducción</b> .....	<b>132</b>
2.2	<b>Modelos Tenso-deformacionales</b> .....	<b>133</b>
2.2.1	Generalidades .....	133
2.2.2	Modelo para la carga del terreno .....	133
2.2.3	Modelo para la acción sísmica.....	135
<b>3</b>	<b>ESFUERZOS SECCIONES CON SOLERA CURVA (TIPO A Y B)</b> .....	<b>137</b>
3.1	<b>Introducción</b> .....	<b>137</b>
3.2	<b>Carga del terreno</b> .....	<b>138</b>
3.2.1	Tensiones en el terreno .....	138
3.2.2	Deformaciones .....	139
3.2.3	Esfuerzos en el revestimiento.....	140
3.3	<b>Sismo</b> .....	<b>143</b>
3.3.1	Determinación de la deformación del modelo.....	143
3.3.2	Modelo deformado .....	143
3.3.3	Esfuerzos Axiles.....	144
3.3.4	Momentos Flectores.....	144
3.3.5	Esfuerzos cortantes .....	146
<b>4</b>	<b>ESFUERZOS SECCIÓN CON CONTRABÓVEDA (TIPO C)</b> .....	<b>147</b>
4.1	<b>Introducción</b> .....	<b>147</b>
4.2	<b>Carga del terreno</b> .....	<b>147</b>
4.2.1	Tensiones en el terreno .....	147
4.2.2	Deformaciones .....	148
4.2.3	Esfuerzos en el revestimiento.....	149
4.3	<b>Sismo</b> .....	<b>153</b>
4.3.1	Determinación de la deformación del modelo.....	153
4.3.2	Modelo deformado .....	153
4.3.3	Esfuerzos Axiles.....	154
4.3.4	Momentos Flectores.....	155
4.3.5	Esfuerzos cortantes .....	157
<b>5</b>	<b>ESFUERZOS SECCIÓN CAVERNA EJE ESTACIÓN JAVIER PRADO</b> .....	<b>158</b>
5.1	<b>Introducción</b> .....	<b>158</b>
5.2	<b>Carga del terreno</b> .....	<b>158</b>
5.2.1	Tensiones en el terreno .....	158
5.2.2	Deformaciones .....	159
5.2.3	Esfuerzos en el revestimiento.....	160

A.6.4. Memoria de Cálculo de  
Estructuras Permanentes



<b>5.3 Sismo</b> .....	<b>163</b>
5.3.1 Determinación de la deformación del modelo.....	163
5.3.2 Modelo deformado .....	163
5.3.3 Esfuerzos Axiles.....	164
5.3.4 Momentos Flectores.....	165
5.3.5 Esfuerzos cortantes .....	166



## 1 INTRODUCCIÓN

En este apéndice se presentan los resultados de los análisis tenso-deformacionales de los revestimientos definitivos de los túneles, galerías o cavernas excavadas por métodos convencionales, para la obtención de los esfuerzos que deben soportar, de modo que sirvan de base para el dimensionamiento del propio revestimiento.

En concreto se analizan los revestimientos correspondientes a las siguientes secciones:

- Túnel de Línea. Secciones A y B.
- Túnel de Línea. Sección C.
- Caverna eje estación Javier Prado.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Introducción

Los análisis realizados han consistido en la realización de análisis tenso-deformacionales por el método de los elementos finitos.

La necesidad de utilizar esta metodología surge de la geometría no circular de las secciones objeto de análisis. Puesto que mediante las expresiones analíticas, sólo es posible determinar los esfuerzos en secciones circulares.

Para ello, se ha utilizado la aplicación informática de cálculo PHASE2 de ROCSCIENCE, que se basa en la modelización mediante elementos finitos del terreno en dos dimensiones, estando específicamente diseñada para el cálculo de tensiones y desplazamientos alrededor de excavaciones subterráneas, así como de los esfuerzos (axiles, momentos y cortantes) en el revestimiento y es utilizada para la resolución de gran variedad de problemas de minería y obra civil.

Para la resolución del problema se utiliza el método de eliminación gaussiana, limitando el proceso de cálculo a 500 o 1000 iteraciones y a una tolerancia de 0,001.

Para cada una de las secciones se ha planteado un modelo tenso-deformacional para la obtención de los esfuerzos causados por la carga del terreno y otro modelo para la obtención de los esfuerzos causados por la acción de un evento sísmico.

Los resultados de interés obtenidos en el análisis numérico son los esfuerzos en el revestimiento. A partir de estos valores de los esfuerzos se pueden dimensionar adecuadamente los revestimientos necesarios para soportar dichos esfuerzos.





## 2.2 Modelos Tenso-deformacionales

### 2.2.1 Generalidades

Como se ha indicado anteriormente, en cada sección, se ha planteado un modelo tenso-deformacional para la obtención de los esfuerzos causados por la carga del terreno y otro modelo para la obtención de los esfuerzos causados por la acción de un evento sísmico.

### 2.2.2 Modelo para la carga del terreno

La modelización del terreno mediante elementos finitos es realizada automáticamente por el programa PHASE2 utilizando un algoritmo avanzado de generación de malla, a partir de las indicaciones del usuario. Para el análisis se ha generado una malla de elementos finitos triangulares progresiva. De forma que la densidad de nodos es mayor en las cercanías de las excavaciones y menor conforme nos alejamos. Las zonas del macizo rocoso fuera de la zona analizada son representadas mediante una modelización de elementos de contorno.

Los elementos de contorno se han definido mediante restricciones al desplazamiento para no interferir en los resultados, de modo que la superficie del modelo que coincide con la del terreno, es totalmente libre, en los bordes laterales se restringe el desplazamiento horizontal, dejando libre el desplazamiento vertical y no se deja desplazamiento alguno en el borde inferior.

Se han generado mallas de elementos finitos para los distintos casos analizados, lo suficientemente densa y convenientemente optimizada y depurada, para los análisis. Véase Figura 1.

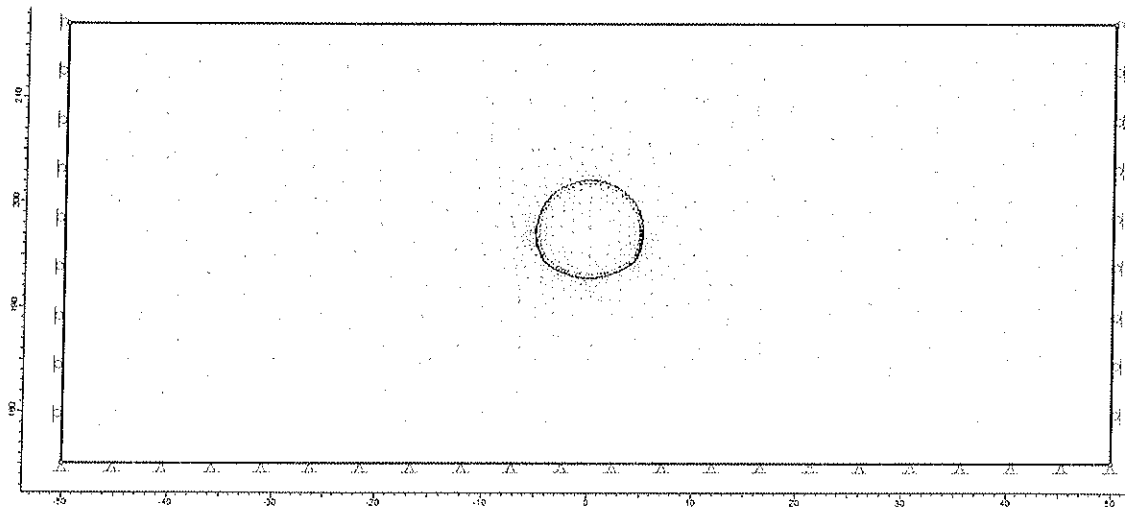


Figura 1. Ejemplo de malla de elementos finitos para la obtención de las cargas del terreno

En los modelos realizados se han considerado las unidades geológicas más representativas (Grava suelta (GP-S s) y Conglomerado de Lima (GP-S f) y se han caracterizado utilizando los parámetros deformacionales del macizo rocoso (módulo de deformación en extensión y





coeficiente de Poisson) y como criterio de rotura, el de Mohr-Coulomb con los parámetros resistentes correspondientes (Cohesión y ángulo de rozamiento interno). En la *Tabla 1* se presentan los valores utilizados para la caracterización de los materiales que constituyen el terreno.

**Tabla 1. Valores de los parámetros adoptados para el terreno**

PARÁMETRO	UNIDAD		UNIDADES
	GRAVA SUELTA	CONGLOMERADO	
Módulo de deformación en extensión (E)	83	366	MPa
Módulo de Poisson ( $\nu$ )	0,3	0,3	-
Peso específico ( $\gamma$ )	0.02	0.022	MN/m <sup>3</sup>
Rozamiento. Mohr-Coulomb ( $\phi$ )	34	39	°
Cohesión. Mohr-Coulomb (c)	0.015	0.032	MPa
Dilatancia ( $\delta$ )	23	26	°
Coef. Empuje horizontal ( $K_0$ )	1,0	1,0	-

En cuanto a la modelización del revestimiento, el hormigón armado HA-40 a largo plazo se ha representado mediante elementos Beam, véase *Tabla 2*.

**Tabla 2. Valores de los parámetros adoptados para el Hormigón Armado HA-40.**

PARÁMETRO	TIPO	UNIDADES
Módulo de elasticidad (E)	49000	MPa
Módulo de Poisson ( $\nu$ )	0,20	-

Las condiciones particulares de las cargas a largo plazo, se han simulado mediante tres fases, partiendo de una situación inicial en la que no se había realizado la excavación. En la segunda fase se modeliza la excavación del túnel sin permitir deformación alguna del terreno y en la tercera fase se considera el revestimiento definitivo exclusivamente y se permite que asuma la totalidad de la carga. En ningún momento se considera la intervención del revestimiento primario.





2.2.3 Modelo para la acción sísmica

Para la determinación de los esfuerzos debidos a un sismo, el modelo viene condicionado por la metodología utilizada, que consiste en el método denominado "Free-Field Deformation Approach", específico para el diseño de obras subterráneas y que se basa en la determinación de las cargas aplicadas a la estructura subterránea debidas a las deformaciones y tensiones impuestas a la misma por su interacción con el terreno circundante afectado por la acción sísmica.

Por tanto, lo que se pretende con el modelo es representar la deformación en el terreno a partir de la distorsión angular que se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\gamma_{max} = \frac{V_s}{C_s}$$

Donde:

$C_s$  es la velocidad de propagación de las ondas S.

$$V_s = k \cdot a_{z,max}$$

Donde: k es el coeficiente entre la velocidad máxima del terreno y la aceleración máxima del terreno, que se obtiene de la Tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes entre la velocidad máxima y aceleración máxima del terreno (Power et al. 1996).

Moment magnitude ( $M_s$ )	Ratio of peak ground velocity (cm/s) to peak ground acceleration (g)		
	Source-to-site distance (km)		
	0-20	20-50	50-100
<i>Rock<sup>a</sup></i>			
6.5	66	76	86
7.5	97	109	97
8.5	127	140	152
<i>Stiff soil<sup>a</sup></i>			
6.5	94	102	109
7.5	140	127	155
8.5	180	188	193
<i>Soft soil<sup>a</sup></i>			
6.5	140	132	142
7.5	208	165	201
8.5	269	244	251

<sup>a</sup>In this table, the sediment types represent the following shear wave velocity ranges: rock  $\geq 750$  m/s; stiff soil is 200-750 m/s; and soft soil < 200 m/s. The relationship between peak ground velocity and peak ground acceleration is less certain in soft soils.

Y  $a_{z,max}$  es la aceleración máxima del terreno a la profundidad establecida que se obtiene a partir de la aceleración sísmica básica modificada por un coeficiente en función del tipo de terreno y otro coeficiente en función de la profundidad.

### A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



Conocido el valor de la distorsión, se diseña un modelo para que se genere la distorsión establecida mediante la aplicación de unas fuerzas externas. La generación de malla y el proceso de cálculo es similar al modelo para la obtención de las cargas del terreno a largo plazo. Véanse Figura 2.

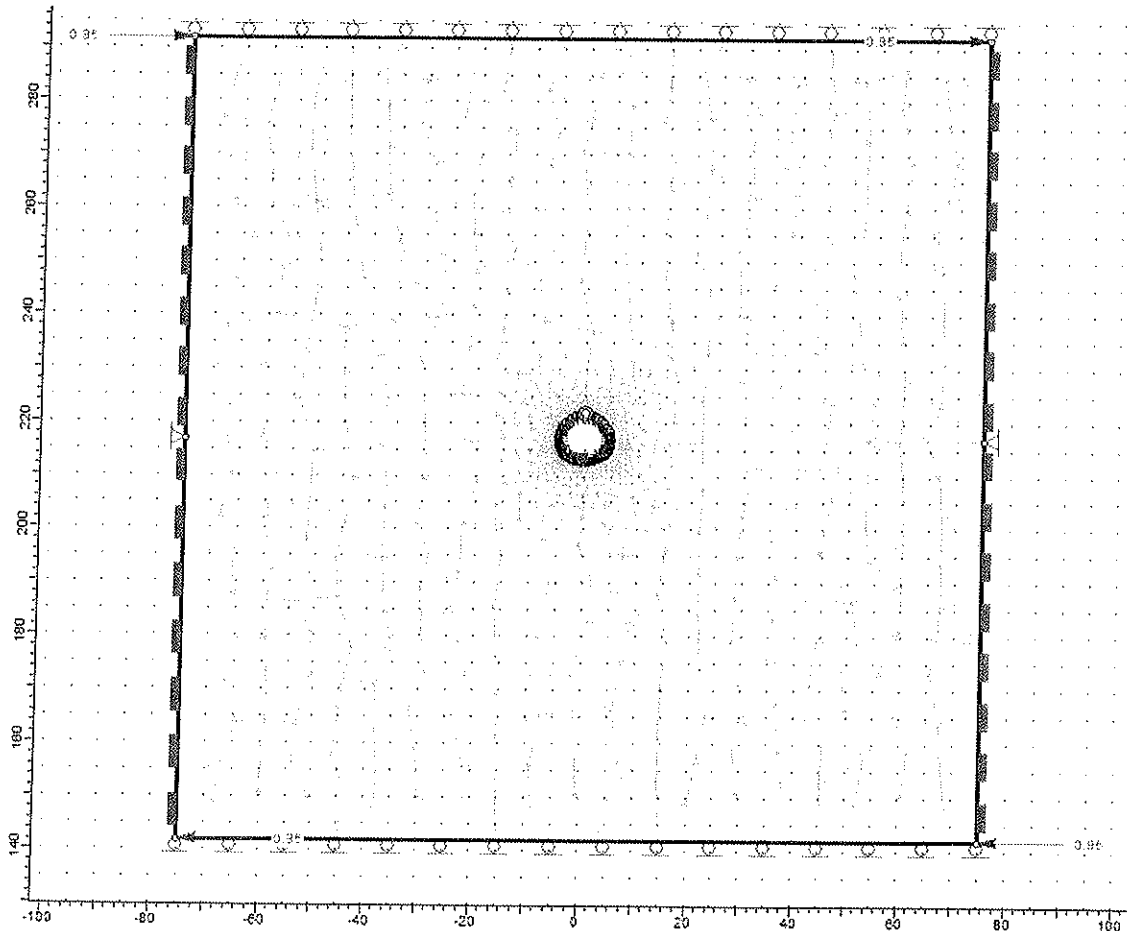


Figura 2. Ejemplo de malla de elementos finitos para la obtención de los esfuerzos por sismo (Sin deformar)

En cuanto al revestimiento, en este caso se ha representado como un material elástico con las características indicadas anteriormente y para la obtención de directa de los esfuerzos se ha utilizado el Método del Beam Equivalente [Pescara, 2011]. Véase Figura 3. Este método consiste en introducir un elemento Beam que considere el espesor del revestimiento pero que su módulo de Young esté reducido  $10^{10}$  veces para no influir en los resultados, puesto que el revestimiento ya está representado por el material elástico.



## A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes

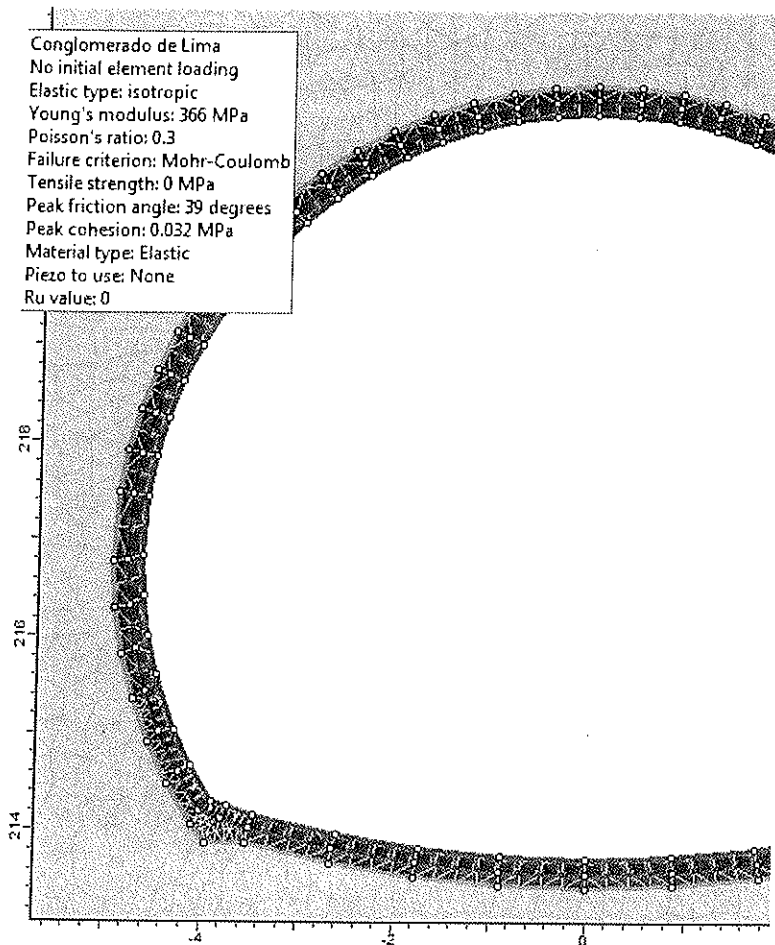


Figura 2. Ejemplo de modelización del revestimiento definitivo como un material elástico (zona de color gris oscuro) y como un elemento Beam (rojo).

El Método del Beam Equivalente consiste en incluir en el modelo, además del revestimiento como un material elástico, introducirlo como un Beam p

Con objeto de conseguir que los modelos sean representativos y además coherentes con los resultados obtenidos mediante las expresiones analíticas, cada uno de los modelos empleados ha sido calibrado mediante su aplicación a una sección geométrica circular equivalente a la que es objeto de análisis, una vez calibrado el modelo, es decir, que se obtienen los mismos resultados que por la vía analítica, se analiza la sección geométrica en cuestión.

### 3 ESFUERZOS SECCIONES CON SOLERA CURVA (TIPO A Y B)

#### 3.1 Introducción

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el revestimiento definitivo a largo plazo para la secciones con solera curva, es decir, los revestimientos definitivos de las

### A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes

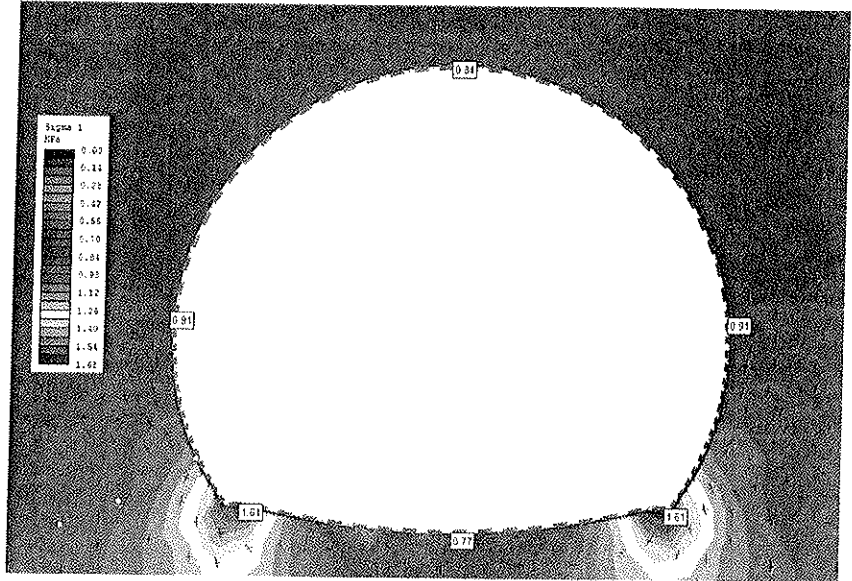


secciones tipo A y B, tanto los debidos a las cargas del terreno como los ocasionados por un sismo.

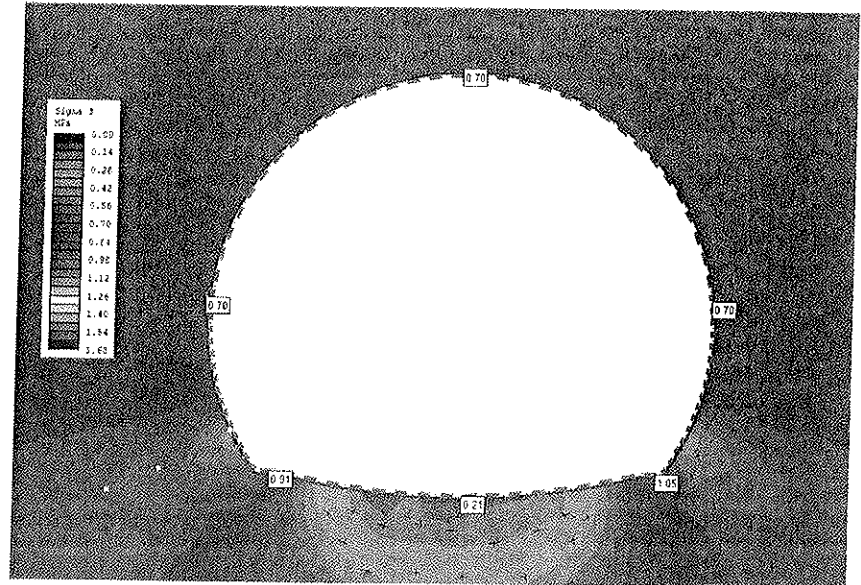
### 3.2 Carga del terreno

#### 3.2.1 Tensiones en el terreno

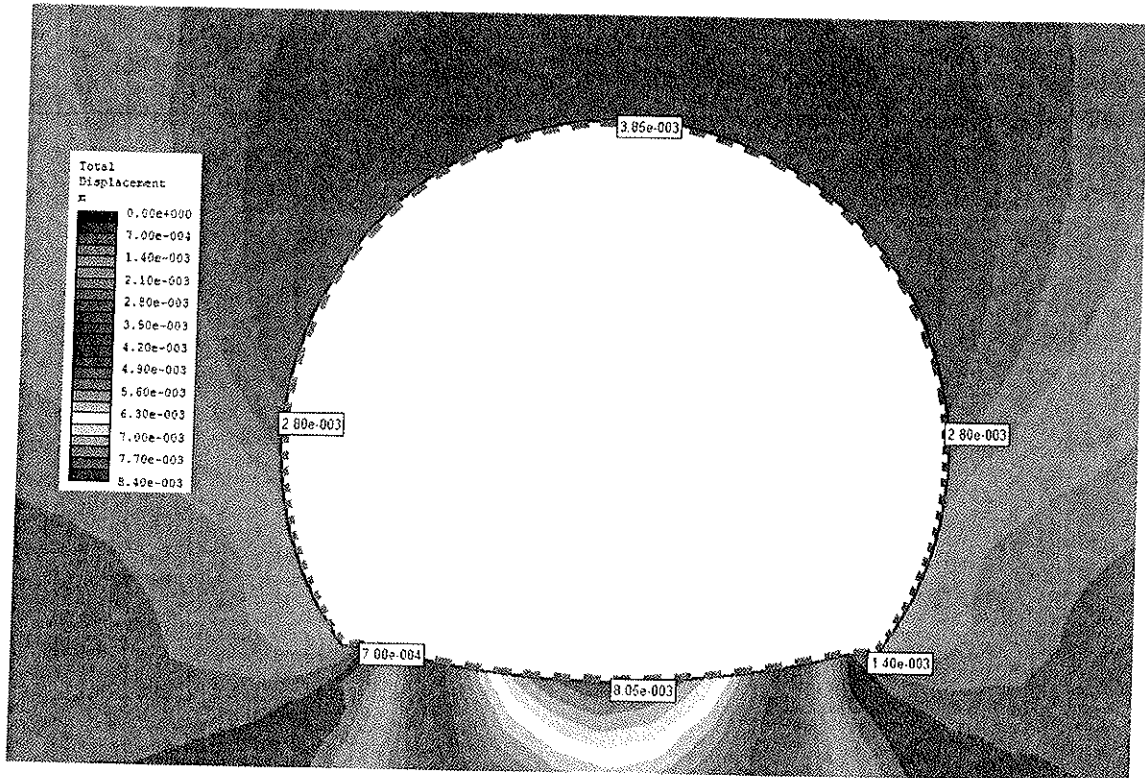
Tensión principal mayor:



Tensión principal menor:



3.2.2 Deformaciones

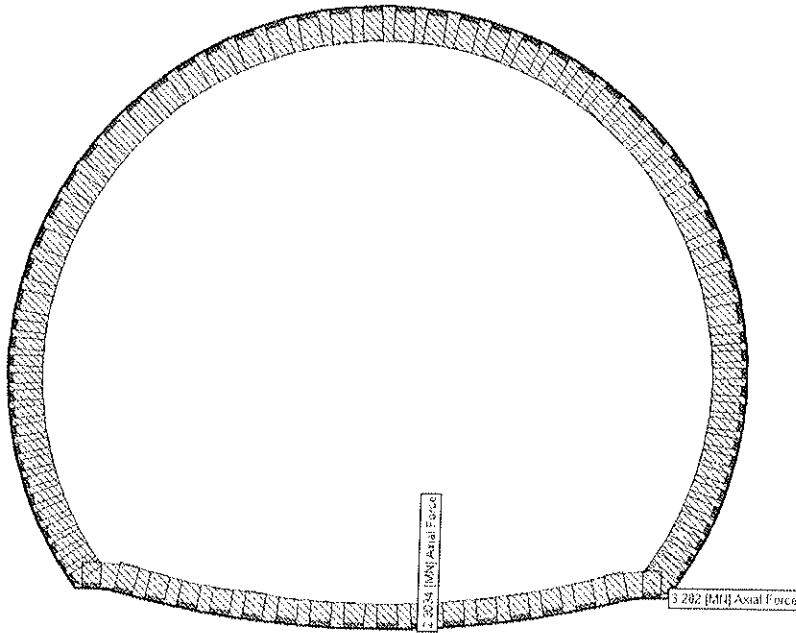


A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes

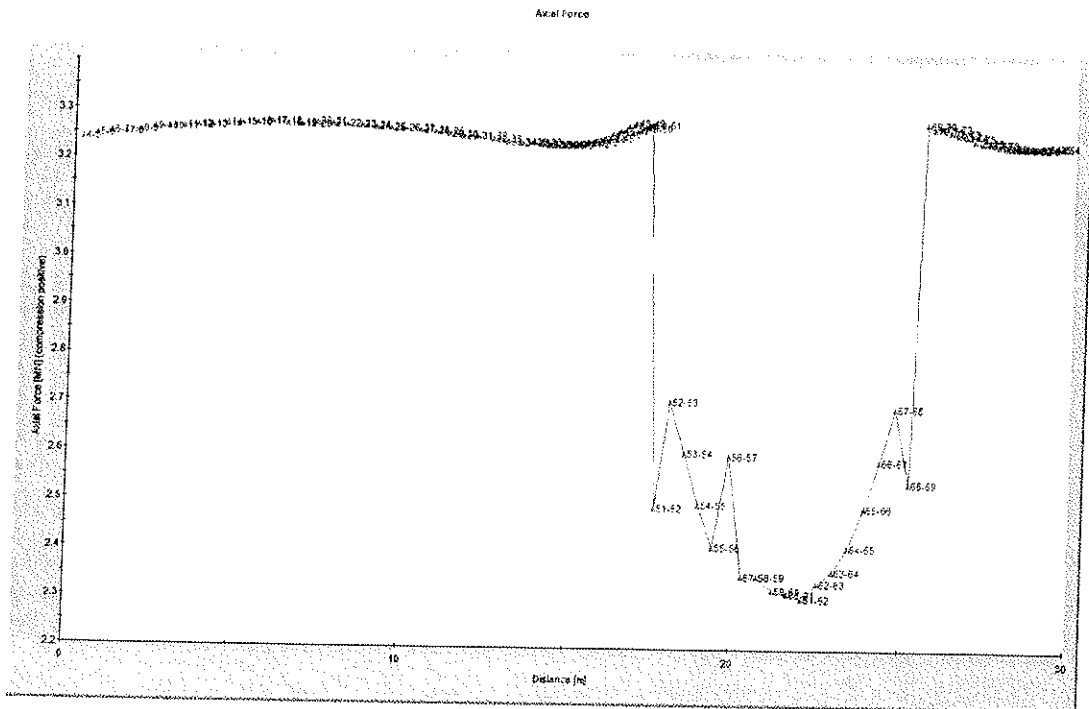


3.2.3 Esfuerzos en el revestimiento.

3.2.3.1 Esfuerzos Axiales



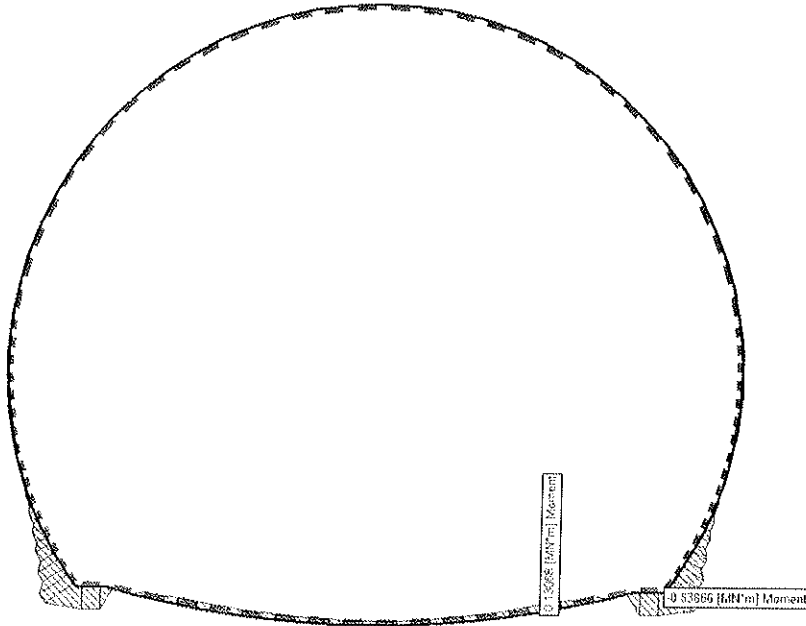
Valor mínimo en azul  
Valor máximo en rojo



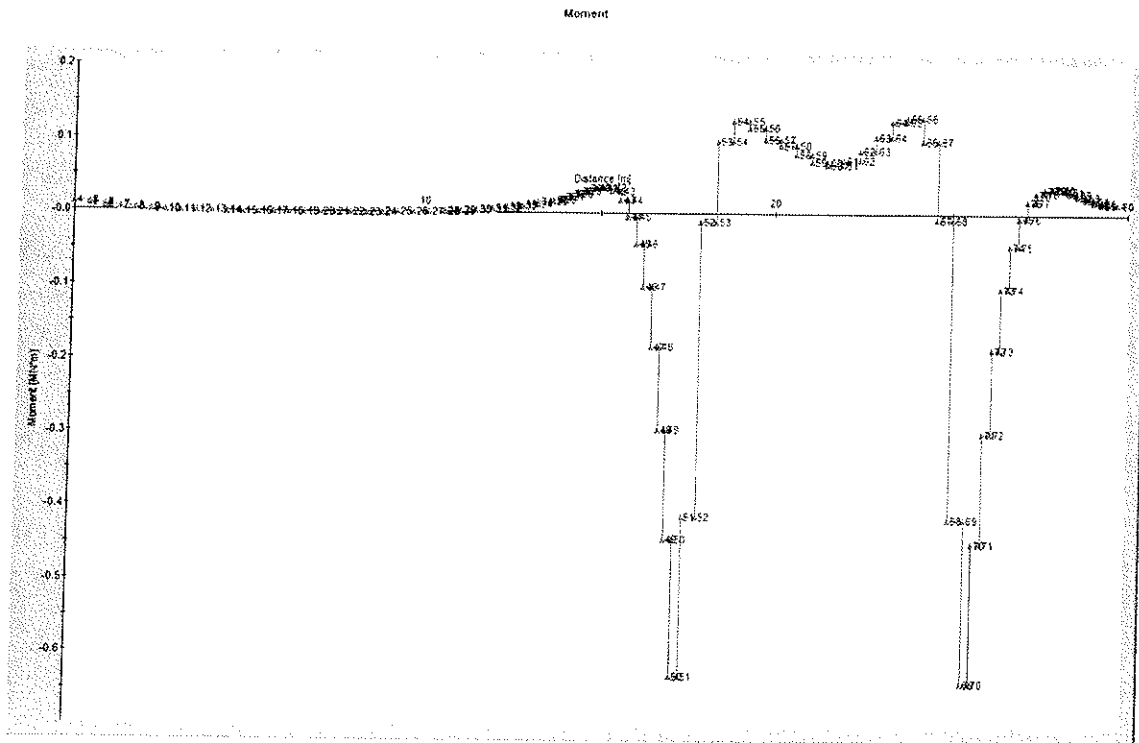
A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



3.2.3.2 Momentos flectores



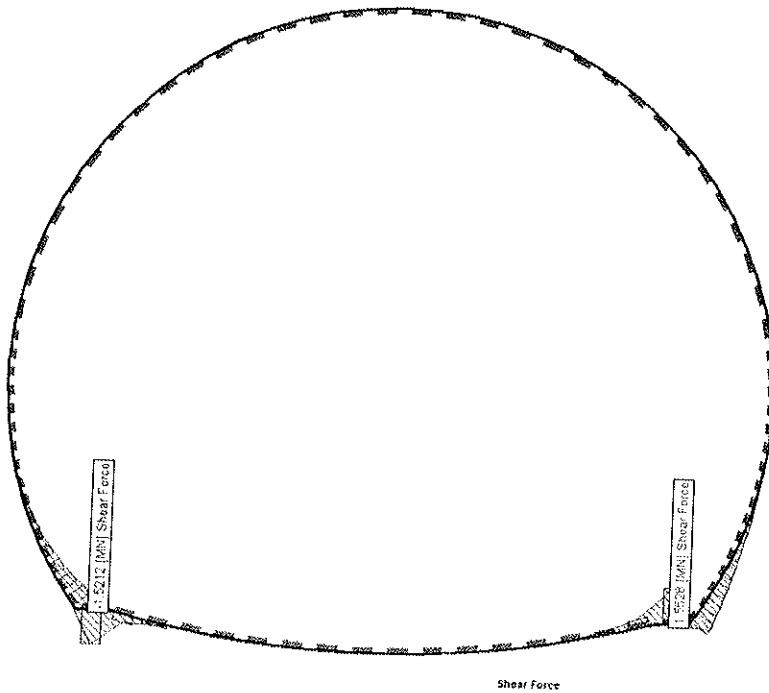
Valor mínimo en azul  
Valor máximo en rojo



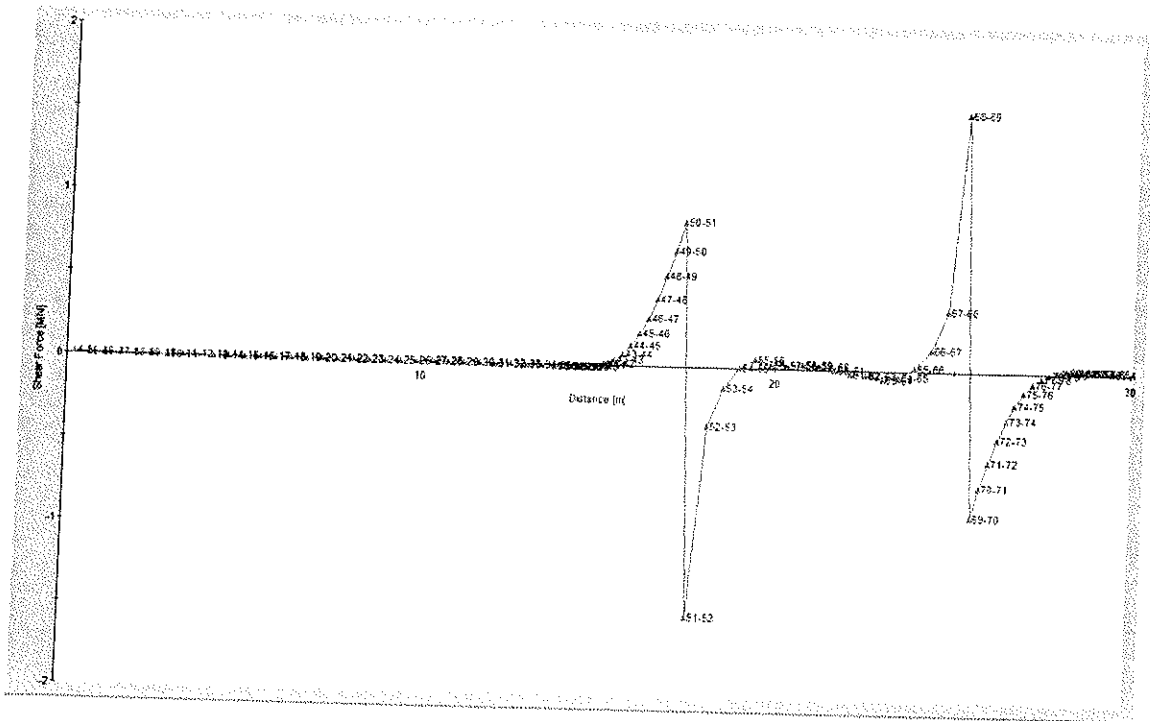
A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



3.2.3.3 Esfuerzos Cortantes



Valor mínimo en azul  
Valor máximo en rojo







### 3.3 Sismo

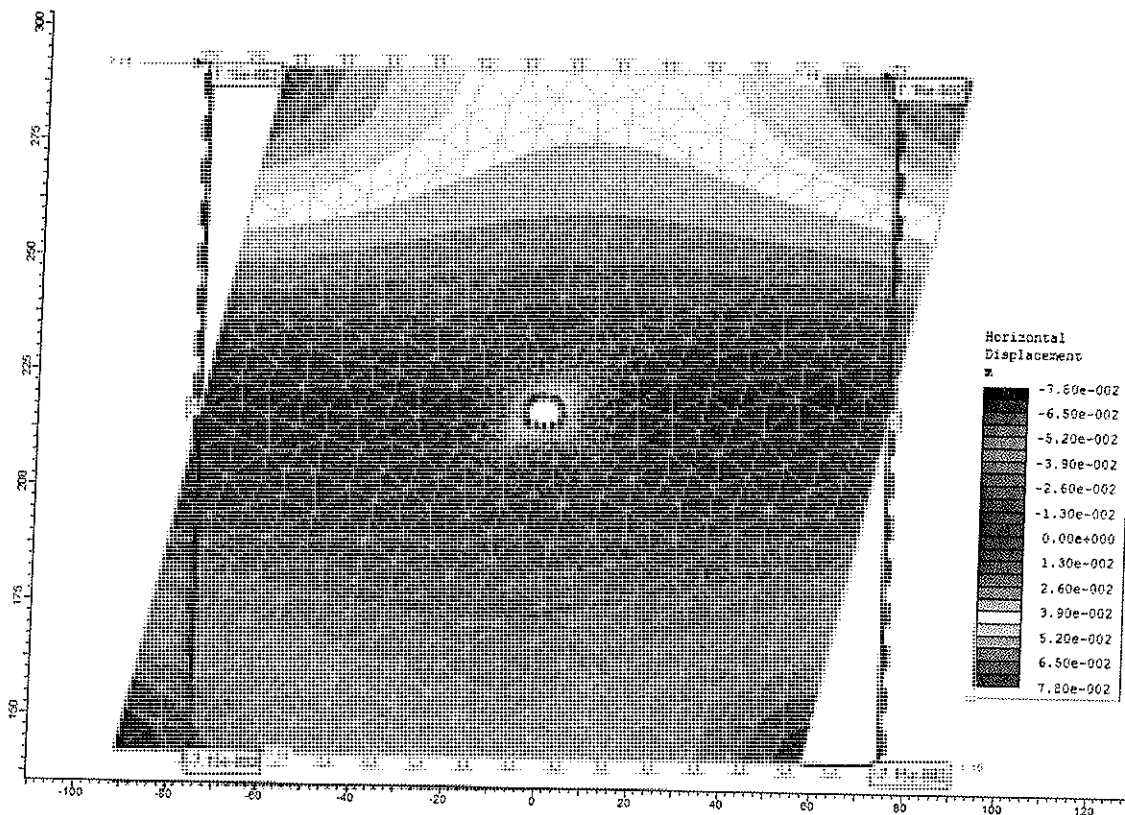
#### 3.3.1 Determinación de la deformación del modelo

Los valores de los parámetros utilizados son los siguientes:

##### SISMO

$a_B =$	0,40 g	Aceleración básica
$S =$	1,00	Coefficiente del terreno
$a_{MAX,S} =$	0,4 g	Aceleración máxima ( $a_{MAX,S} = S \cdot a_B$ )
$C =$	0,70	Coefficiente de profundidad
$a_{Z,MAX} =$	0,28 g	Aceleración máxima en profundidad ( $a_{Z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S}$ )
$C_s =$	450,00 m/s	Velocidad pico del terreno
$k =$	1,52	Coefficiente de la velocidad de pico (dependiente de la magnitud del sismo)
$V_s =$	0,4256 m/s	Velocidad de las ondas de cortante del sismo ( $V_s = k \cdot a_{Z,MAX}$ )
$\gamma_{MAX} =$	0,000946 rad	Distorsión angular máxima ( $\gamma_{MAX} = V_s / C_s$ )
$h_{MODELO} =$	150 m	Altura modelo numérico
$\Delta X =$	0,070933 m	Desplazamiento en los vértices del modelo numérico

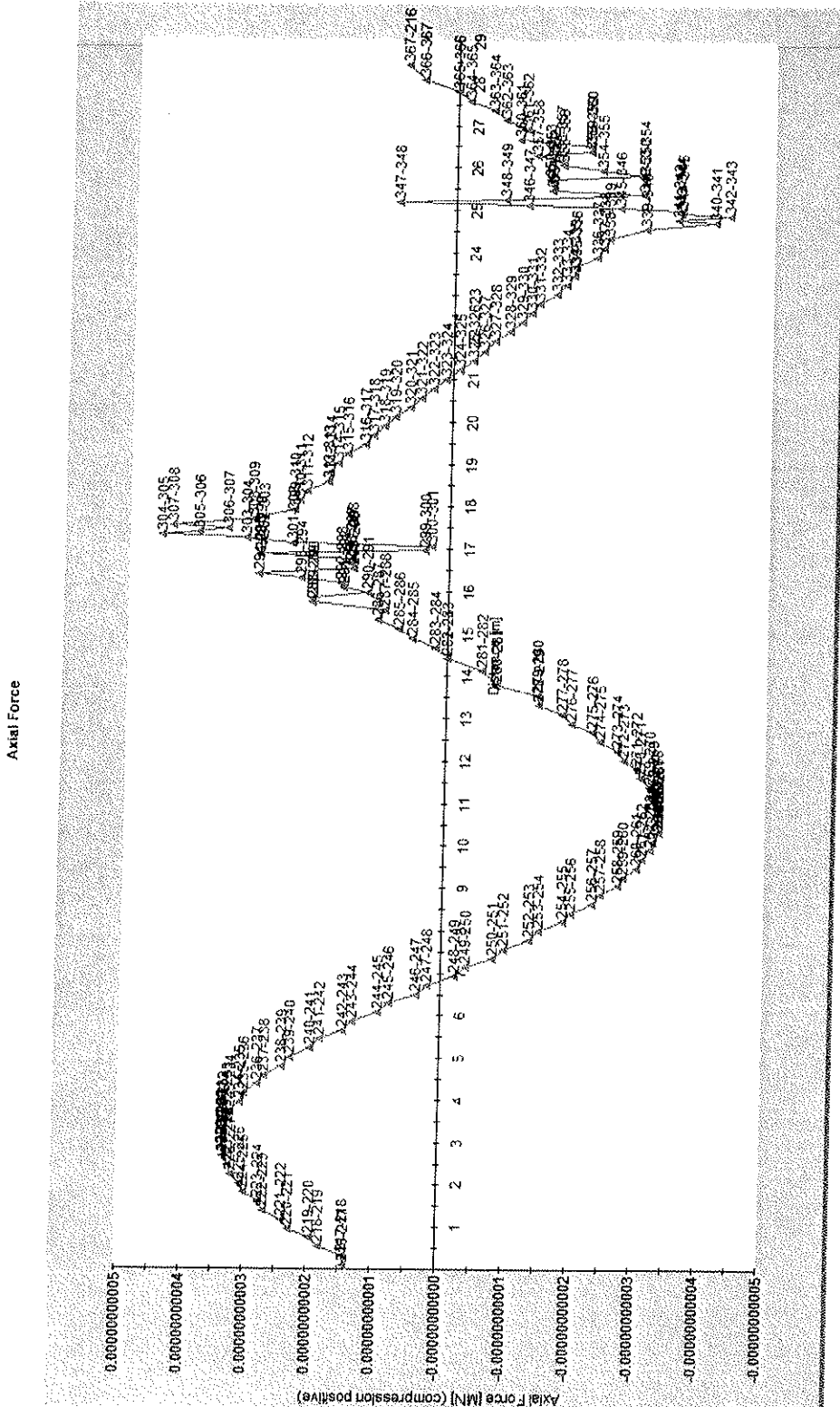
#### 3.3.2 Modelo deformado



A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



3.3.3 Esfuerzos Axiales



Nota: Los valores de los axiales están 10<sup>10</sup> veces minorados

3.3.4 Momentos



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

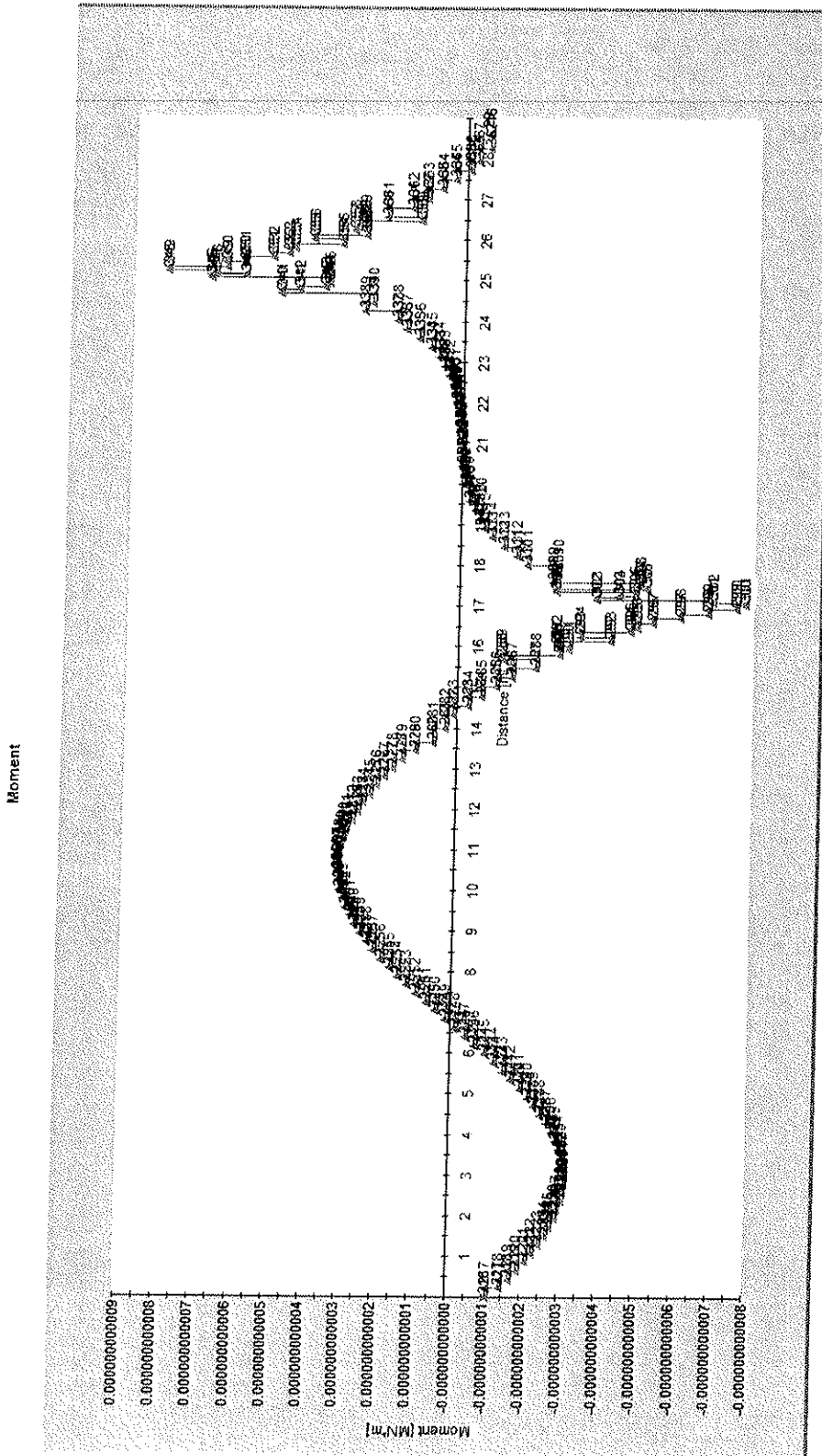
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DE SAADE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



Flectores



Nota: Los valores de los momentos están 10<sup>10</sup> veces minorados



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

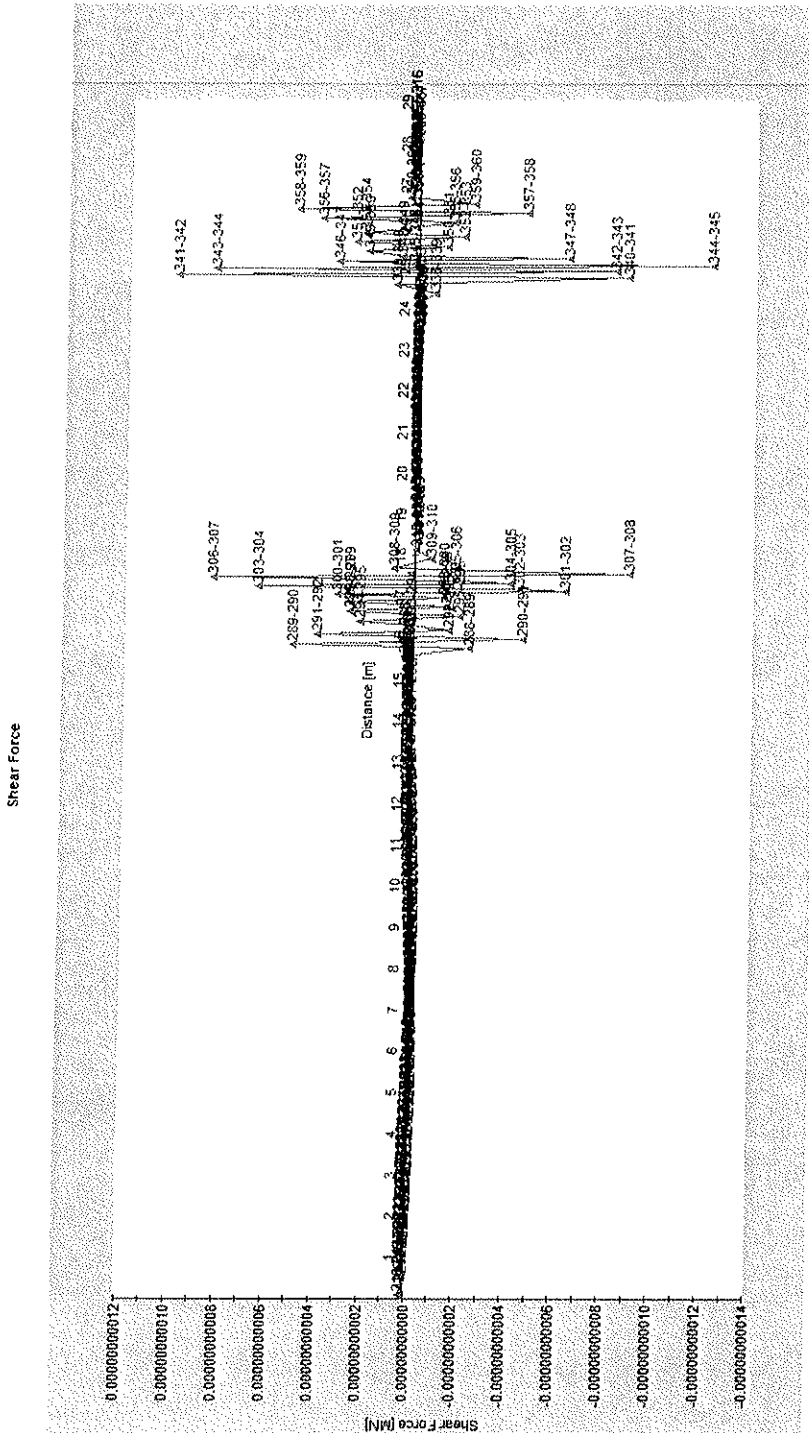
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO HUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



3.3.5 Esfuerzos cortantes



Nota: Los valores de los cortantes están  $10^{10}$  veces minorados



### 4 ESFUERZOS SECCIÓN CON CONTRABÓVEDA (TIPO C)

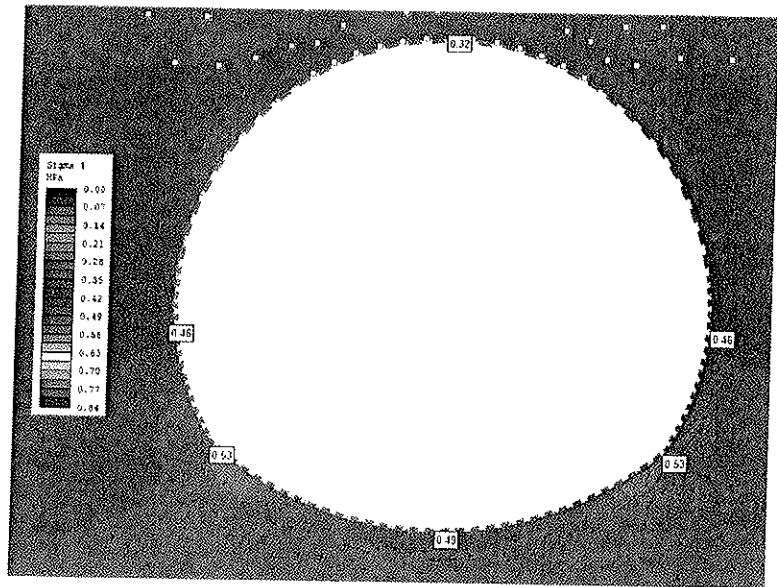
#### 4.1 Introducción

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el revestimiento definitivo a largo plazo para la sección con contrabóveda, es decir, el revestimiento definitivo de la sección tipo C, tanto los debidos a las cargas del terreno como los ocasionados por un sismo.

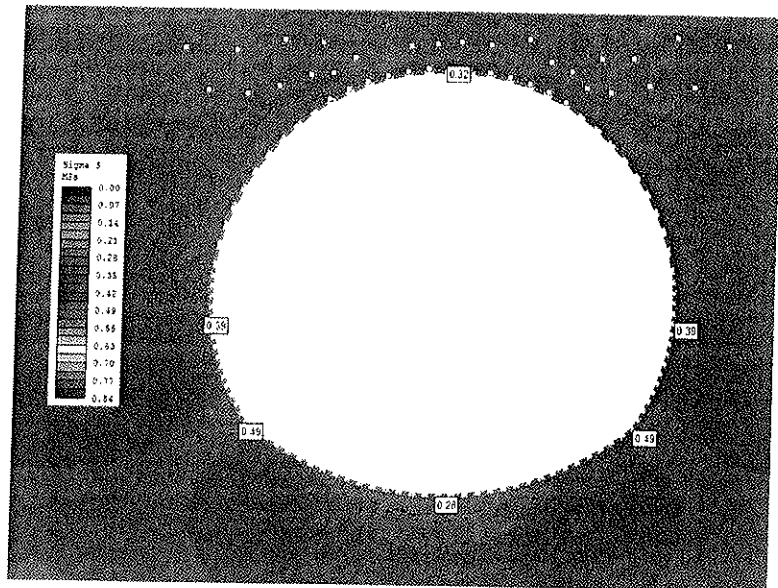
#### 4.2 Carga del terreno

##### 4.2.1 Tensiones en el terreno

Tensión principal mayor:



Tensión principal menor:

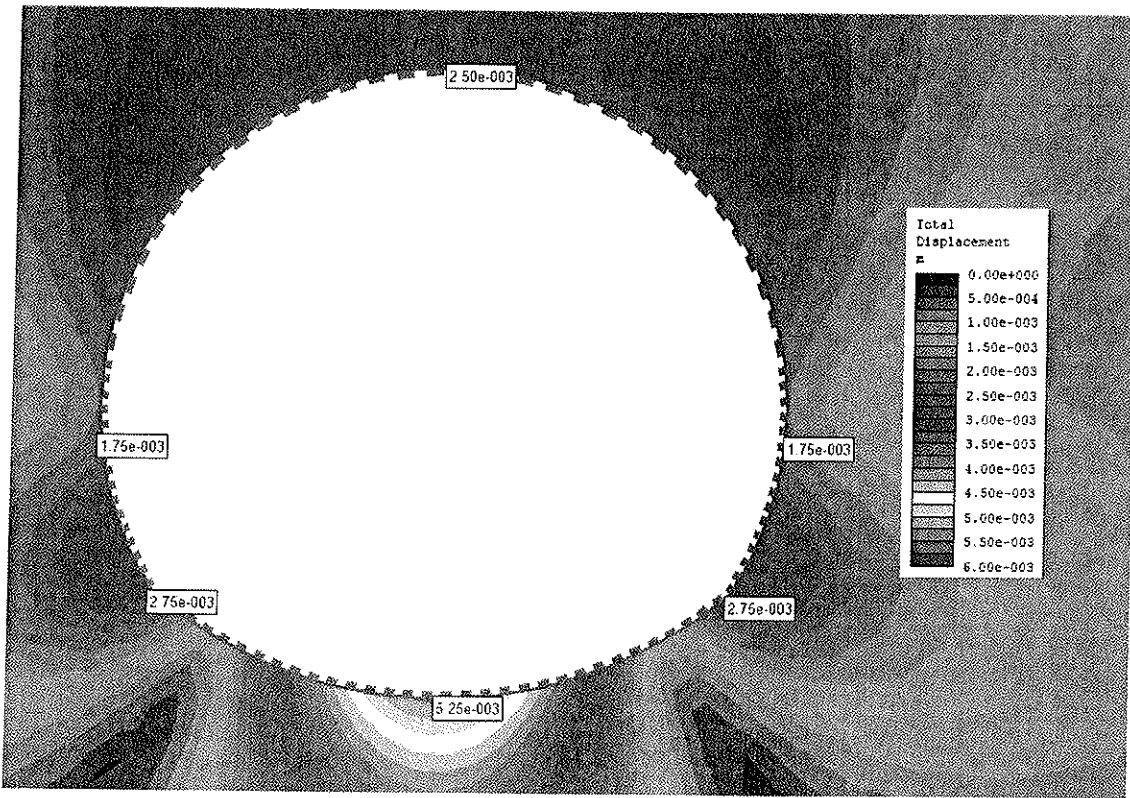


A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA



4.2.2 Deformaciones

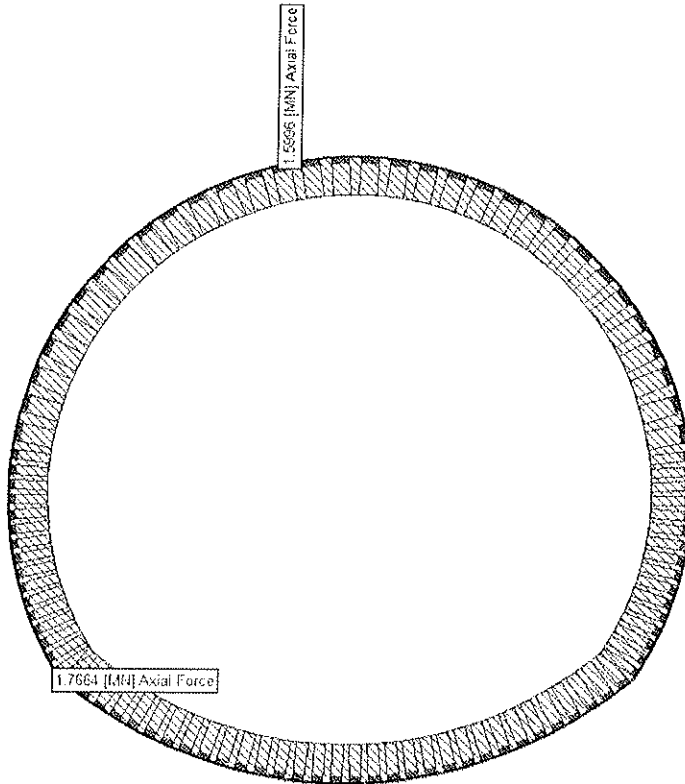


A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes

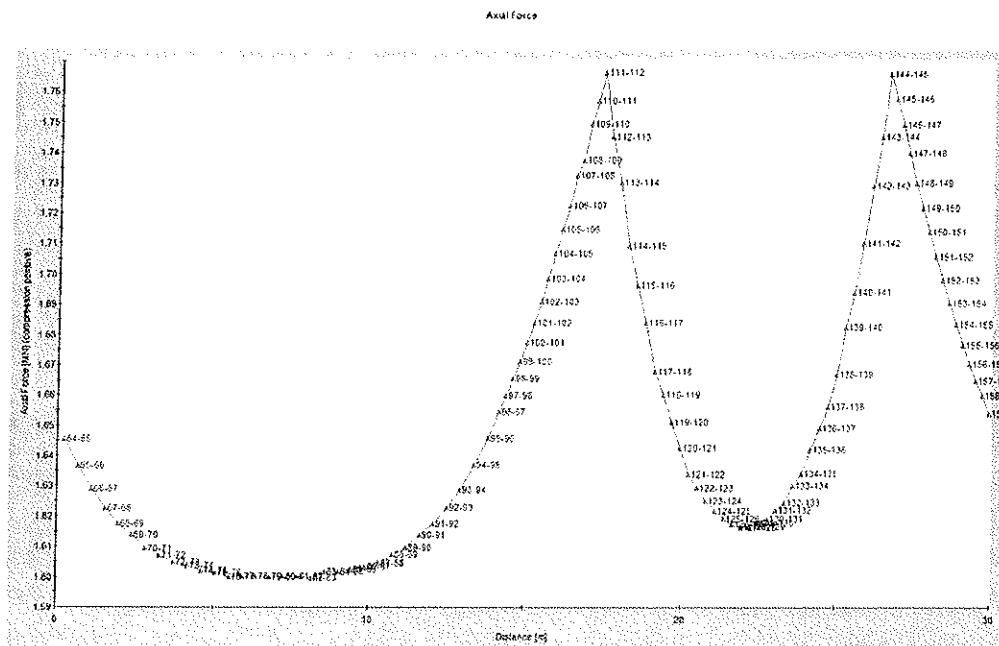


4.2.3 Esfuerzos en el revestimiento.

4.2.3.1 Esfuerzos Axiales



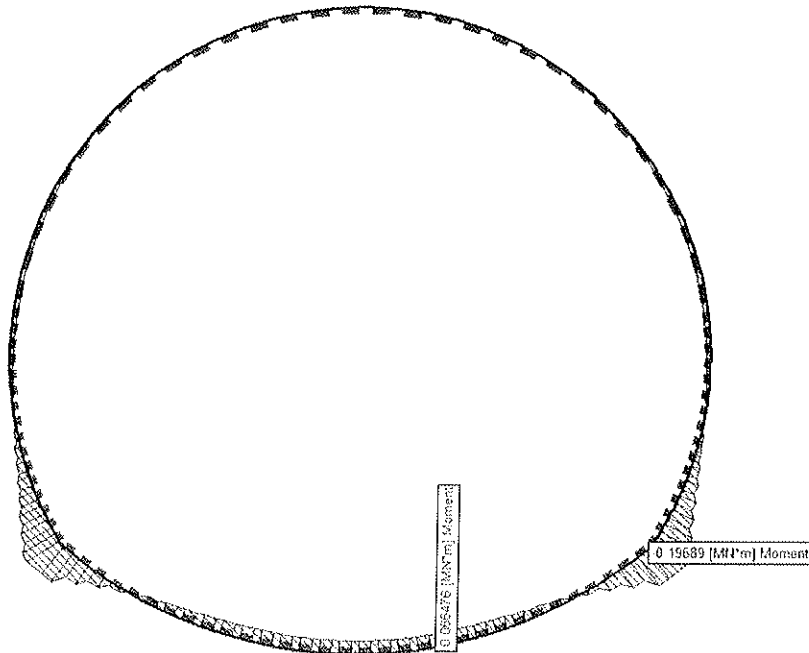
Valor mínimo en azul  
Valor máximo en rojo



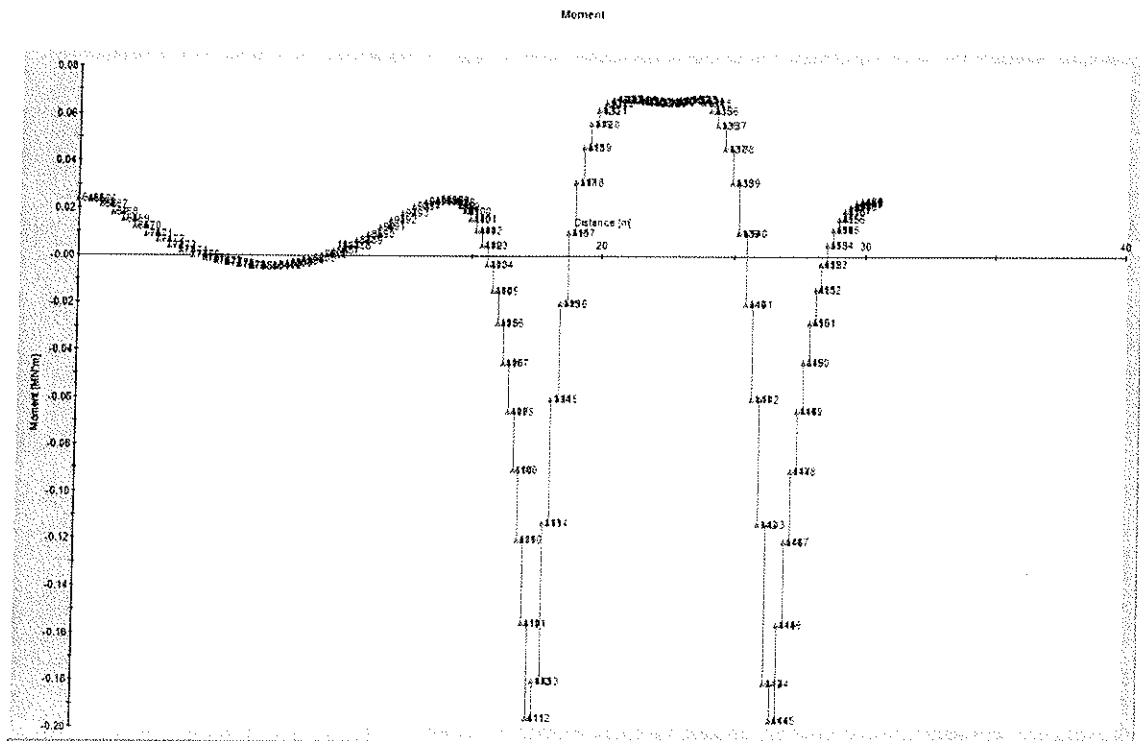
A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



4.2.3.2 Momentos flectores



Valor mínimo en azul  
Valor máximo en rojo



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

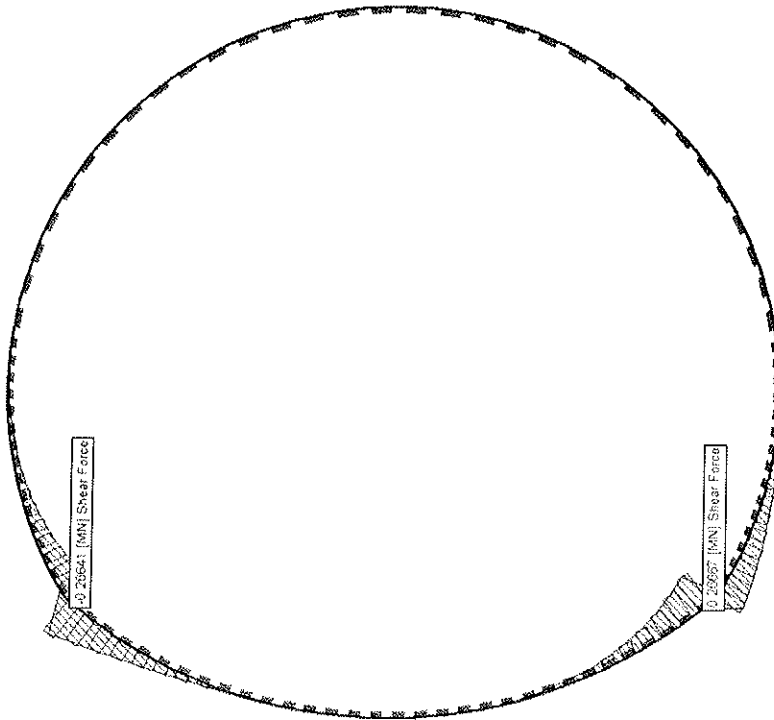
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN CASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



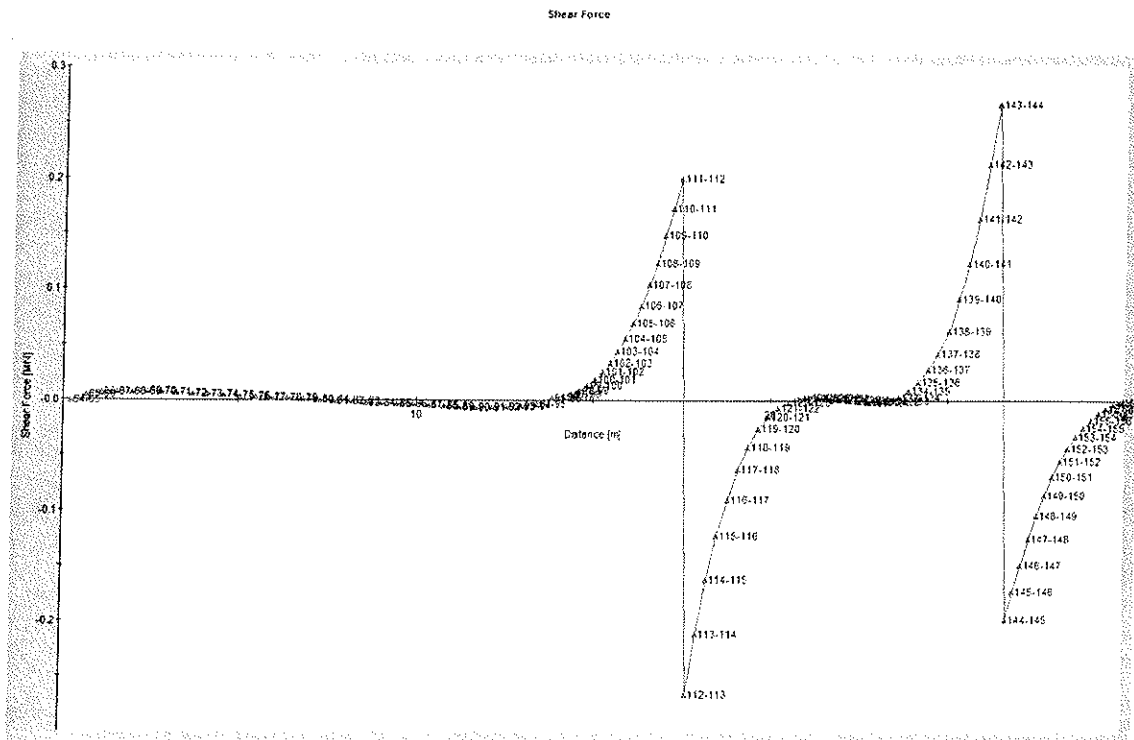
150



4.2.3.3 Esfuerzos Cortantes



Valor mínimo en azul  
Valor máximo en rojo



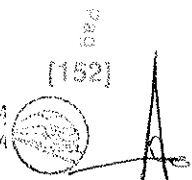
Page  
[151]

A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN CASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



4.3 Sismo

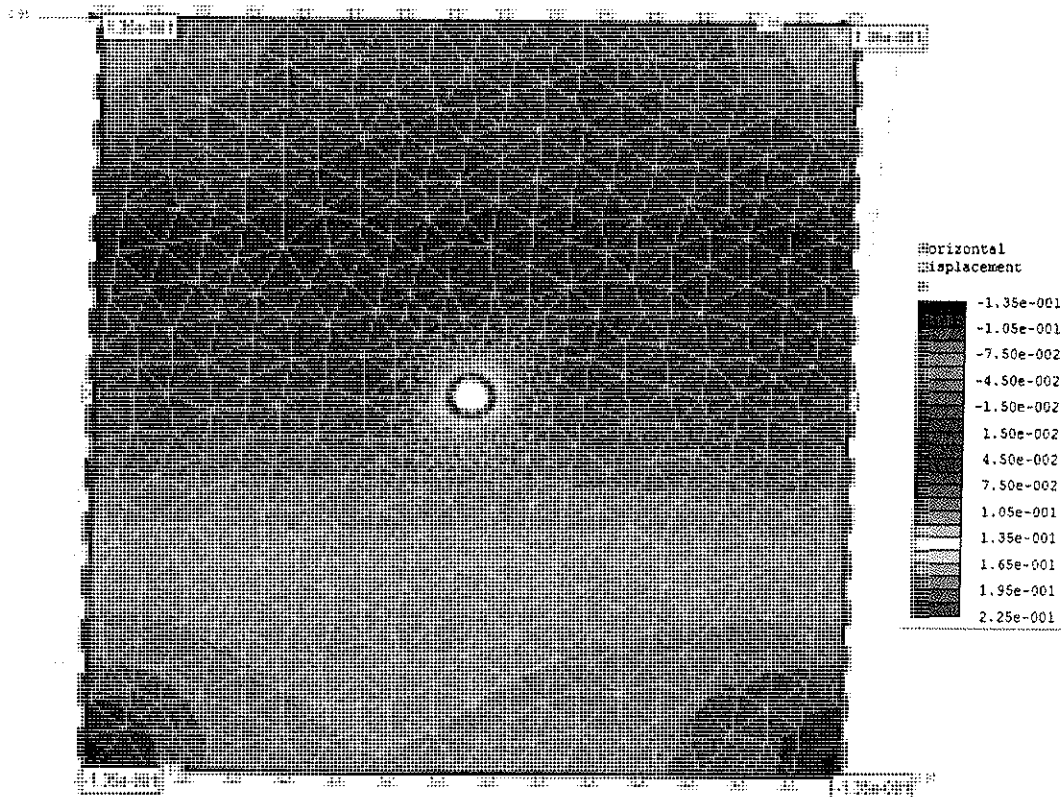
4.3.1 Determinación de la deformación del modelo

Los valores de los parámetros utilizados son los siguientes:

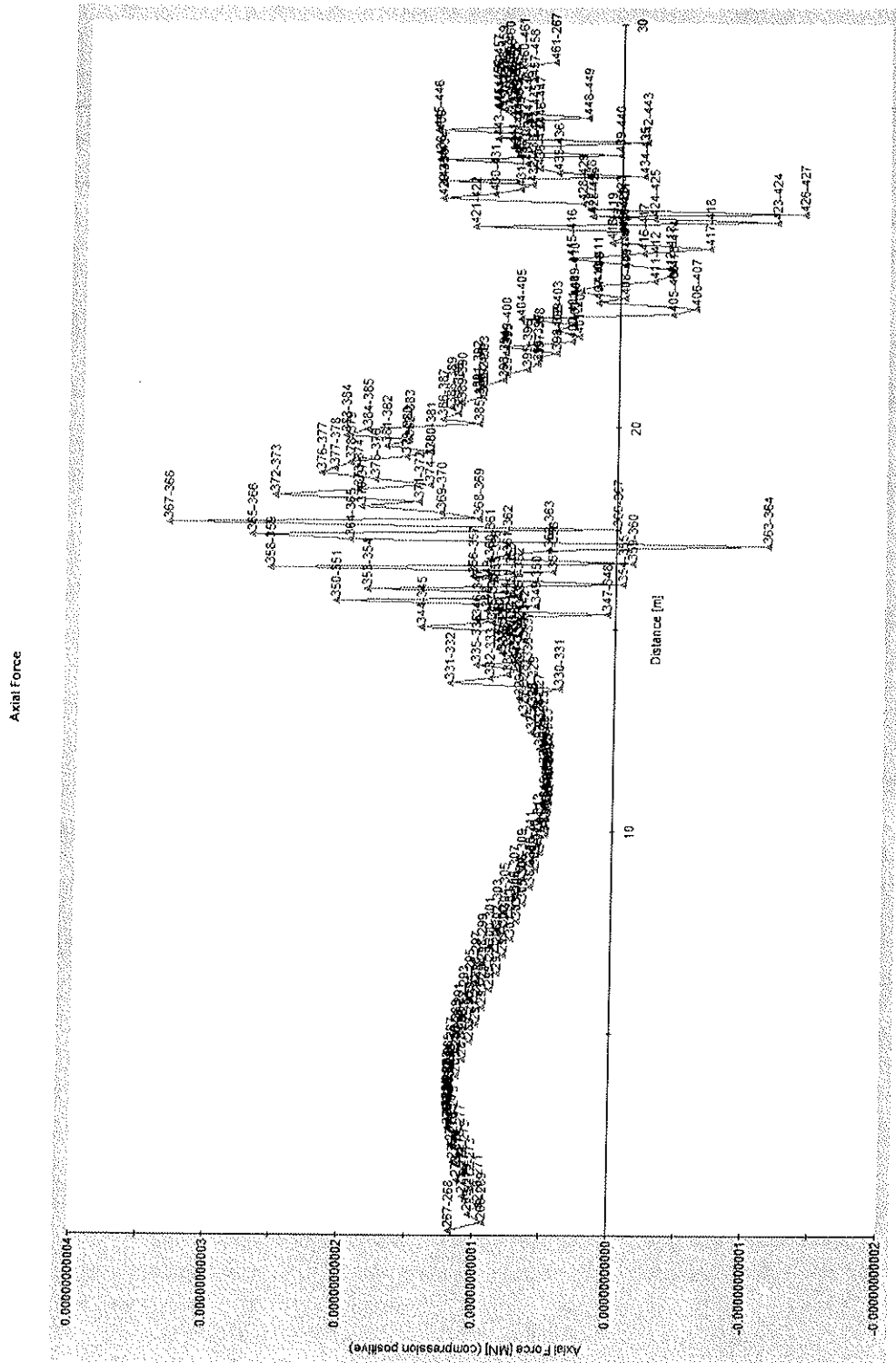
SISMO

$a_B =$	0,40 g	Aceleración básica
$S =$	1,20	Coefficiente del terreno
$a_{MAX,S} =$	0,48 g	Aceleración máxima ( $a_{MAX,S} = S \cdot a_B$ )
$C =$	0,90	Coefficiente de profundidad
$a_{z,MAX} =$	0,432 g	Aceleración máxima en profundidad ( $a_{z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S}$ )
$C_s =$	400,00 m/s	Velocidad pico del terreno
$k =$	1,52	Coefficiente de la velocidad de pico (dependiente de la magnitud del sismo)
$V_s =$	0,65664 m/s	Velocidad de de las ondas de cortante del sismo ( $V_s = k \cdot a_{z,MAX}$ )
$\gamma_{MAX} =$	0,001642 rad	Distorsión angular máxima ( $\gamma_{MAX} = V_s / C_s$ )
$h_{MODELO} =$	150 m	Altura modelo numérico
$\Delta X =$	0,12312 m	Desplazamiento en los vértices del modelo numérico

4.3.2 Modelo deformado



A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



Nota: Los valores de los axiles están  $10^{10}$  veces minorados

4.3.4 Momentos Flectores



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

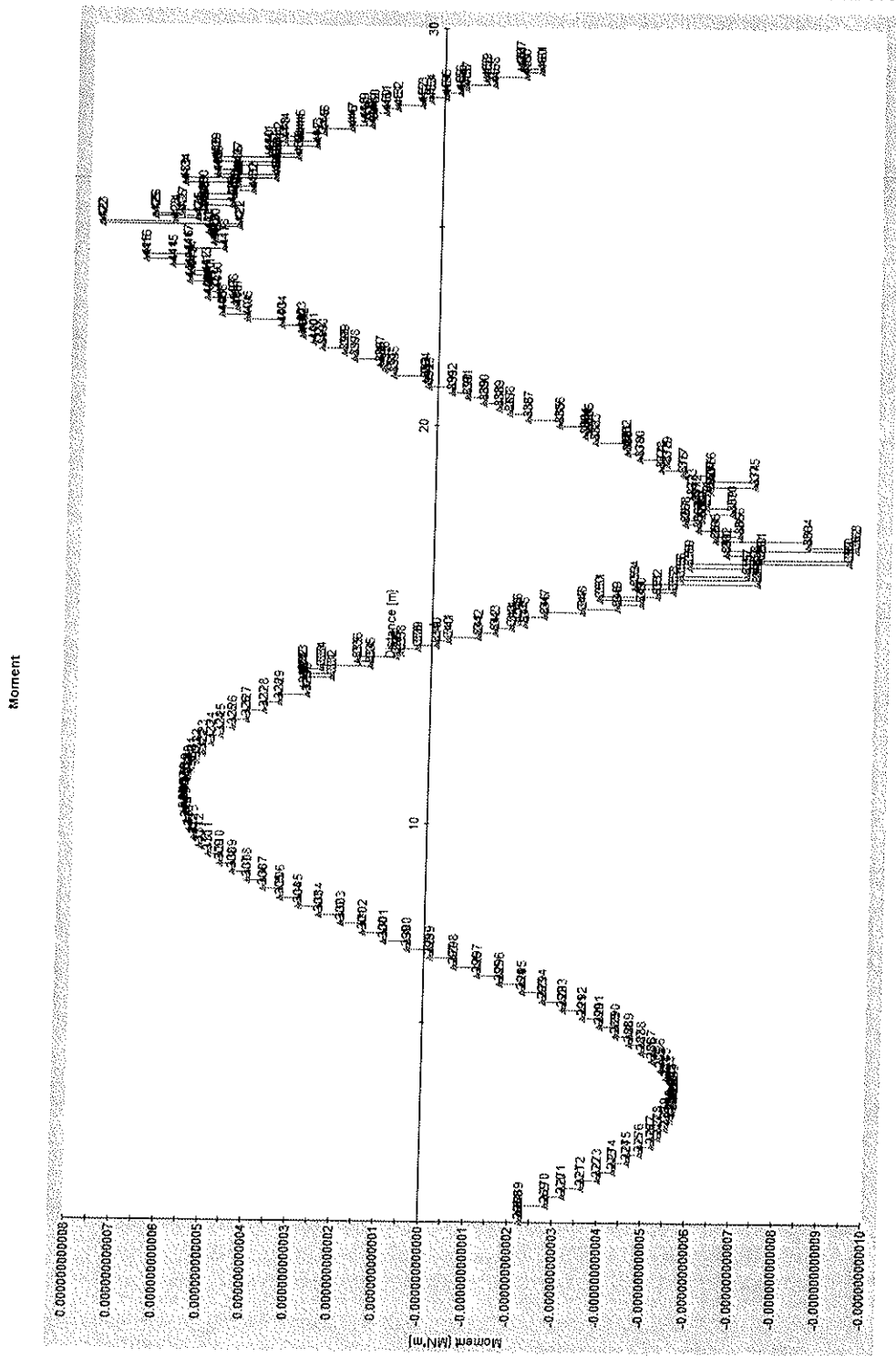
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



Pág  
[155]

A handwritten signature in black ink, appearing to be the name "Alfonso Juan Dasabe Garcia", written over a horizontal line.

A.0.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



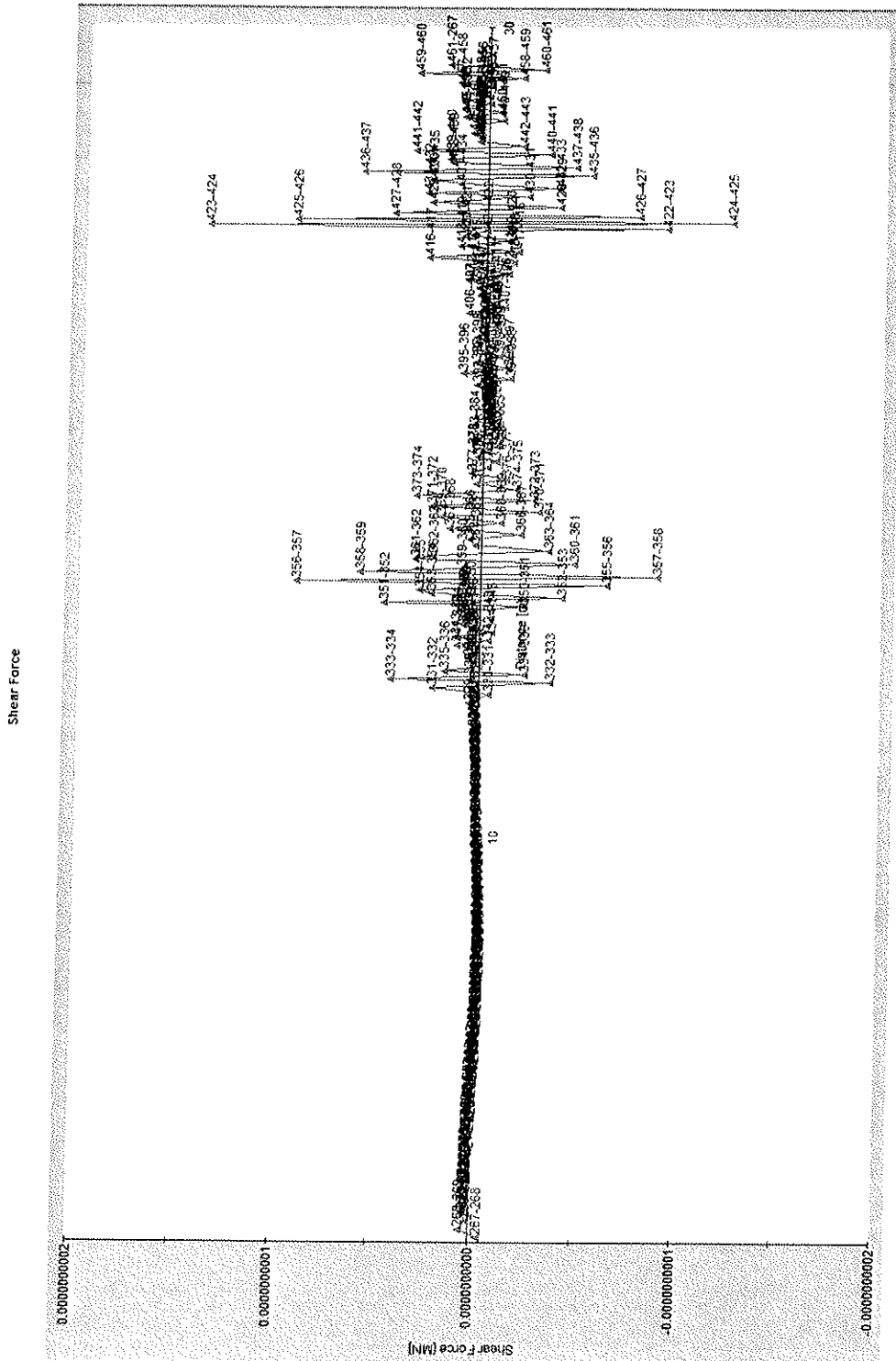
Nota: Los valores de los momentos están 10<sup>10</sup> veces minorados



A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



4.3.5 Esfuerzos cortantes



5 ESFUERZOS SECCIÓN CAVERNA EJE ESTACIÓN JAVIER PRADO

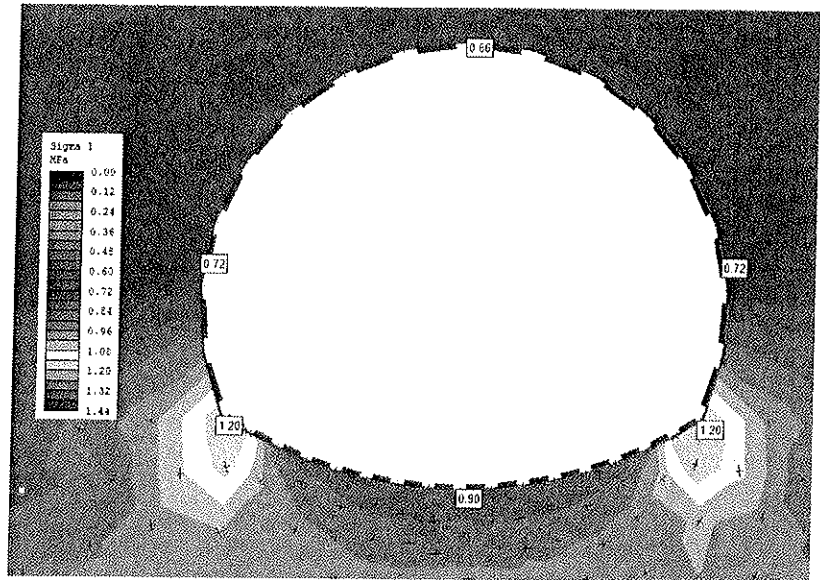
5.1 Introducción

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el revestimiento definitivo a largo plazo para la sección con contrabóveda, es decir, el revestimiento definitivo de la sección tipo C, tanto los debidos a las cargas del terreno como los ocasionados por un sismo.

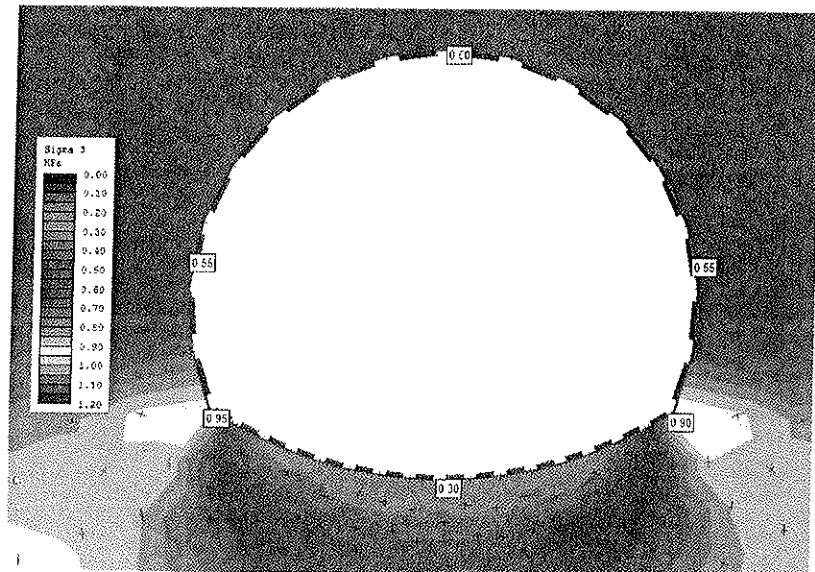
5.2 Carga del terreno

5.2.1 Tensiones en el terreno

Tensión principal mayor:



Tensión principal menor:

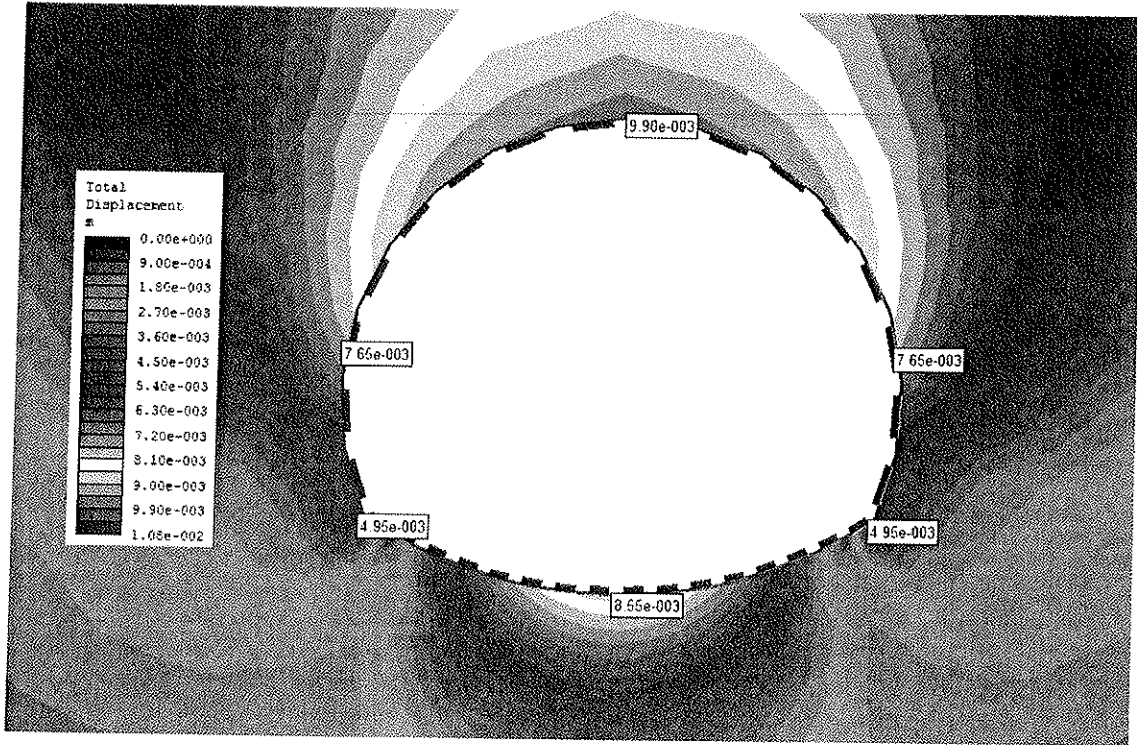




A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



5.2.2 Deformaciones

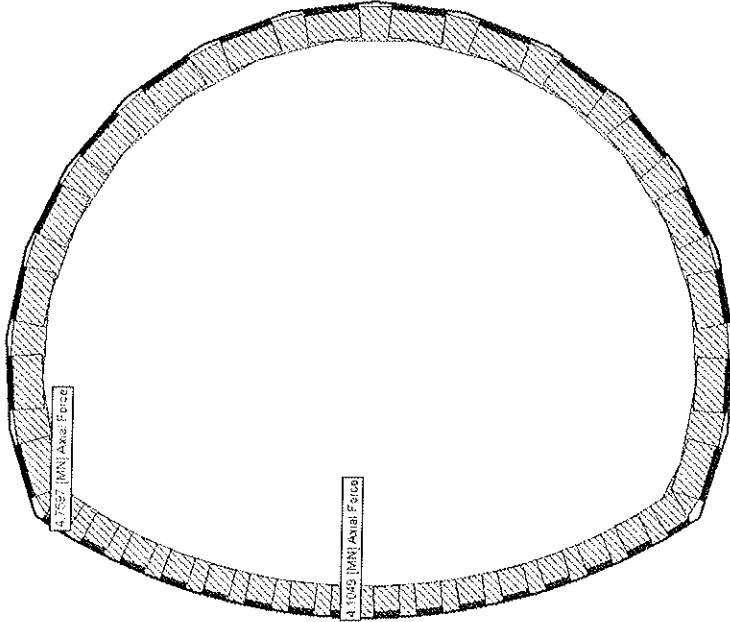


A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



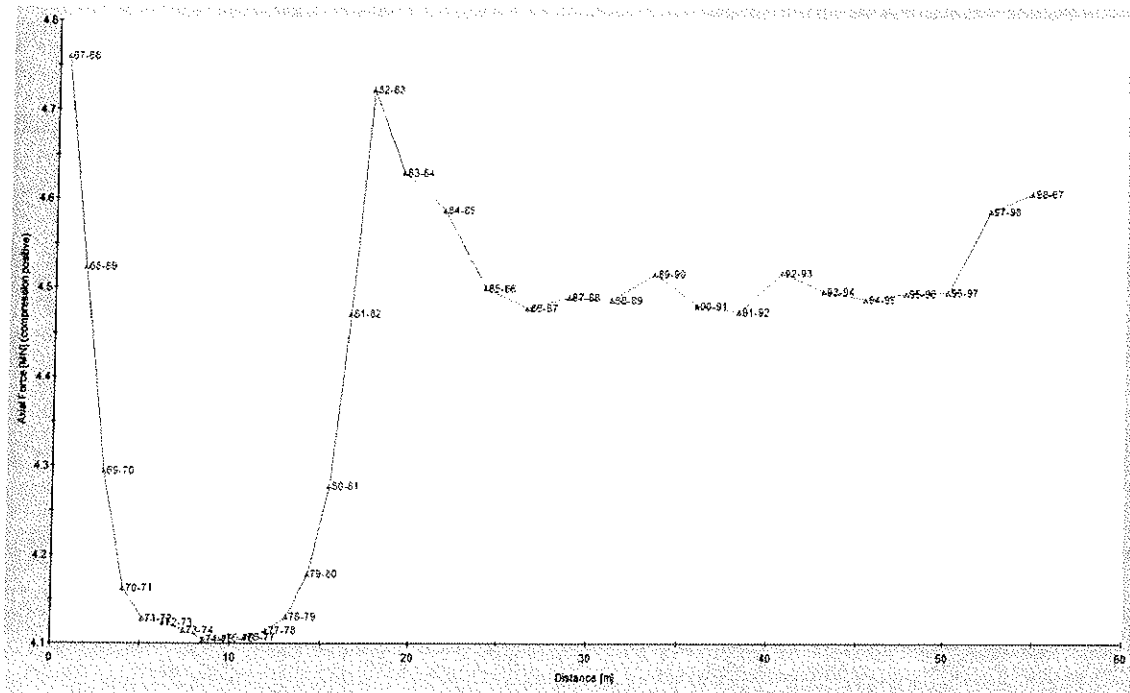
5.2.3 Esfuerzos en el revestimiento.

5.2.3.1 Esfuerzos Axiales



Valor mínimo en azul  
Valor máximo en rojo

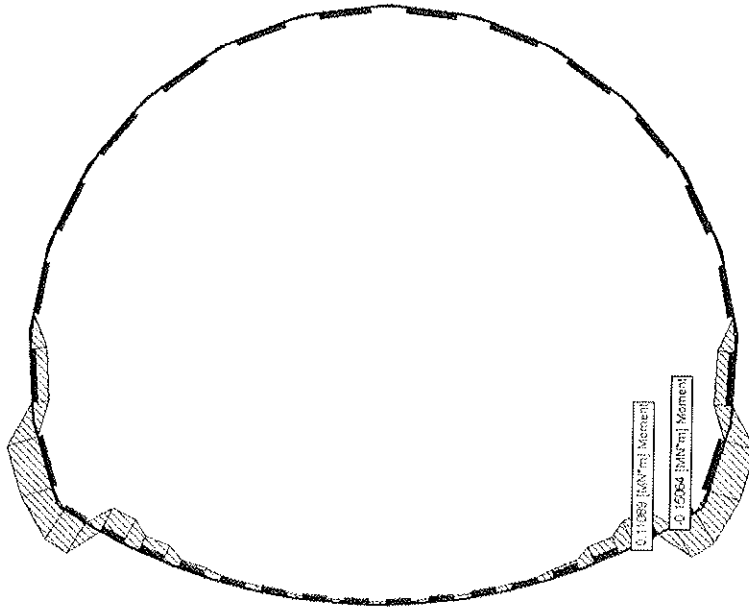
Axial Force



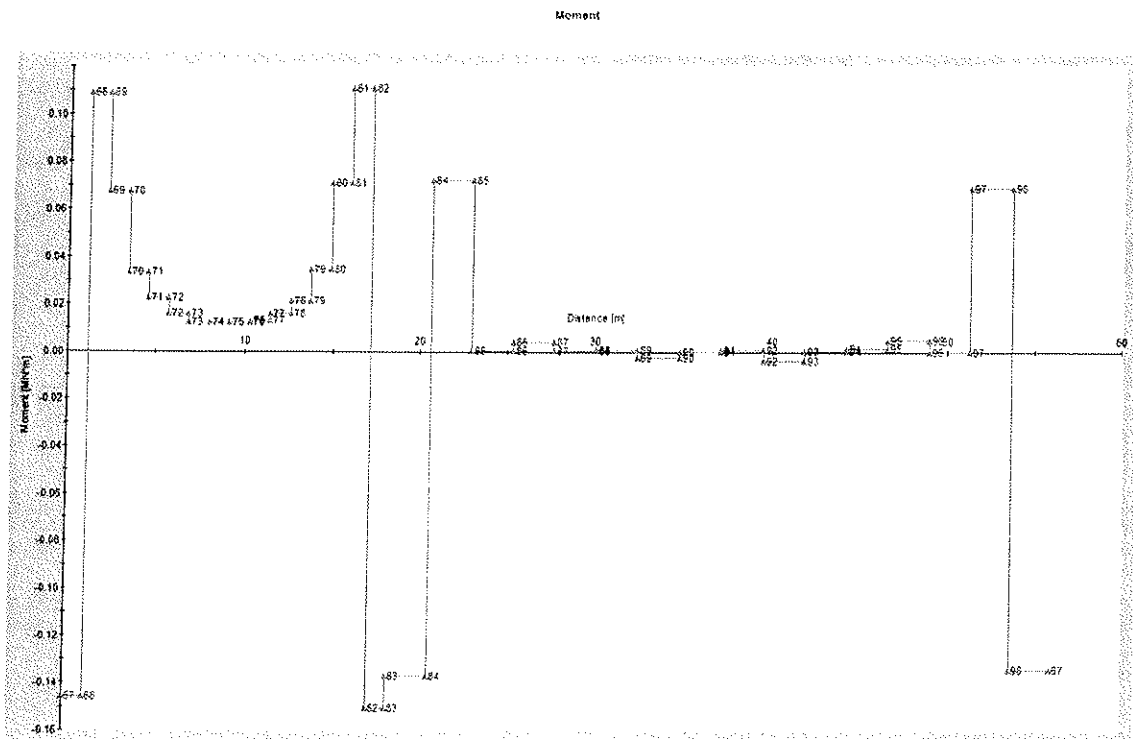
A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes



5.2.3.2 Momentos flectores



Valor mínimo en azul  
Valor máximo en rojo

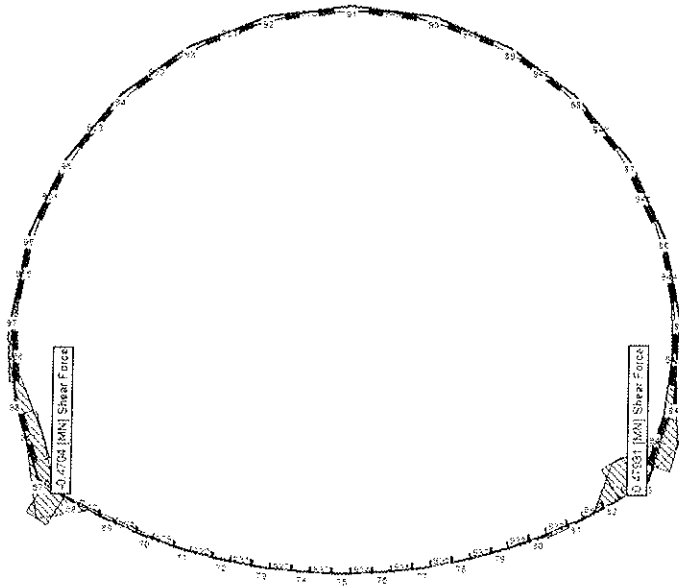


A.6.4. Memoria de Cálculo de Estructuras Permanentes

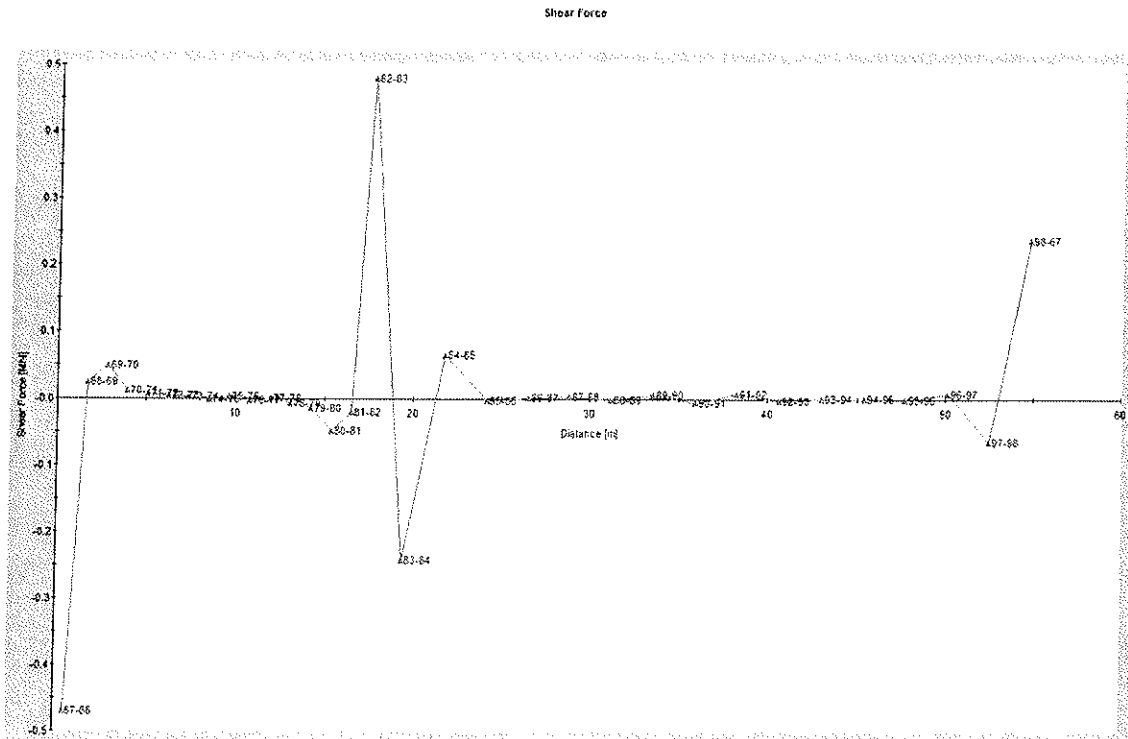
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA



5.2.3.3 Esfuerzos Cortantes



Valor mínimo en azul  
Valor máximo en rojo





5.3 Sismo

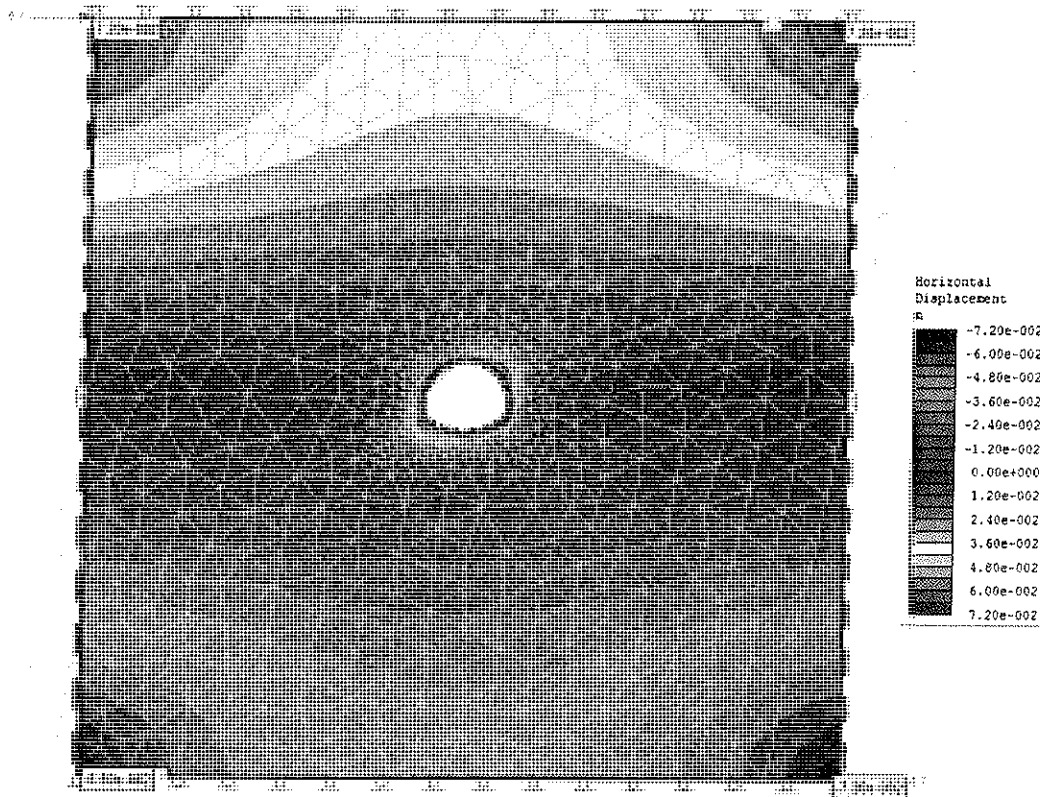
5.3.1 Determinación de la deformación del modelo

Los valores de los parámetros utilizados son los siguientes:

SISMO

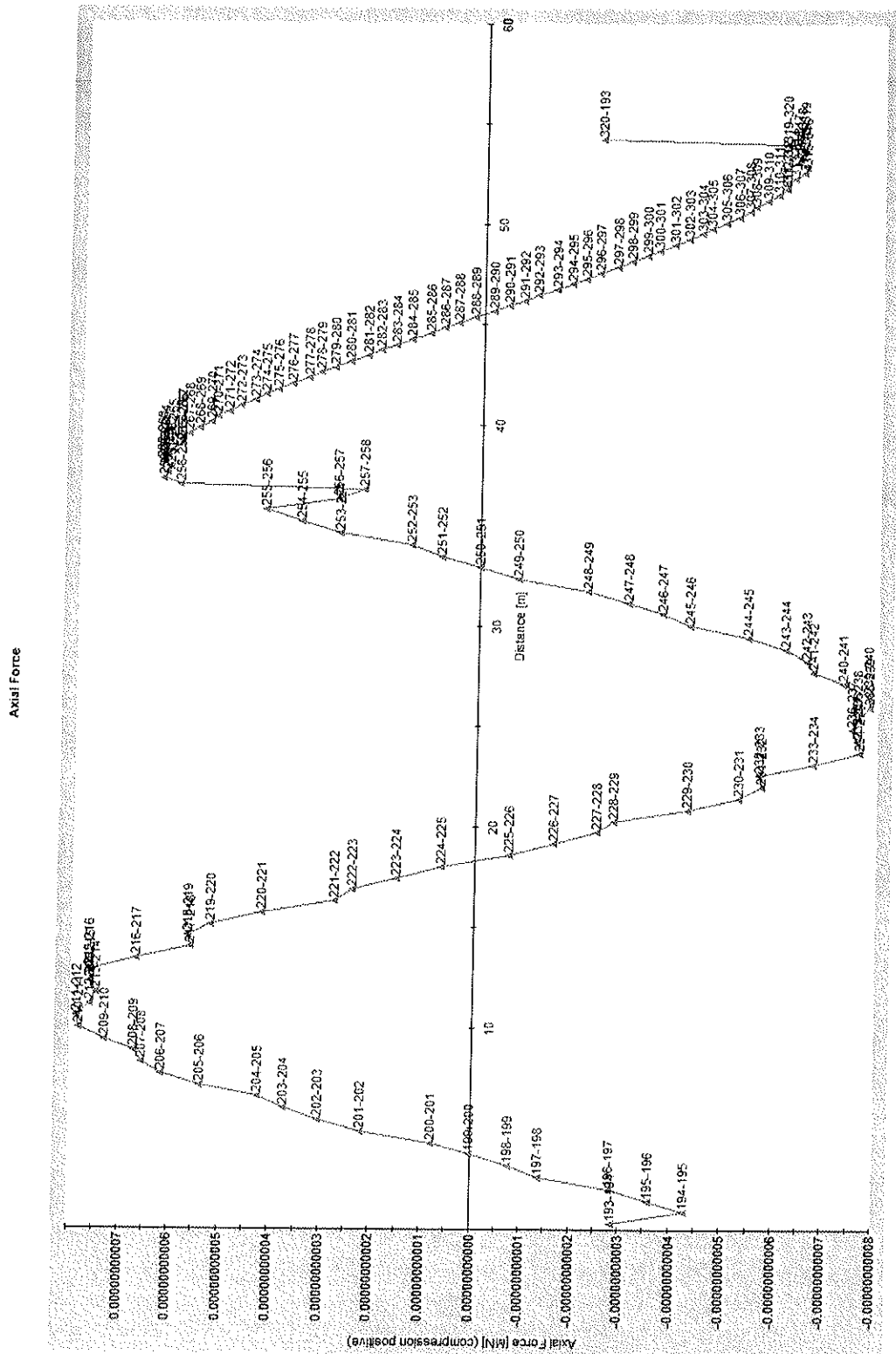
$a_B =$	0,40 g	Aceleración básica
$S =$	1,00	Coefficiente del terreno
$a_{MAX,S} =$	0,4 g	Aceleración máxima ( $a_{MAX,S} = S \cdot a_B$ )
$C =$	0,90	Coefficiente de profundidad
$a_{z,MAX} =$	0,36 g	Aceleración máxima en profundidad ( $a_{z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S}$ )
$C_s =$	600,00 m/s	Velocidad pico del terreno
$k =$	1,52	Coefficiente de la velocidad de pico (dependiente de la magnitud del sismo)
$V_s =$	0,5472 m/s	Velocidad de de las ondas de cortante del sismo ( $V_s = k \cdot a_{z,MAX}$ )
$\gamma_{MAX} =$	0,000912 rad	Distorsión angular máxima ( $\gamma_{MAX} = V_s / C_s$ )
$h_{MODELO} =$	150 m/s	Altura modelo numérico
$\Delta X =$	0,0684 m/s	Desplazamiento en los vértices del modelo numérico

5.3.2 Modelo deformado



A

5.3.3 Esfuerzos Axiales

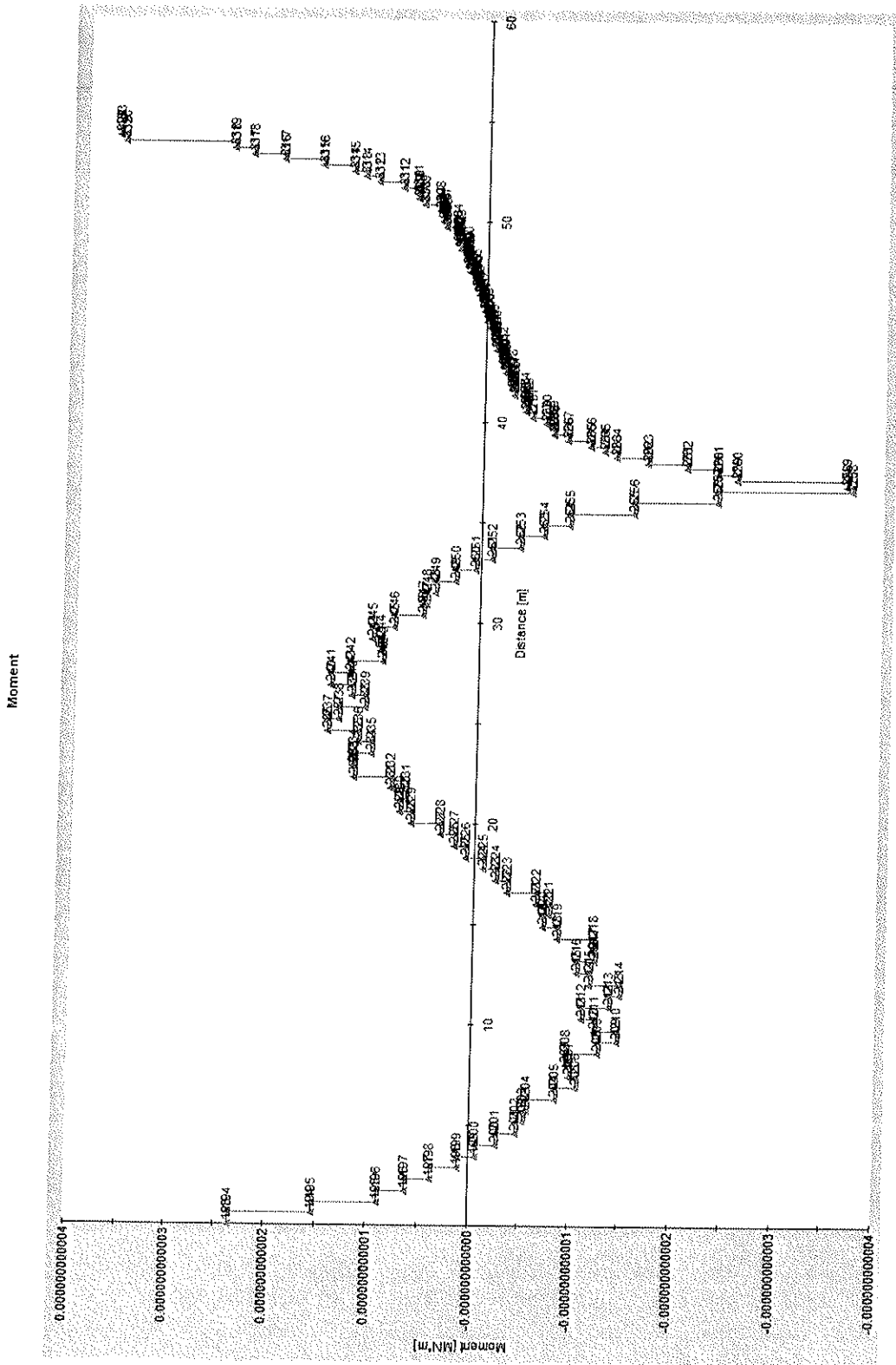


Nota: Los valores de los axiales están  $10^{10}$  veces minorados





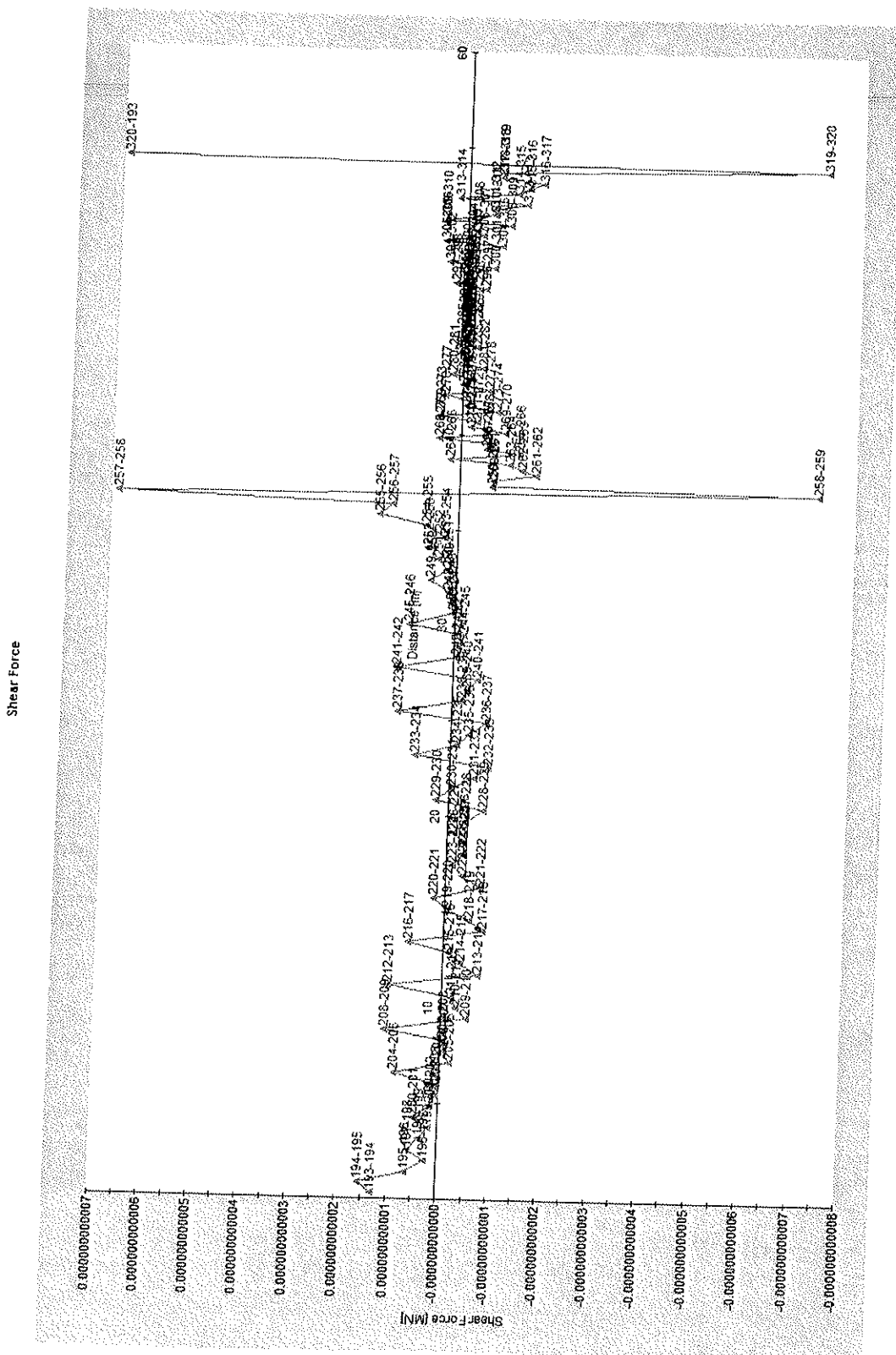
5.3.4 Momentos Flectores



Nota: Los valores de los momentos están 10<sup>10</sup> veces minorados



5.3.5 Esfuerzos cortantes



Nota: Los valores de los cortantes están 10<sup>10</sup> veces minorados





A.6.4.	A) DISEÑO DE INGENIERÍA
Nº DOCUMENTO	TIPO DE DOCUMENTO

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

## A.6.4. MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS PERMANENTES. APÉNDICE 4. DIMENSIONAMIENTO REVESTIMIENTO DEFINITIVO DEL TÚNEL DE LÍNEA



ÍNDICE

<b>1</b>	<b>MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD</b>	<b>169</b>
<b>2</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>169</b>
<b>3</b>	<b>COMBINACIONES</b>	<b>170</b>
<b>4</b>	<b>CÁLCULO</b>	<b>171</b>
4.1	SECCIÓN CON SOLERA CURVA	171
4.1.1	Definición geométrica	171
4.1.2	Esfuerzos	172
4.1.2.1	Servicio	172
4.1.2.2	Sismo	174
4.1.3	Dimensionamiento	179
4.1.3.1	Hipótesis 1	179
4.1.3.2	Hipótesis 2	181
4.1.3.3	Resumen	184
4.2	SECCIÓN CON CONTRABÓVEDA	185
4.2.1	Definición geométrica	185
4.2.2	Esfuerzos	186
4.2.2.1	Servicio	186
4.2.2.2	Sismo	188
4.2.3	Dimensionamiento	194
4.2.3.1	Hipótesis 1	194
4.2.3.2	Hipótesis 2	198
4.2.3.3	Hipótesis 3	202
4.2.3.4	Hipótesis 4	207
4.2.3.5	Resumen	211



## 1 MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Los materiales utilizados son:

### Hormigón:

- Resistencia característica:  $f_{ck} = 40$  Mpa
- Coeficiente de minoración:  $\gamma_c = 1,50$

### Acero de Refuerzo: (Barras corrugadas):

Tensión de fluencia:  $f_{yk} = 420$  N/mm<sup>2</sup>

Tensión de rotura:  $f_u = 540$  N/mm<sup>2</sup>

Tensión de cálculo:  $f_{yd} = 375$  N/mm<sup>2</sup>

Coeficientes de minoración de la resistencia:  $\gamma_c = 1,12$

Módulo elástico:  $E_s = 210000$  N/mm<sup>2</sup>

Recubrimiento de armaduras: 30 mm

Los coeficientes de mayoración de acciones considerados, son los siguientes:

Acciones permanentes:  $\gamma_G = 1,40$

Sobrecargas:  $\gamma_Q = 1,70$

Sobrecargas con sismo:  $\gamma_{Q,SISMO} = 1,25$

Acción sísmica:  $\gamma_{SISMO} = 1,0$

## 2 ACCIONES

Se ha realizado un estudio tenso-deformacional del túnel con el fin de definir el revestimiento. Los cálculos se han abordado mediante el empleo del Método de los Elementos Finitos con el programa de ordenador Phase2 (programa de mecánica de medios continuos aplicados a la Geotecnia).

Se han obtenido resultados tanto para la situación de excavación por fases como para la situación definitiva de servicio. Así mismo, se han realizado el cálculo independiente de los efectos del sismo para los siguientes parámetros:

❖ Sección con solera curva

- Aceleración básica  $a_B = 0,4 \text{ g}$
- Coeficiente del terreno  $S = 1$
- Aceleración máxima:  $a_{MAX,S} = S \cdot a_B = 0,4 \text{ g}$
- Coeficiente de profundidad  $C = 0,70$
- Aceleración máxima en profundidad:  $a_{Z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S} = 0,28 \text{ g}$
- Velocidad pico del terreno  $C_S = 450 \text{ m/s}$
- Coeficiente de la velocidad de pico:  $k = 1,52$
- Velocidad de de las ondas de cortante del sismo:  $V_S = k \cdot a_{Z,MAX} = 0,4256 \text{ m/s}$
- Distorsión angular máxima:  $\gamma_{MAX} = V_S / C_S = 0,000946 \text{ rad}$

❖ Sección con contrabóveda

- Aceleración básica  $a_B = 0,4 \text{ g}$
- Coeficiente del terreno  $S = 1,20$
- Aceleración máxima:  $a_{MAX,S} = S \cdot a_B = 0,4 \text{ g}$
- Coeficiente de profundidad  $C = 0,90$
- Aceleración máxima en profundidad:  $a_{Z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S} = 0,432 \text{ g}$
- Velocidad pico del terreno  $C_S = 400 \text{ m/s}$
- Coeficiente de la velocidad de pico:  $k = 1,52$
- Velocidad de de las ondas de cortante del sismo:  $V_S = k \cdot a_{Z,MAX} = 0,6566 \text{ m/s}$
- Distorsión angular máxima:  $\gamma_{MAX} = V_S / C_S = 0,001642 \text{ rad}$

### 3 COMBINACIONES

A efecto de dimensionamiento del revestimiento, se han considerado las siguientes hipótesis

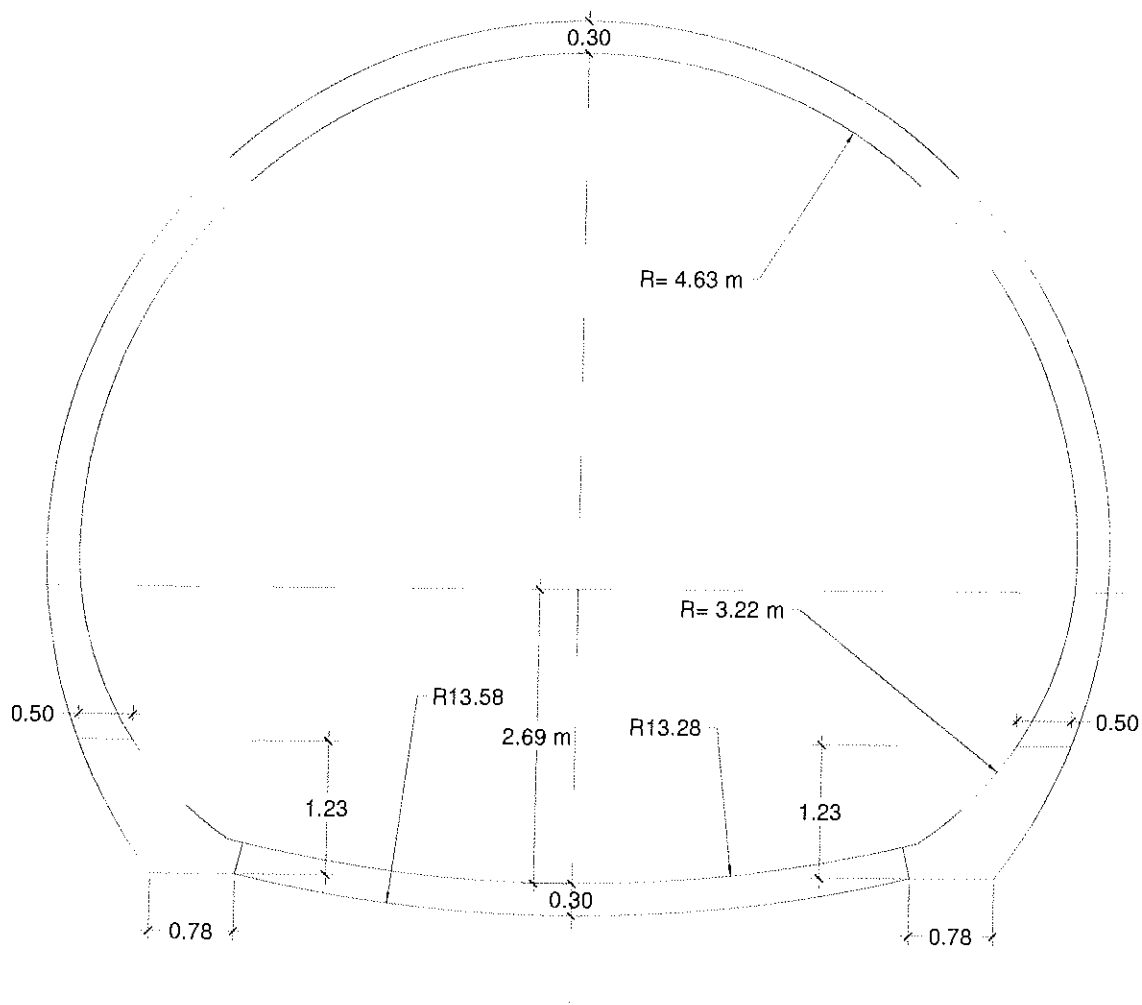
- 1 Hipótesis 1: Momento máximo. sin sismo
- 2 Hipótesis 2: Axil Máximo sin sismo
- 3 Hipótesis 3: Momento máximo con sismo
- 4 Hipótesis 4: Axil Máximo con sismo

## 4 CÁLCULO

### 4.1 SECCIÓN CON SOLERA CURVA

#### 4.1.1 Definición geométrica

La sección transversal del túnel es la siguiente:





#### 4.1.2 Esfuerzos

Los valores de los esfuerzos producidos por las acciones procedentes del terreno se han calculado mediante el programa de elementos finitos Phase2. Los resultados son los siguientes:

##### 4.1.2.1 Servicio

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
1	1	0.22	323.95	0.80	1.10
2	1	0.22	323.95	0.80	1.10
2	2	0.66	324.77	0.37	0.84
3	2	0.66	324.77	0.37	0.84
3	3	1.10	325.33	0.58	0.63
4	3	1.10	325.33	0.58	0.63
4	4	1.54	325.11	0.49	0.40
5	4	1.54	325.11	0.49	0.40
5	5	1.98	325.61	0.03	0.28
6	5	1.98	325.61	0.03	0.28
6	6	2.42	326.16	0.45	0.18
7	6	2.42	326.16	0.45	0.18
7	7	2.86	326.27	-0.14	0.11
8	7	2.86	326.27	-0.14	0.11
8	8	3.30	326.65	0.30	0.07
9	8	3.30	326.65	0.30	0.07
9	9	3.74	326.70	0.06	0.00
10	9	3.74	326.70	0.06	0.00
10	10	4.18	326.81	-0.01	-0.02
11	10	4.18	326.81	-0.01	-0.02
11	11	4.61	327.26	0.12	-0.04
12	11	4.61	327.26	0.12	-0.04
12	12	5.05	327.36	-0.07	-0.05
13	12	5.05	327.36	-0.07	-0.05
13	13	5.49	327.49	0.26	-0.09
14	13	5.49	327.49	0.26	-0.09
14	14	5.93	327.71	-0.04	-0.14
15	14	5.93	327.71	-0.04	-0.14
15	15	6.37	327.30	0.10	-0.15
16	15	6.37	327.30	0.10	-0.15
16	16	6.81	327.21	-0.10	-0.15
17	16	6.81	327.21	-0.10	-0.15
17	17	7.25	327.67	0.04	-0.14
18	17	7.25	327.67	0.04	-0.14
18	18	7.69	327.41	-0.29	-0.08
19	18	7.69	327.41	-0.29	-0.08
19	19	8.13	327.25	0.10	-0.04
20	19	8.13	327.25	0.10	-0.04
20	20	8.57	327.21	-0.11	-0.04
21	20	8.57	327.21	-0.11	-0.04
21	21	9.01	326.74	-0.02	-0.01
22	21	9.01	326.74	-0.02	-0.01
22	22	9.45	326.59	-0.02	0.00
23	22	9.45	326.59	-0.02	0.00
23	23	9.89	326.57	-0.30	0.07
24	23	9.89	326.57	-0.30	0.07
24	24	10.33	326.17	0.13	0.10
25	24	10.33	326.17	0.13	0.10
25	25	10.77	326.11	-0.38	0.16
26	25	10.77	326.11	-0.38	0.16
26	26	11.21	325.47	-0.17	0.28
27	26	11.21	325.47	-0.17	0.28
27	27	11.65	325.14	-0.39	0.40
28	27	11.65	325.14	-0.39	0.40
28	28	12.09	325.06	-0.60	0.62
29	28	12.09	325.06	-0.60	0.62
29	29	12.53	324.48	-0.31	0.82
30	29	12.53	324.48	-0.31	0.82
30	30	12.97	323.98	-0.93	1.09
31	30	12.97	323.98	-0.93	1.09



[2711]

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
31	31	13.40	323.73	-0.77	1.46
32	31	13.40	323.73	-0.77	1.46
32	32	13.74	323.85	-1.38	1.80
33	32	13.74	323.85	-1.38	1.80
33	33	13.98	323.59	-1.63	2.16
34	33	13.98	323.59	-1.63	2.16
34	34	14.22	323.40	-1.76	2.56
35	34	14.22	323.40	-1.76	2.56
35	35	14.46	323.30	-1.68	2.97
36	35	14.46	323.30	-1.68	2.97
36	36	14.70	323.30	-1.28	3.33
37	36	14.70	323.30	-1.28	3.33
37	37	14.94	323.48	-0.54	3.55
38	37	14.94	323.48	-0.54	3.55
38	38	15.18	323.68	0.93	3.50
39	38	15.18	323.68	0.93	3.50
39	39	15.42	324.10	3.38	2.98
40	39	15.42	324.10	3.38	2.98
40	40	15.66	324.43	6.53	1.80
41	40	15.66	324.43	6.53	1.80
41	41	15.90	324.82	12.18	-0.44
42	41	15.90	324.82	12.18	-0.44
42	42	16.14	325.83	19.39	-4.22
43	42	16.14	325.83	19.39	-4.22
43	43	16.38	326.45	28.52	-9.95
44	43	16.38	326.45	28.52	-9.95
44	44	16.62	327.45	40.30	-18.19
45	44	16.62	327.45	40.30	-18.19
45	45	16.86	328.14	54.16	-29.49
46	45	16.86	328.14	54.16	-29.49
46	46	17.09	326.92	69.81	-44.32
47	46	17.09	326.92	69.81	-44.32
47	47	17.33	327.77	87.24	-63.12
48	47	17.33	327.77	87.24	-63.12
48	48	17.66	248.84	-152.12	-41.39
49	48	17.66	248.84	-152.12	-41.39
49	49	18.10	270.88	-36.41	-1.10
50	49	18.10	270.88	-36.41	-1.10
50	50	18.55	260.33	-12.46	9.80
51	50	18.55	260.33	-12.46	9.80
51	51	18.99	249.61	-0.29	12.64
52	51	18.99	249.61	-0.29	12.64
52	52	19.44	240.98	4.72	11.66
53	52	19.44	240.98	4.72	11.66
53	53	19.88	259.66	2.11	10.13
54	53	19.88	259.66	2.11	10.13
54	54	20.33	234.88	1.92	9.24
55	54	20.33	234.88	1.92	9.24
55	55	20.78	234.87	2.89	8.17
56	55	20.78	234.87	2.89	8.17
56	56	21.22	232.11	2.05	7.07
57	56	21.22	232.11	2.05	7.07
57	57	21.67	231.37	-0.19	6.65
58	57	21.67	231.37	-0.19	6.65
58	58	22.11	230.34	-2.83	7.32
59	58	22.11	230.34	-2.83	7.32
59	59	22.56	233.64	-3.04	8.64
60	59	22.56	233.64	-3.04	8.64
60	60	23.01	236.13	-5.43	10.52
61	60	23.01	236.13	-5.43	10.52
61	61	23.45	240.97	-3.60	12.54
62	61	23.45	240.97	-3.60	12.54
62	62	23.90	249.18	1.22	13.07
63	62	23.90	249.18	1.22	13.07
63	63	24.34	258.76	12.48	10.01
64	63	24.34	258.76	12.48	10.01
64	64	24.79	269.66	36.04	-0.81
65	64	24.79	269.66	36.04	-0.81
65	65	25.22	254.28	155.28	-41.65
66	65	25.22	254.28	155.28	-41.65
66	66	25.55	328.20	-88.50	-63.87
67	66	25.55	328.20	-88.50	-63.87



pas  
A

[2712]

#### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
67	67	25.79	327.39	-70.38	-44.85
68	67	25.79	327.39	-70.38	-44.85
68	68	26.03	327.81	-54.83	-29.87
69	68	26.03	327.81	-54.83	-29.87
69	69	26.27	326.84	-40.71	-18.43
70	69	26.27	326.84	-40.71	-18.43
70	70	26.51	326.25	-28.83	-10.11
71	70	26.51	326.25	-28.83	-10.11
71	71	26.75	325.79	-19.64	-4.31
72	71	26.75	325.79	-19.64	-4.31
72	72	26.99	324.86	-12.33	-0.49
73	72	26.99	324.86	-12.33	-0.49
73	73	27.23	324.57	-6.53	1.77
74	73	27.23	324.57	-6.53	1.77
74	74	27.47	324.50	-3.33	2.95
75	74	27.47	324.50	-3.33	2.95
75	75	27.71	323.90	-1.14	3.49
76	75	27.71	323.90	-1.14	3.49
76	76	27.95	323.71	0.56	3.56
77	76	27.95	323.71	0.56	3.56
77	77	28.19	323.54	1.29	3.33
78	77	28.19	323.54	1.29	3.33
78	78	28.43	323.54	1.70	2.98
79	78	28.43	323.54	1.70	2.98
79	79	28.67	323.65	1.75	2.56
80	79	28.67	323.65	1.75	2.56
80	80	28.91	323.79	1.59	2.16
81	80	28.91	323.79	1.59	2.16
81	81	29.14	323.97	1.32	1.82
82	81	29.14	323.97	1.32	1.82
82	82	29.48	323.87	0.88	1.46
83	82	29.48	323.87	0.88	1.46

#### 4.1.2.2 Sismo

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
1	1	0.11	14.18	-2.66	-1.33
2	1	0.11	14.18	-2.66	-1.33
2	2	0.32	14.42	2.78	-1.34
3	2	0.32	14.42	2.78	-1.34
3	3	0.53	18.15	0.16	-1.65
4	3	0.53	18.15	0.16	-1.65
4	4	0.75	19.59	1.77	-1.86
5	4	0.75	19.59	1.77	-1.86
5	5	0.96	22.82	0.17	-2.07
6	5	0.96	22.82	0.17	-2.07
6	6	1.17	24.01	1.71	-2.27
7	6	1.17	24.01	1.71	-2.27
7	7	1.38	26.74	-0.10	-2.44
8	7	1.38	26.74	-0.10	-2.44
8	8	1.60	27.71	1.65	-2.60
9	8	1.60	27.71	1.65	-2.60
9	9	1.81	29.85	-0.39	-2.74
10	9	1.81	29.85	-0.39	-2.74
10	10	2.02	30.57	1.56	-2.86
11	10	2.02	30.57	1.56	-2.86
11	11	2.24	32.06	-0.68	-2.96
12	11	2.24	32.06	-0.68	-2.96
12	12	2.45	32.50	1.41	-3.03
13	12	2.45	32.50	1.41	-3.03
13	13	2.66	33.29	-0.93	-3.09
14	13	2.66	33.29	-0.93	-3.09
14	14	2.88	33.45	1.21	-3.12
15	14	2.88	33.45	1.21	-3.12
15	15	3.09	33.48	-1.18	-3.12
16	15	3.09	33.48	-1.18	-3.12
16	16	3.30	33.35	0.97	-3.10
17	16	3.30	33.35	0.97	-3.10
17	17	3.52	32.65	-1.39	-3.05





A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

[2713]

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
18	17	3.52	32.65	-1.39	-3.05
18	18	3.73	32.23	0.70	-2.98
19	18	3.73	32.23	0.70	-2.98
19	19	3.94	30.80	-1.55	-2.89
20	19	3.94	30.80	-1.55	-2.89
20	20	4.15	30.10	0.41	-2.77
21	20	4.15	30.10	0.41	-2.77
21	21	4.37	28.00	-1.65	-2.63
22	21	4.37	28.00	-1.65	-2.63
22	22	4.58	27.05	0.11	-2.47
23	22	4.58	27.05	0.11	-2.47
23	23	4.79	24.34	-1.71	-2.30
24	23	4.79	24.34	-1.71	-2.30
24	24	5.01	23.16	-0.18	-2.10
25	24	5.01	23.16	-0.18	-2.10
25	25	5.22	19.93	-1.73	-1.89
26	25	5.22	19.93	-1.73	-1.89
26	26	5.43	18.56	-0.47	-1.66
27	26	5.43	18.56	-0.47	-1.66
27	27	5.65	14.91	-1.67	-1.43
28	27	5.65	14.91	-1.67	-1.43
28	28	5.86	13.39	-0.74	-1.17
29	28	5.86	13.39	-0.74	-1.17
29	29	6.07	9.44	-1.56	-0.93
30	29	6.07	9.44	-1.56	-0.93
30	30	6.29	7.81	-1.00	-0.66
31	30	6.29	7.81	-1.00	-0.66
31	31	6.50	3.68	-1.38	-0.40
32	31	6.50	3.68	-1.38	-0.40
32	32	6.71	2.00	-1.20	-0.13
33	32	6.71	2.00	-1.20	-0.13
33	33	6.92	-2.17	-1.19	0.13
34	33	6.92	-2.17	-1.19	0.13
34	34	7.14	-3.85	-1.39	0.40
35	34	7.14	-3.85	-1.39	0.40
35	35	7.35	-7.98	-1.00	0.66
36	35	7.35	-7.98	-1.00	0.66
36	36	7.56	-9.61	-1.57	0.93
37	36	7.56	-9.61	-1.57	0.93
37	37	7.78	-13.56	-0.75	1.18
38	37	7.78	-13.56	-0.75	1.18
38	38	7.99	-15.09	-1.68	1.43
39	38	7.99	-15.09	-1.68	1.43
39	39	8.20	-18.73	-0.46	1.66
40	39	8.20	-18.73	-0.46	1.66
40	40	8.42	-20.10	-1.73	1.89
41	40	8.42	-20.10	-1.73	1.89
41	41	8.63	-23.33	-0.19	2.10
42	41	8.63	-23.33	-0.19	2.10
42	42	8.84	-24.50	-1.72	2.30
43	42	8.84	-24.50	-1.72	2.30
43	43	9.06	-27.21	0.11	2.47
44	43	9.06	-27.21	0.11	2.47
44	44	9.27	-28.16	-1.65	2.64
45	44	9.27	-28.16	-1.65	2.64
45	45	9.48	-30.26	0.41	2.77
46	45	9.48	-30.26	0.41	2.77
46	46	9.69	-30.96	-1.56	2.89
47	46	9.69	-30.96	-1.56	2.89
47	47	9.91	-32.38	0.70	2.98
48	47	9.91	-32.38	0.70	2.98
48	48	10.12	-32.79	-1.39	3.06
49	48	10.12	-32.79	-1.39	3.06
49	49	10.33	-33.49	0.98	3.10
50	49	10.33	-33.49	0.98	3.10
50	50	10.55	-33.63	-1.18	3.12
51	50	10.55	-33.63	-1.18	3.12
51	51	10.76	-33.58	1.22	3.12
52	51	10.76	-33.58	1.22	3.12
52	52	10.97	-33.42	-0.93	3.09
53	52	10.97	-33.42	-0.93	3.09
53	53	11.19	-32.63	1.42	3.04



*[Handwritten signature]*

A.5.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m-t)
54	53	11.19	-32.63	1.42	3.04
54	54	11.40	-32.18	-0.67	2.96
55	54	11.40	-32.18	-0.67	2.96
55	55	11.61	-30.68	1.57	2.86
56	55	11.61	-30.68	1.57	2.86
56	56	11.83	-29.96	-0.39	2.74
57	56	11.83	-29.96	-0.39	2.74
57	57	12.04	-27.81	1.66	2.60
58	57	12.04	-27.81	1.66	2.60
58	58	12.25	-26.84	-0.11	2.44
59	58	12.25	-26.84	-0.11	2.44
59	59	12.46	-24.11	1.71	2.27
60	59	12.46	-24.11	1.71	2.27
60	60	12.68	-22.91	0.16	2.07
61	60	12.68	-22.91	0.16	2.07
61	61	12.89	-19.67	1.77	1.86
62	61	12.89	-19.67	1.77	1.86
62	62	13.10	-18.23	0.15	1.66
63	62	13.10	-18.23	0.15	1.66
63	63	13.32	-14.50	2.79	1.34
64	63	13.32	-14.50	2.79	1.34
64	64	13.53	-14.26	-2.67	1.33
65	64	13.53	-14.26	-2.67	1.33
65	65	13.69	-11.00	10.25	1.03
66	65	13.69	-11.00	10.25	1.03
66	66	13.81	-10.82	-6.76	0.84
67	66	13.81	-10.82	-6.76	0.84
67	67	13.92	-4.25	2.43	1.08
68	67	13.92	-4.25	2.43	1.08
68	68	14.03	-5.12	2.35	0.81
69	68	14.03	-5.12	2.35	0.81
69	69	14.15	-3.77	1.69	0.58
70	69	14.15	-3.77	1.69	0.58
70	70	14.26	-3.14	1.71	0.39
71	70	14.26	-3.14	1.71	0.39
71	71	14.38	-1.22	1.78	0.19
72	71	14.38	-1.22	1.78	0.19
72	72	14.49	-0.38	1.94	-0.02
73	72	14.49	-0.38	1.94	-0.02
73	73	14.60	1.09	1.29	-0.20
74	73	14.60	1.09	1.29	-0.20
74	74	14.72	2.56	3.76	-0.49
75	74	14.72	2.56	3.76	-0.49
75	75	14.83	4.02	0.68	-0.74
76	75	14.83	4.02	0.68	-0.74
76	76	14.94	5.49	1.26	-0.85
77	76	14.94	5.49	1.26	-0.85
77	77	15.06	6.96	-1.45	-0.84
78	77	15.06	6.96	-1.45	-0.84
78	78	15.17	8.42	10.80	-1.37
79	78	15.17	8.42	10.80	-1.37
79	79	15.28	9.89	-10.22	-1.41
80	79	15.28	9.89	-10.22	-1.41
80	80	15.40	11.36	18.56	-1.88
81	80	15.40	11.36	18.56	-1.88
81	81	15.51	12.83	-13.53	-2.17
82	81	15.51	12.83	-13.53	-2.17
82	82	15.62	14.29	11.73	-2.06
83	82	15.62	14.29	11.73	-2.06
83	83	15.74	15.76	-0.89	-2.68
84	83	15.74	15.76	-0.89	-2.68
84	84	15.85	17.23	6.77	-3.01
85	84	15.85	17.23	6.77	-3.01
85	85	15.97	18.69	5.49	-3.71
86	85	15.97	18.69	5.49	-3.71
86	86	16.08	20.16	-8.96	-3.51
87	86	16.08	20.16	-8.96	-3.51
87	87	16.19	21.63	8.44	-3.48
88	87	16.19	21.63	8.44	-3.48
88	88	16.31	23.09	9.29	-4.49
89	88	16.31	23.09	9.29	-4.49
89	89	16.42	24.56	2.16	-5.14

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
90	89	16.42	24.56	2.16	-5.14
90	90	16.53	26.03	-6.17	-4.91
91	90	16.53	26.03	-6.17	-4.91
91	91	16.65	27.49	21.21	-5.77
92	91	16.65	27.49	21.21	-5.77
92	92	16.76	28.96	-27.75	-5.40
93	92	16.76	28.96	-27.75	-5.40
93	93	16.87	30.43	43.83	-6.31
94	93	16.87	30.43	43.83	-6.31
94	94	16.99	31.89	-52.74	-5.80
95	94	16.99	31.89	-52.74	-5.80
95	95	17.10	33.39	44.60	-5.44
96	95	17.10	33.39	44.60	-5.44
96	96	17.22	34.91	-57.46	-4.68
97	96	17.22	34.91	-57.46	-4.68
97	97	17.35	36.63	22.08	-2.93
98	97	17.35	36.63	22.08	-2.93
98	98	17.50	38.54	-13.36	-3.57
99	98	17.50	38.54	-13.36	-3.57
99	99	17.69	32.34	3.96	-3.02
100	99	17.69	32.34	3.96	-3.02
100	100	17.91	24.14	-5.80	-2.82
101	100	17.91	24.14	-5.80	-2.82
101	101	18.13	22.09	-1.42	-2.02
102	101	18.13	22.09	-1.42	-2.02
102	102	18.35	22.19	-1.79	-1.66
103	102	18.35	22.19	-1.79	-1.66
103	103	18.58	19.98	-1.60	-1.29
104	103	18.58	19.98	-1.60	-1.29
104	104	18.80	19.34	-1.02	-1.00
105	104	18.80	19.34	-1.02	-1.00
105	105	19.02	17.21	-1.13	-0.76
106	105	19.02	17.21	-1.13	-0.76
106	106	19.24	16.10	-0.58	-0.57
107	106	19.24	16.10	-0.58	-0.57
107	107	19.46	14.03	-0.75	-0.42
108	107	19.46	14.03	-0.75	-0.42
108	108	19.68	12.59	-0.32	-0.30
109	108	19.68	12.59	-0.32	-0.30
109	109	19.91	10.54	-0.46	-0.22
110	109	19.91	10.54	-0.46	-0.22
110	110	20.13	8.90	-0.16	-0.15
111	110	20.13	8.90	-0.16	-0.15
111	111	20.35	6.87	-0.26	-0.10
112	111	20.35	6.87	-0.26	-0.10
112	112	20.57	5.10	-0.10	-0.06
113	112	20.57	5.10	-0.10	-0.06
113	113	20.79	3.11	-0.11	-0.04
114	113	20.79	3.11	-0.11	-0.04
114	114	21.01	1.17	-0.12	-0.01
115	114	21.01	1.17	-0.12	-0.01
115	115	21.24	-0.74	-0.12	0.01
116	115	21.24	-0.74	-0.12	0.01
116	116	21.46	-2.68	-0.10	0.04
117	116	21.46	-2.68	-0.10	0.04
117	117	21.68	-4.67	-0.10	0.06
118	117	21.68	-4.67	-0.10	0.06
118	118	21.90	-6.44	-0.24	0.10
119	118	21.90	-6.44	-0.24	0.10
119	119	22.12	-8.47	-0.15	0.14
120	119	22.12	-8.47	-0.15	0.14
120	120	22.35	-10.13	-0.43	0.20
121	120	22.35	-10.13	-0.43	0.20
121	121	22.57	-12.16	-0.28	0.28
122	121	22.57	-12.16	-0.28	0.28
122	122	22.79	-13.62	-0.69	0.39
123	122	22.79	-13.62	-0.69	0.39
123	123	23.01	-15.67	-0.53	0.53
124	123	23.01	-15.67	-0.53	0.53
124	124	23.23	-16.82	-1.06	0.70
125	124	23.23	-16.82	-1.06	0.70
125	125	23.45	-18.92	-0.93	0.92

A.6.4. Memoria de Cálculo de las  
Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
126	125	23.45	-18.92	-0.93	0.92
126	126	23.68	-19.62	-1.52	1.20
127	126	23.68	-19.62	-1.52	1.20
127	127	23.90	-21.79	-1.71	1.55
128	127	23.90	-21.79	-1.71	1.55
128	128	24.12	-21.77	-1.24	1.88
129	128	24.12	-21.77	-1.24	1.88
129	129	24.34	-23.74	-5.86	2.67
130	129	24.34	-23.74	-5.86	2.67
130	130	24.56	-31.55	5.13	2.75
131	130	24.56	-31.55	5.13	2.75
131	131	24.75	-35.28	-19.90	3.75
132	131	24.75	-35.28	-19.90	3.75
132	132	24.91	-38.92	32.02	2.80
133	132	24.91	-38.92	32.02	2.80
133	133	25.04	-37.09	-71.11	4.11
134	133	25.04	-37.09	-71.11	4.11
134	134	25.15	-35.60	3.77	7.75
135	134	25.15	-35.60	3.77	7.75
135	135	25.26	-34.08	-9.07	8.06
136	135	25.26	-34.08	-9.07	8.06
136	136	25.38	-32.51	36.17	6.52
137	136	25.38	-32.51	36.17	6.52
137	137	25.49	-30.95	-18.07	5.49
138	137	25.49	-30.95	-18.07	5.49
138	138	25.60	-29.39	18.51	5.46
139	138	25.60	-29.39	18.51	5.46
139	139	25.72	-27.82	-4.69	4.68
140	139	25.72	-27.82	-4.69	4.68
140	140	25.83	-26.26	1.37	4.87
141	140	25.83	-26.26	1.37	4.87
141	141	25.95	-24.69	9.05	4.28
142	141	25.95	-24.69	9.05	4.28
142	142	26.06	-23.13	7.90	3.31
143	142	26.06	-23.13	7.90	3.31
143	143	26.17	-21.57	-8.57	3.35
144	143	26.17	-21.57	-8.57	3.35
144	144	26.29	-20.00	5.17	3.54
145	144	26.29	-20.00	5.17	3.54
145	145	26.40	-18.44	6.47	2.88
146	145	26.40	-18.44	6.47	2.88
146	146	26.51	-16.87	-0.96	2.57
147	146	26.51	-16.87	-0.96	2.57
147	147	26.63	-15.31	11.28	1.98
148	147	26.63	-15.31	11.28	1.98
148	148	26.74	-13.75	-13.05	2.08
149	148	26.74	-13.75	-13.05	2.08
149	149	26.85	-12.18	17.85	1.81
150	149	26.85	-12.18	17.85	1.81
150	150	26.97	-10.62	-9.88	1.36
151	150	26.97	-10.62	-9.88	1.36
151	151	27.08	-9.05	10.44	1.33
152	151	27.08	-9.05	10.44	1.33
152	152	27.19	-7.49	-1.43	0.82
153	152	27.19	-7.49	-1.43	0.82
153	153	27.31	-5.93	1.23	0.83
154	153	27.31	-5.93	1.23	0.83
154	154	27.42	-4.36	0.64	0.72
155	154	27.42	-4.36	0.64	0.72
155	155	27.54	-2.80	3.68	0.48
156	155	27.54	-2.80	3.68	0.48
156	156	27.65	-1.24	1.27	0.20
157	156	27.65	-1.24	1.27	0.20
157	157	27.76	0.33	1.91	0.01
158	157	27.76	0.33	1.91	0.01
158	158	27.88	1.18	1.73	-0.19
159	158	27.88	1.18	1.73	-0.19
159	159	27.99	3.09	1.69	-0.39
160	159	27.99	3.09	1.69	-0.39
160	160	28.10	3.72	1.67	-0.58
161	160	28.10	3.72	1.67	-0.58
161	161	28.22	5.07	2.33	-0.80





BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
162	161	28.22	5.07	2.33	-0.80
162	162	28.33	4.21	2.42	-1.07
163	162	28.33	4.21	2.42	-1.07
163	163	28.44	10.75	-6.70	-0.83
164	163	28.44	10.75	-6.70	-0.83
164	164	28.56	10.93	10.20	-1.03
165	164	28.56	10.93	10.20	-1.03

#### 4.1.3 Dimensionamiento

A continuación se muestran los esfuerzos de flexión, cortante y los axil en todos los nudos del modelo, así como las cuantías de armadura resultantes del cálculo. El armado se realiza con barras de acero corrugado de límite elástico 500 N/mm<sup>2</sup>.

Sólo se realizan las hipótesis sin sismo, ya que de los valores de esfuerzos para esta acción se comprueba que no es condicionante.

##### 4.1.3.1 Hipótesis 1

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
1	1	BOVEDA	323.95	1.36	1.86	0.00	4.24	4.24	0.00
2	1	BOVEDA	323.95	1.36	1.86	0.00	4.24	4.24	0.00
2	2	BOVEDA	324.77	0.63	1.43	0.00	4.25	4.25	0.00
3	2	BOVEDA	324.77	0.63	1.43	0.00	4.25	4.25	0.00
3	3	BOVEDA	325.33	0.98	1.07	0.00	4.25	4.25	0.00
4	3	BOVEDA	325.33	0.98	1.07	0.00	4.25	4.25	0.00
4	4	BOVEDA	325.11	0.83	0.67	0.00	4.25	4.25	0.00
5	4	BOVEDA	325.11	0.83	0.67	0.00	4.25	4.25	0.00
5	5	BOVEDA	325.61	0.05	0.48	0.00	4.26	4.26	0.00
6	5	BOVEDA	325.61	0.05	0.48	0.00	4.26	4.26	0.00
6	6	BOVEDA	326.16	0.76	0.30	0.00	4.26	4.26	0.00
7	6	BOVEDA	326.16	0.76	0.30	0.00	4.26	4.26	0.00
7	7	BOVEDA	326.27	0.23	0.19	0.00	4.27	4.27	0.00
8	7	BOVEDA	326.27	0.23	0.19	0.00	4.27	4.27	0.00
8	8	BOVEDA	326.65	0.50	0.13	0.00	4.27	4.27	0.00
9	8	BOVEDA	326.65	0.50	0.13	0.00	4.27	4.27	0.00
9	9	BOVEDA	326.70	0.11	0.00	-0.01	4.27	4.27	0.00
10	9	BOVEDA	326.70	0.11	0.00	-0.01	4.27	4.27	0.00
10	10	BOVEDA	326.81	0.02	0.00	-0.03	4.27	4.27	0.00
11	10	BOVEDA	326.81	0.02	0.00	-0.03	4.27	4.27	0.00
11	11	BOVEDA	327.26	0.21	0.00	-0.07	4.28	4.28	0.00
12	11	BOVEDA	327.26	0.21	0.00	-0.07	4.28	4.28	0.00
12	12	BOVEDA	327.36	0.12	0.00	-0.09	4.28	4.28	0.00
13	12	BOVEDA	327.36	0.12	0.00	-0.09	4.28	4.28	0.00
13	13	BOVEDA	327.49	0.44	0.00	-0.16	4.28	4.28	0.00
14	13	BOVEDA	327.49	0.44	0.00	-0.16	4.28	4.28	0.00
14	14	BOVEDA	327.71	0.07	0.00	-0.24	4.28	4.28	0.00
15	14	BOVEDA	327.71	0.07	0.00	-0.24	4.28	4.28	0.00
15	15	BOVEDA	327.30	0.17	0.00	-0.26	4.28	4.28	0.00
16	15	BOVEDA	327.30	0.17	0.00	-0.26	4.28	4.28	0.00
16	16	BOVEDA	327.21	0.18	0.00	-0.26	4.28	4.28	0.00
17	16	BOVEDA	327.21	0.18	0.00	-0.26	4.28	4.28	0.00
17	17	BOVEDA	327.67	0.07	0.00	-0.24	4.28	4.28	0.00
18	17	BOVEDA	327.67	0.07	0.00	-0.24	4.28	4.28	0.00
18	18	BOVEDA	327.41	0.49	0.00	-0.14	4.28	4.28	0.00
19	18	BOVEDA	327.41	0.49	0.00	-0.14	4.28	4.28	0.00
19	19	BOVEDA	327.25	0.17	0.00	-0.07	4.28	4.28	0.00
20	19	BOVEDA	327.25	0.17	0.00	-0.07	4.28	4.28	0.00
20	20	BOVEDA	327.21	0.18	0.00	-0.07	4.28	4.28	0.00
21	20	BOVEDA	327.21	0.18	0.00	-0.07	4.28	4.28	0.00
21	21	BOVEDA	326.74	0.04	0.00	-0.02	4.27	4.27	0.00
22	21	BOVEDA	326.74	0.04	0.00	-0.02	4.27	4.27	0.00
22	22	BOVEDA	326.59	0.04	0.00	-0.01	4.27	4.27	0.00
23	22	BOVEDA	326.59	0.04	0.00	-0.01	4.27	4.27	0.00





BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+(m·t)	MD-(m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
23	23	BOVEDA	326.57	0.51	0.11	0.00	4.27	4.27	0.00
24	23	BOVEDA	326.57	0.51	0.11	0.00	4.27	4.27	0.00
24	24	BOVEDA	326.17	0.22	0.18	0.00	4.26	4.26	0.00
25	24	BOVEDA	326.17	0.22	0.18	0.00	4.26	4.26	0.00
25	25	BOVEDA	326.11	0.64	0.27	0.00	4.26	4.26	0.00
26	25	BOVEDA	326.11	0.64	0.27	0.00	4.26	4.26	0.00
26	26	BOVEDA	325.47	0.28	0.47	0.00	4.26	4.26	0.00
27	26	BOVEDA	325.47	0.28	0.47	0.00	4.26	4.26	0.00
27	27	BOVEDA	325.14	0.67	0.68	0.00	4.25	4.25	0.00
28	27	BOVEDA	325.14	0.67	0.68	0.00	4.25	4.25	0.00
28	28	BOVEDA	325.06	1.02	1.05	0.00	4.25	4.25	0.00
29	28	BOVEDA	325.06	1.02	1.05	0.00	4.25	4.25	0.00
29	29	BOVEDA	324.48	0.52	1.39	0.00	4.24	4.24	0.00
30	29	BOVEDA	324.48	0.52	1.39	0.00	4.24	4.24	0.00
30	30	BOVEDA	323.98	1.57	1.85	0.00	4.24	4.24	0.00
31	30	BOVEDA	323.98	1.57	1.85	0.00	4.24	4.24	0.00
31	31	BOVEDA	323.73	1.31	2.48	0.00	4.23	4.23	0.00
32	31	BOVEDA	323.73	1.31	2.48	0.00	4.23	4.23	0.00
32	32	BOVEDA	323.85	2.35	3.05	0.00	4.23	4.23	0.00
33	32	BOVEDA	323.85	2.35	3.05	0.00	4.23	4.23	0.00
33	33	BOVEDA	323.59	2.78	3.67	0.00	4.23	4.23	0.00
34	33	BOVEDA	323.59	2.78	3.67	0.00	4.23	4.23	0.00
34	34	BOVEDA	323.40	2.99	4.36	0.00	4.23	4.23	0.00
35	34	BOVEDA	323.40	2.99	4.36	0.00	4.23	4.23	0.00
35	35	BOVEDA	323.30	2.85	5.06	0.00	4.23	4.23	0.00
36	35	BOVEDA	323.30	2.85	5.06	0.00	4.23	4.23	0.00
36	36	BOVEDA	323.30	2.18	5.66	0.00	4.23	4.23	0.00
37	36	BOVEDA	323.30	2.18	5.66	0.00	4.23	4.23	0.00
37	37	BOVEDA	323.48	0.92	6.03	0.00	4.23	4.23	0.00
38	37	BOVEDA	323.48	0.92	6.03	0.00	4.23	4.23	0.00
38	38	BOVEDA	323.68	1.58	5.95	0.00	4.23	4.23	0.00
39	38	BOVEDA	323.68	1.58	5.95	0.00	4.23	4.23	0.00
39	39	BOVEDA	324.10	5.75	5.07	0.00	4.24	4.24	0.00
40	39	BOVEDA	324.10	5.75	5.07	0.00	4.24	4.24	0.00
40	40	BOVEDA	324.43	11.10	3.05	0.00	4.24	4.24	0.00
41	40	BOVEDA	324.43	11.10	3.05	0.00	4.24	4.24	0.00
41	41	BOVEDA	324.82	20.70	0.00	-0.75	4.25	4.25	0.00
42	41	BOVEDA	324.82	20.70	0.00	-0.75	4.25	4.25	0.00
42	42	HASTIAL	325.83	32.96	0.00	-7.17	4.26	4.26	0.00
43	42	HASTIAL	325.83	32.96	0.00	-7.17	4.26	4.26	0.00
43	43	HASTIAL	326.45	48.48	0.00	-16.92	4.27	4.27	0.00
44	43	HASTIAL	326.45	48.48	0.00	-16.92	4.27	4.27	0.00
44	44	HASTIAL	327.45	68.52	0.00	-30.92	4.28	4.28	0.00
45	44	HASTIAL	327.45	68.52	0.00	-30.92	4.28	4.28	0.00
45	45	HASTIAL	328.14	92.08	0.00	-50.13	4.29	4.29	8.61
46	45	HASTIAL	328.14	92.08	0.00	-50.13	4.29	4.29	8.61
46	46	HASTIAL	326.92	118.67	0.00	-75.35	4.27	8.86	25.16
47	46	HASTIAL	326.92	118.67	0.00	-75.35	4.27	8.86	25.16
47	47	HASTIAL	327.77	148.31	0.00	-107.30	4.29	34.48	43.41
48	47	HASTIAL	327.77	148.31	0.00	-107.30	4.29	34.48	43.41
48	48	HASTIAL	248.84	258.60	0.00	-70.36	3.25	13.15	118.48
49	48	HASTIAL	248.84	258.60	0.00	-70.36	3.25	13.15	118.48
49	49	HASTIAL	270.88	61.90	0.00	-1.87	3.54	3.54	0.00
50	49	HASTIAL	270.88	61.90	0.00	-1.87	3.54	3.54	0.00
50	50	SOLERA	260.33	21.19	16.66	0.00	3.40	3.40	0.00
51	50	SOLERA	260.33	21.19	16.66	0.00	3.40	3.40	0.00
51	51	SOLERA	249.61	0.49	21.49	0.00	3.26	3.26	0.00
52	51	SOLERA	249.61	0.49	21.49	0.00	3.26	3.26	0.00
52	52	SOLERA	240.98	8.02	19.81	0.00	3.15	3.15	0.00
53	52	SOLERA	240.98	8.02	19.81	0.00	3.15	3.15	0.00
53	53	SOLERA	259.66	3.58	17.23	0.00	3.40	3.40	0.00
54	53	SOLERA	259.66	3.58	17.23	0.00	3.40	3.40	0.00
54	54	SOLERA	234.88	3.26	15.70	0.00	3.07	3.07	0.00
55	54	SOLERA	234.88	3.26	15.70	0.00	3.07	3.07	0.00
55	55	SOLERA	234.87	4.91	13.88	0.00	3.07	3.07	0.00
56	55	SOLERA	234.87	4.91	13.88	0.00	3.07	3.07	0.00
56	56	SOLERA	232.11	3.48	12.01	0.00	3.03	3.03	0.00
57	56	SOLERA	232.11	3.48	12.01	0.00	3.03	3.03	0.00
57	57	SOLERA	231.37	0.32	11.31	0.00	3.03	3.03	0.00
58	57	SOLERA	231.37	0.32	11.31	0.00	3.03	3.03	0.00
58	58	SOLERA	230.34	4.82	12.45	0.00	3.01	3.01	0.00
59	58	SOLERA	230.34	4.82	12.45	0.00	3.01	3.01	0.00



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+(m·t)	MD-(m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
23	23	BOVEDA	326.57	0.51	0.11	0.00	4.27	4.27	0.00
24	23	BOVEDA	326.57	0.51	0.11	0.00	4.27	4.27	0.00
24	24	BOVEDA	326.17	0.22	0.18	0.00	4.26	4.26	0.00
25	24	BOVEDA	326.17	0.22	0.18	0.00	4.26	4.26	0.00
25	25	BOVEDA	326.11	0.64	0.27	0.00	4.26	4.26	0.00
26	25	BOVEDA	326.11	0.64	0.27	0.00	4.26	4.26	0.00
26	26	BOVEDA	325.47	0.28	0.47	0.00	4.26	4.26	0.00
27	26	BOVEDA	325.47	0.28	0.47	0.00	4.26	4.26	0.00
27	27	BOVEDA	325.14	0.67	0.68	0.00	4.25	4.25	0.00
28	27	BOVEDA	325.14	0.67	0.68	0.00	4.25	4.25	0.00
28	28	BOVEDA	325.06	1.02	1.05	0.00	4.25	4.25	0.00
29	28	BOVEDA	325.06	1.02	1.05	0.00	4.25	4.25	0.00
29	29	BOVEDA	324.48	0.52	1.39	0.00	4.24	4.24	0.00
30	29	BOVEDA	324.48	0.52	1.39	0.00	4.24	4.24	0.00
30	30	BOVEDA	323.98	1.57	1.85	0.00	4.24	4.24	0.00
31	30	BOVEDA	323.98	1.57	1.85	0.00	4.24	4.24	0.00
31	31	BOVEDA	323.73	1.31	2.48	0.00	4.23	4.23	0.00
32	31	BOVEDA	323.73	1.31	2.48	0.00	4.23	4.23	0.00
32	32	BOVEDA	323.85	2.35	3.05	0.00	4.23	4.23	0.00
33	32	BOVEDA	323.85	2.35	3.05	0.00	4.23	4.23	0.00
33	33	BOVEDA	323.59	2.78	3.67	0.00	4.23	4.23	0.00
34	33	BOVEDA	323.59	2.78	3.67	0.00	4.23	4.23	0.00
34	34	BOVEDA	323.40	2.99	4.36	0.00	4.23	4.23	0.00
35	34	BOVEDA	323.40	2.99	4.36	0.00	4.23	4.23	0.00
35	35	BOVEDA	323.30	2.85	5.06	0.00	4.23	4.23	0.00
36	35	BOVEDA	323.30	2.85	5.06	0.00	4.23	4.23	0.00
36	36	BOVEDA	323.30	2.18	5.66	0.00	4.23	4.23	0.00
37	36	BOVEDA	323.30	2.18	5.66	0.00	4.23	4.23	0.00
37	37	BOVEDA	323.48	0.92	6.03	0.00	4.23	4.23	0.00
38	37	BOVEDA	323.48	0.92	6.03	0.00	4.23	4.23	0.00
38	38	BOVEDA	323.68	1.58	5.95	0.00	4.23	4.23	0.00
39	38	BOVEDA	323.68	1.58	5.95	0.00	4.23	4.23	0.00
39	39	BOVEDA	324.10	5.75	5.07	0.00	4.24	4.24	0.00
40	39	BOVEDA	324.10	5.75	5.07	0.00	4.24	4.24	0.00
40	40	BOVEDA	324.43	11.10	3.05	0.00	4.24	4.24	0.00
41	40	BOVEDA	324.43	11.10	3.05	0.00	4.24	4.24	0.00
41	41	BOVEDA	324.82	20.70	0.00	-0.75	4.25	4.25	0.00
42	41	BOVEDA	324.82	20.70	0.00	-0.75	4.25	4.25	0.00
42	42	HASTIAL	325.83	32.96	0.00	-7.17	4.26	4.26	0.00
43	42	HASTIAL	325.83	32.96	0.00	-7.17	4.26	4.26	0.00
43	43	HASTIAL	326.45	48.48	0.00	-16.92	4.27	4.27	0.00
44	43	HASTIAL	326.45	48.48	0.00	-16.92	4.27	4.27	0.00
44	44	HASTIAL	327.45	68.52	0.00	-30.92	4.28	4.28	0.00
45	44	HASTIAL	327.45	68.52	0.00	-30.92	4.28	4.28	0.00
45	45	HASTIAL	328.14	92.08	0.00	-50.13	4.29	4.29	8.61
46	45	HASTIAL	328.14	92.08	0.00	-50.13	4.29	4.29	8.61
46	46	HASTIAL	326.92	118.67	0.00	-75.35	4.27	8.86	25.16
47	46	HASTIAL	326.92	118.67	0.00	-75.35	4.27	8.86	25.16
47	47	HASTIAL	327.77	148.31	0.00	-107.30	4.29	34.48	43.41
48	47	HASTIAL	327.77	148.31	0.00	-107.30	4.29	34.48	43.41
48	48	HASTIAL	248.84	258.60	0.00	-70.36	3.25	13.15	118.48
49	48	HASTIAL	248.84	258.60	0.00	-70.36	3.25	13.15	118.48
49	49	HASTIAL	270.88	61.90	0.00	-1.87	3.54	3.54	0.00
50	49	HASTIAL	270.88	61.90	0.00	-1.87	3.54	3.54	0.00
50	50	SOLERA	260.33	21.19	16.66	0.00	3.40	3.40	0.00
51	50	SOLERA	260.33	21.19	16.66	0.00	3.40	3.40	0.00
51	51	SOLERA	249.61	0.49	21.49	0.00	3.26	3.26	0.00
52	51	SOLERA	249.61	0.49	21.49	0.00	3.26	3.26	0.00
52	52	SOLERA	240.98	8.02	19.81	0.00	3.15	3.15	0.00
53	52	SOLERA	240.98	8.02	19.81	0.00	3.15	3.15	0.00
53	53	SOLERA	259.66	3.58	17.23	0.00	3.40	3.40	0.00
54	53	SOLERA	259.66	3.58	17.23	0.00	3.40	3.40	0.00
54	54	SOLERA	234.88	3.26	15.70	0.00	3.07	3.07	0.00
55	54	SOLERA	234.88	3.26	15.70	0.00	3.07	3.07	0.00
55	55	SOLERA	234.87	4.91	13.88	0.00	3.07	3.07	0.00
56	55	SOLERA	234.87	4.91	13.88	0.00	3.07	3.07	0.00
56	56	SOLERA	232.11	3.48	12.01	0.00	3.03	3.03	0.00
57	56	SOLERA	232.11	3.48	12.01	0.00	3.03	3.03	0.00
57	57	SOLERA	231.37	0.32	11.31	0.00	3.03	3.03	0.00
58	57	SOLERA	231.37	0.32	11.31	0.00	3.03	3.03	0.00
58	58	SOLERA	230.34	4.82	12.45	0.00	3.01	3.01	0.00
59	58	SOLERA	230.34	4.82	12.45	0.00	3.01	3.01	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+(m·t)	MD-(m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
10	9	BOVEDA	555.39	0.11	0.00	-0.01	7.26	7.26	0.00
10	10	BOVEDA	555.58	0.02	0.00	-0.03	7.26	7.26	0.00
11	10	BOVEDA	555.58	0.02	0.00	-0.03	7.26	7.26	0.00
11	11	BOVEDA	556.34	0.21	0.00	-0.07	7.27	7.27	0.00
12	11	BOVEDA	556.34	0.21	0.00	-0.07	7.27	7.27	0.00
12	12	BOVEDA	556.51	0.12	0.00	-0.09	7.28	7.28	0.00
13	12	BOVEDA	556.51	0.12	0.00	-0.09	7.28	7.28	0.00
13	13	BOVEDA	556.73	0.44	0.00	-0.16	7.28	7.28	0.00
14	13	BOVEDA	556.73	0.44	0.00	-0.16	7.28	7.28	0.00
14	14	BOVEDA	557.11	0.07	0.00	-0.24	7.28	7.28	0.00
15	14	BOVEDA	557.11	0.07	0.00	-0.24	7.28	7.28	0.00
15	15	BOVEDA	556.41	0.17	0.00	-0.26	7.28	7.28	0.00
16	15	BOVEDA	556.41	0.17	0.00	-0.26	7.28	7.28	0.00
16	16	BOVEDA	556.26	0.18	0.00	-0.26	7.27	7.27	0.00
17	16	BOVEDA	556.26	0.18	0.00	-0.26	7.27	7.27	0.00
17	17	BOVEDA	557.04	0.07	0.00	-0.24	7.28	7.28	0.00
18	17	BOVEDA	557.04	0.07	0.00	-0.24	7.28	7.28	0.00
18	18	BOVEDA	556.60	0.49	0.00	-0.14	7.28	7.28	0.00
19	18	BOVEDA	556.60	0.49	0.00	-0.14	7.28	7.28	0.00
19	19	BOVEDA	556.33	0.17	0.00	-0.07	7.27	7.27	0.00
20	19	BOVEDA	556.33	0.17	0.00	-0.07	7.27	7.27	0.00
20	20	BOVEDA	556.26	0.18	0.00	-0.07	7.27	7.27	0.00
21	20	BOVEDA	556.26	0.18	0.00	-0.07	7.27	7.27	0.00
21	21	BOVEDA	555.46	0.04	0.00	-0.02	7.26	7.26	0.00
22	21	BOVEDA	555.46	0.04	0.00	-0.02	7.26	7.26	0.00
22	22	BOVEDA	555.20	0.04	0.00	-0.01	7.26	7.26	0.00
23	22	BOVEDA	555.20	0.04	0.00	-0.01	7.26	7.26	0.00
23	23	BOVEDA	555.17	0.51	0.11	0.00	7.26	7.26	0.00
24	23	BOVEDA	555.17	0.51	0.11	0.00	7.26	7.26	0.00
24	24	BOVEDA	554.49	0.22	0.18	0.00	7.25	7.25	0.00
25	24	BOVEDA	554.49	0.22	0.18	0.00	7.25	7.25	0.00
25	25	BOVEDA	554.39	0.64	0.27	0.00	7.25	7.25	0.00
26	25	BOVEDA	554.39	0.64	0.27	0.00	7.25	7.25	0.00
26	26	BOVEDA	553.30	0.28	0.47	0.00	7.23	7.23	0.00
27	26	BOVEDA	553.30	0.28	0.47	0.00	7.23	7.23	0.00
27	27	BOVEDA	552.74	0.67	0.68	0.00	7.23	7.23	0.00
28	27	BOVEDA	552.74	0.67	0.68	0.00	7.23	7.23	0.00
28	28	BOVEDA	552.60	1.02	1.05	0.00	7.23	7.23	0.00
29	28	BOVEDA	552.60	1.02	1.05	0.00	7.23	7.23	0.00
29	29	BOVEDA	551.62	0.52	1.39	0.00	7.21	7.21	0.00
30	29	BOVEDA	551.62	0.52	1.39	0.00	7.21	7.21	0.00
30	30	BOVEDA	550.77	1.57	1.85	0.00	7.20	7.20	0.00
31	30	BOVEDA	550.77	1.57	1.85	0.00	7.20	7.20	0.00
31	31	BOVEDA	550.34	1.31	2.48	0.00	7.20	7.20	0.00
32	31	BOVEDA	550.34	1.31	2.48	0.00	7.20	7.20	0.00
32	32	BOVEDA	550.55	2.35	3.05	0.00	7.20	7.20	0.00
33	32	BOVEDA	550.55	2.35	3.05	0.00	7.20	7.20	0.00
33	33	BOVEDA	550.10	2.78	3.67	0.00	9.13	2.26	0.00
34	33	BOVEDA	550.10	2.78	3.67	0.00	9.13	2.26	0.00
34	34	BOVEDA	549.78	2.99	4.36	0.00	8.34	2.18	0.00
35	34	BOVEDA	549.78	2.99	4.36	0.00	8.34	2.18	0.00
35	35	BOVEDA	549.61	2.85	5.06	0.00	7.56	2.14	0.00
36	35	BOVEDA	549.61	2.85	5.06	0.00	7.56	2.14	0.00
36	36	BOVEDA	549.61	2.18	5.66	0.00	7.19	2.43	0.00
37	36	BOVEDA	549.61	2.18	5.66	0.00	7.19	2.43	0.00
37	37	BOVEDA	549.92	0.92	6.03	0.00	7.19	2.87	0.00
38	37	BOVEDA	549.92	0.92	6.03	0.00	7.19	2.87	0.00
38	38	BOVEDA	550.26	1.58	5.95	0.00	7.19	2.83	0.00
39	38	BOVEDA	550.26	1.58	5.95	0.00	7.19	2.83	0.00
39	39	BOVEDA	550.97	5.75	5.07	0.00	7.72	2.48	0.00
40	39	BOVEDA	550.97	5.75	5.07	0.00	7.72	2.48	0.00
40	40	BOVEDA	551.53	11.10	3.05	0.00	7.21	7.21	0.00
41	40	BOVEDA	551.53	11.10	3.05	0.00	7.21	7.21	0.00
41	41	BOVEDA	552.19	20.70	0.00	-0.75	7.22	7.22	0.00
42	41	BOVEDA	552.19	20.70	0.00	-0.75	7.22	7.22	0.00
42	42	HASTIAL	553.91	32.96	0.00	-7.17	7.24	7.24	0.00
43	42	HASTIAL	553.91	32.96	0.00	-7.17	7.24	7.24	0.00
43	43	HASTIAL	554.97	48.48	0.00	-16.92	7.26	7.26	0.00
44	43	HASTIAL	554.97	48.48	0.00	-16.92	7.26	7.26	0.00
44	44	HASTIAL	556.67	68.52	0.00	-30.92	7.28	7.28	0.00
45	44	HASTIAL	556.67	68.52	0.00	-30.92	7.28	7.28	0.00
45	45	HASTIAL	557.84	92.08	0.00	-50.13	7.29	7.29	1.66





A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
46	45	HASTIAL	557.84	92.08	0.00	-50.13	7.29	7.29	1.66
46	46	HASTIAL	555.76	118.67	0.00	-75.35	7.27	7.27	18.10
47	46	HASTIAL	555.76	118.67	0.00	-75.35	7.27	7.27	18.10
47	47	HASTIAL	557.21	148.31	0.00	-107.30	11.67	17.12	36.43
48	47	HASTIAL	557.21	148.31	0.00	-107.30	11.67	17.12	36.43
48	48	HASTIAL	423.03	258.60	0.00	-70.36	5.53	5.53	104.61
49	48	HASTIAL	423.03	258.60	0.00	-70.36	5.53	5.53	104.61
49	49	HASTIAL	460.50	61.90	0.00	-1.87	6.02	6.02	0.00
50	49	HASTIAL	460.50	61.90	0.00	-1.87	6.02	6.02	0.00
50	50	SOLERA	442.56	21.19	16.66	0.00	7.68	7.68	0.00
51	50	SOLERA	442.56	21.19	16.66	0.00	7.68	7.68	0.00
51	51	SOLERA	424.34	0.49	21.49	0.00	7.68	7.68	0.00
52	51	SOLERA	424.34	0.49	21.49	0.00	7.68	7.68	0.00
52	52	SOLERA	409.67	8.02	19.81	0.00	7.68	7.68	0.00
53	52	SOLERA	409.67	8.02	19.81	0.00	7.68	7.68	0.00
53	53	SOLERA	441.42	3.58	17.23	0.00	7.68	7.68	0.00
54	53	SOLERA	441.42	3.58	17.23	0.00	7.68	7.68	0.00
54	54	SOLERA	399.30	3.26	15.70	0.00	7.68	7.68	0.00
55	54	SOLERA	399.30	3.26	15.70	0.00	7.68	7.68	0.00
55	55	SOLERA	399.28	4.91	13.88	0.00	7.68	7.68	0.00
56	55	SOLERA	399.28	4.91	13.88	0.00	7.68	7.68	0.00
56	56	SOLERA	394.59	3.48	12.01	0.00	7.68	7.68	0.00
57	56	SOLERA	394.59	3.48	12.01	0.00	7.68	7.68	0.00
57	57	SOLERA	393.33	0.32	11.31	0.00	7.68	7.68	0.00
58	57	SOLERA	393.33	0.32	11.31	0.00	7.68	7.68	0.00
58	58	SOLERA	391.58	4.82	12.45	0.00	7.68	7.68	0.00
59	58	SOLERA	391.58	4.82	12.45	0.00	7.68	7.68	0.00
59	59	SOLERA	397.19	5.17	14.68	0.00	7.68	7.68	0.00
60	59	SOLERA	397.19	5.17	14.68	0.00	7.68	7.68	0.00
60	60	SOLERA	401.42	9.23	17.89	0.00	7.68	7.68	0.00
61	60	SOLERA	401.42	9.23	17.89	0.00	7.68	7.68	0.00
61	61	SOLERA	409.65	6.12	21.31	0.00	7.68	7.68	0.00
62	61	SOLERA	409.65	6.12	21.31	0.00	7.68	7.68	0.00
62	62	SOLERA	423.61	2.07	22.22	0.00	7.68	7.68	0.00
63	62	SOLERA	423.61	2.07	22.22	0.00	7.68	7.68	0.00
63	63	SOLERA	439.89	21.22	17.02	0.00	7.68	7.68	0.00
64	63	SOLERA	439.89	21.22	17.02	0.00	7.68	7.68	0.00
64	64	HASTIAL	458.42	61.26	0.00	-1.37	5.99	5.99	0.00
65	64	HASTIAL	458.42	61.26	0.00	-1.37	5.99	5.99	0.00
65	65	HASTIAL	432.28	263.98	0.00	-70.81	5.65	5.65	107.93
66	65	HASTIAL	432.28	263.98	0.00	-70.81	5.65	5.65	107.93
66	66	HASTIAL	557.94	150.45	0.00	-108.57	12.53	17.78	37.75
67	66	HASTIAL	557.94	150.45	0.00	-108.57	12.53	17.78	37.75
67	67	HASTIAL	556.56	119.65	0.00	-76.25	7.28	7.28	18.71
68	67	HASTIAL	556.56	119.65	0.00	-76.25	7.28	7.28	18.71
68	68	HASTIAL	557.28	93.21	0.00	-50.77	7.29	7.29	2.36
69	68	HASTIAL	557.28	93.21	0.00	-50.77	7.29	7.29	2.36
69	69	HASTIAL	555.63	69.21	0.00	-31.34	7.27	7.27	0.00
70	69	HASTIAL	555.63	69.21	0.00	-31.34	7.27	7.27	0.00
70	70	HASTIAL	554.63	49.00	0.00	-17.19	7.25	7.25	0.00
71	70	HASTIAL	554.63	49.00	0.00	-17.19	7.25	7.25	0.00
71	71	HASTIAL	553.84	33.39	0.00	-7.33	7.24	7.24	0.00
72	71	HASTIAL	553.84	33.39	0.00	-7.33	7.24	7.24	0.00
72	72	BOVEDA	552.26	20.96	0.00	-0.83	7.22	7.22	0.00
73	72	BOVEDA	552.26	20.96	0.00	-0.83	7.22	7.22	0.00
73	73	BOVEDA	551.77	11.10	3.01	0.00	7.21	7.21	0.00
74	73	BOVEDA	551.77	11.10	3.01	0.00	7.21	7.21	0.00
74	74	BOVEDA	551.65	5.67	5.02	0.00	7.86	2.65	0.00
75	74	BOVEDA	551.65	5.67	5.02	0.00	7.86	2.65	0.00
75	75	BOVEDA	550.63	1.93	5.93	0.00	7.20	2.86	0.00
76	75	BOVEDA	550.63	1.93	5.93	0.00	7.20	2.86	0.00
76	76	BOVEDA	550.31	0.95	6.04	0.00	7.20	2.94	0.00
77	76	BOVEDA	550.31	0.95	6.04	0.00	7.20	2.94	0.00
77	77	BOVEDA	550.02	2.19	5.67	0.00	7.19	2.49	0.00
78	77	BOVEDA	550.02	2.19	5.67	0.00	7.19	2.49	0.00
78	78	BOVEDA	550.02	2.89	5.06	0.00	7.60	2.24	0.00
79	78	BOVEDA	550.02	2.89	5.06	0.00	7.60	2.24	0.00
79	79	BOVEDA	550.21	2.97	4.36	0.00	8.39	2.29	0.00
80	79	BOVEDA	550.21	2.97	4.36	0.00	8.39	2.29	0.00
80	80	BOVEDA	550.44	2.71	3.68	0.00	9.16	2.35	0.00
81	80	BOVEDA	550.44	2.71	3.68	0.00	9.16	2.35	0.00
81	81	BOVEDA	550.75	2.24	3.09	0.00	7.20	7.20	0.00



Pag  
*[Handwritten signature]*

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m · t)	MD- (m · t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
82	81	BOVEDA	550.75	2.24	3.09	0.00	7.20	7.20	0.00
82	82	BOVEDA	550.58	1.50	2.49	0.00	7.20	7.20	0.00
83	82	BOVEDA	550.58	1.50	2.49	0.00	7.20	7.20	0.00

#### 4.1.3.3 Resumen

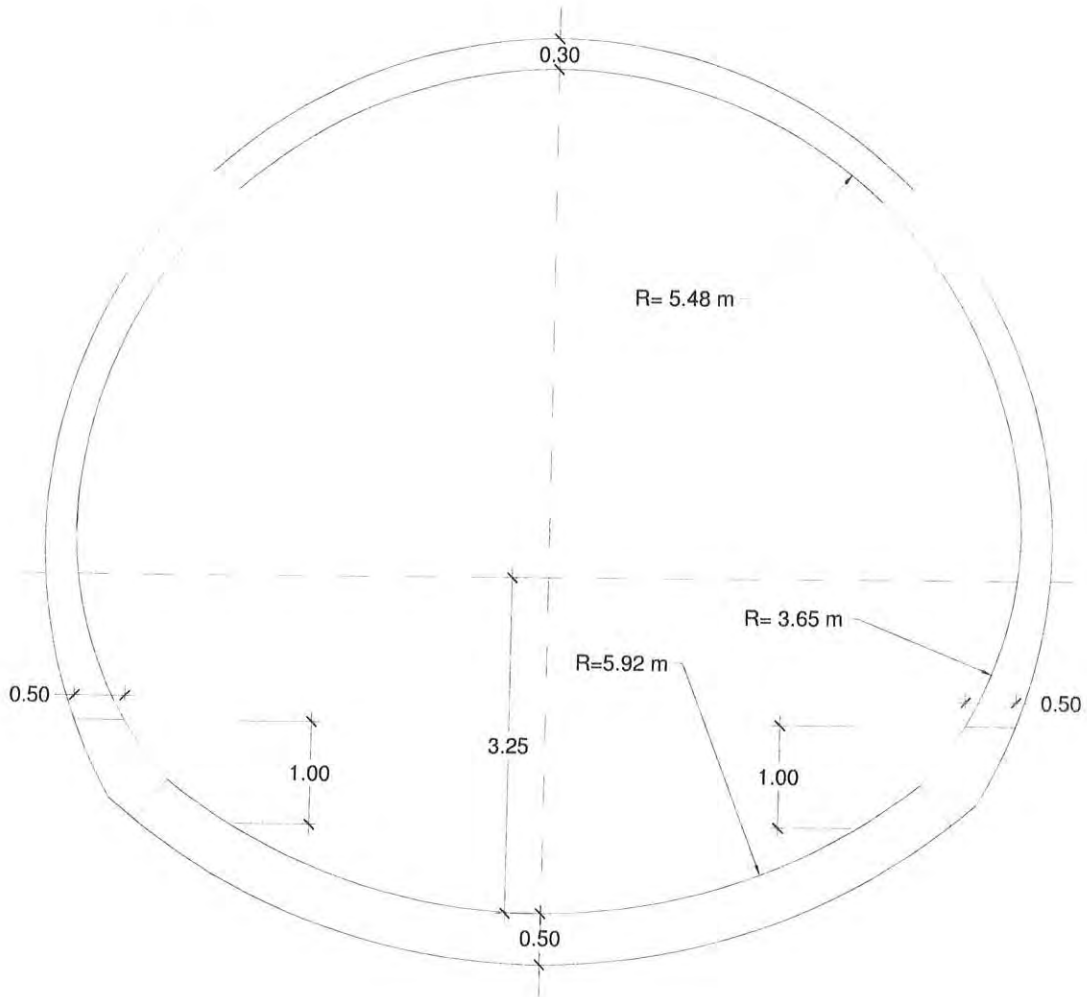
Los resultados de los esfuerzos obtenidos por dovela en el dimensionamiento, son los siguientes:

	$A_{INT}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_{EXT}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_{ST}$ (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
BOVEDA	9,16	7,28	0,00
HASTIAL	12,53	35,53	121,32
SOLERA	7,68	7,68	0,00

## 4.2 SECCIÓN CON CONTRABÓVEDA

### 4.2.1 Definición geométrica

La sección transversal del túnel es la siguiente:



## 4.2.2 Esfuerzos

Los valores de los esfuerzos producidos por las acciones procedentes del terreno se han calculado mediante el programa de elementos finitos Phase2. Los resultados son los siguientes:

### 4.2.2.1 Servicio

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
1	1	0.22	164.53	-0.12	2.37
2	1	0.22	164.53	-0.12	2.37
2	2	0.66	163.67	0.36	2.32
3	2	0.66	163.67	0.36	2.32
3	3	1.10	162.90	0.62	2.10
4	3	1.10	162.90	0.62	2.10
4	4	1.54	162.25	0.70	1.81
5	4	1.54	162.25	0.70	1.81
5	5	1.98	161.73	0.69	1.51
6	5	1.98	161.73	0.69	1.51
6	6	2.42	161.37	0.72	1.20
7	6	2.42	161.37	0.72	1.20
7	7	2.86	160.93	0.62	0.90
8	7	2.86	160.93	0.62	0.90
8	8	3.30	160.69	0.60	0.63
9	8	3.30	160.69	0.60	0.63
9	9	3.74	160.46	0.50	0.39
10	9	3.74	160.46	0.50	0.39
10	10	4.18	160.36	0.46	0.18
11	10	4.18	160.36	0.46	0.18
11	11	4.61	160.20	0.39	-0.01
12	11	4.61	160.20	0.39	-0.01
12	12	5.05	160.13	0.32	-0.16
13	12	5.05	160.13	0.32	-0.16
13	13	5.49	159.98	0.21	-0.28
14	13	5.49	159.98	0.21	-0.28
14	14	5.93	160.01	0.15	-0.36
15	14	5.93	160.01	0.15	-0.36
15	15	6.37	160.01	0.15	-0.42
16	15	6.37	160.01	0.15	-0.42
16	16	6.81	160.00	0.05	-0.46
17	16	6.81	160.00	0.05	-0.46
17	17	7.25	160.01	-0.05	-0.46
18	17	7.25	160.01	-0.05	-0.46
18	18	7.69	160.01	-0.13	-0.42
19	18	7.69	160.01	-0.13	-0.42
19	19	8.13	159.96	-0.13	-0.36
20	19	8.13	159.96	-0.13	-0.36
20	20	8.57	160.16	-0.28	-0.27
21	20	8.57	160.16	-0.28	-0.27
21	21	9.01	160.15	-0.30	-0.14
22	21	9.01	160.15	-0.30	-0.14
22	22	9.45	160.24	-0.40	0.01
23	22	9.45	160.24	-0.40	0.01
23	23	9.89	160.32	-0.42	0.19
24	23	9.89	160.32	-0.42	0.19
24	24	10.33	160.45	-0.50	0.39
25	24	10.33	160.45	-0.50	0.39
25	25	10.77	160.72	-0.60	0.63
26	25	10.77	160.72	-0.60	0.63
26	26	11.21	160.96	-0.65	0.91
27	26	11.21	160.96	-0.65	0.91
27	27	11.65	161.38	-0.71	1.20
28	27	11.65	161.38	-0.71	1.20
28	28	12.09	161.73	-0.67	1.51
29	28	12.09	161.73	-0.67	1.51
29	29	12.53	162.27	-0.69	1.81
30	29	12.53	162.27	-0.69	1.81
30	30	12.97	162.88	-0.61	2.09
31	30	12.97	162.88	-0.61	2.09

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m-t)
31	31	13.40	163.69	-0.36	2.30
32	31	13.40	163.69	-0.36	2.30
32	32	13.84	164.58	0.10	2.36
33	32	13.84	164.58	0.10	2.36
33	33	14.17	165.45	0.23	2.31
34	33	14.17	165.45	0.23	2.31
34	34	14.39	165.98	0.47	2.24
35	34	14.39	165.98	0.47	2.24
35	35	14.61	166.54	0.82	2.10
36	35	14.61	166.54	0.82	2.10
36	36	14.83	167.12	1.25	1.87
37	36	14.83	167.12	1.25	1.87
37	37	15.05	167.74	1.80	1.53
38	37	15.05	167.74	1.80	1.53
38	38	15.27	168.39	2.48	1.07
39	38	15.27	168.39	2.48	1.07
39	39	15.49	169.10	3.32	0.43
40	39	15.49	169.10	3.32	0.43
40	40	15.70	169.86	4.34	-0.41
41	40	15.70	169.86	4.34	-0.41
41	41	15.92	170.66	5.54	-1.49
42	41	15.92	170.66	5.54	-1.49
42	42	16.14	171.46	6.89	-2.85
43	42	16.14	171.46	6.89	-2.85
43	43	16.36	172.26	8.50	-4.53
44	43	16.36	172.26	8.50	-4.53
44	44	16.58	173.23	10.36	-6.59
45	44	16.58	173.23	10.36	-6.59
45	45	16.80	173.76	12.29	-9.07
46	45	16.80	173.76	12.29	-9.07
46	46	17.02	174.95	14.85	-12.04
47	46	17.02	174.95	14.85	-12.04
47	47	17.23	175.70	17.21	-15.54
48	47	17.23	175.70	17.21	-15.54
48	48	17.45	176.64	19.93	-19.60
49	48	17.45	176.64	19.93	-19.60
49	49	17.70	174.52	-26.64	-18.04
50	49	17.70	174.52	-26.64	-18.04
50	50	17.98	173.02	-21.15	-11.32
51	50	17.98	173.02	-21.15	-11.32
51	51	18.27	170.92	-16.22	-6.06
52	51	18.27	170.92	-16.22	-6.06
52	52	18.55	169.62	-12.30	-2.05
53	52	18.55	169.62	-12.30	-2.05
53	53	18.83	168.39	-9.05	0.95
54	53	18.83	168.39	-9.05	0.95
54	54	19.11	166.78	-6.33	3.11
55	54	19.11	166.78	-6.33	3.11
55	55	19.39	166.00	-4.23	4.60
56	55	19.39	166.00	-4.23	4.60
56	56	19.67	165.11	-2.64	5.57
57	56	19.67	165.11	-2.64	5.57
57	57	19.95	164.26	-1.52	6.15
58	57	19.95	164.26	-1.52	6.15
58	58	20.23	163.39	-0.77	6.47
59	58	20.23	163.39	-0.77	6.47
59	59	20.52	162.93	-0.25	6.61
60	59	20.52	162.93	-0.25	6.61
60	60	20.80	162.49	0.05	6.64
61	60	20.80	162.49	0.05	6.64
61	61	21.08	162.17	0.20	6.61
62	61	21.08	162.17	0.20	6.61
62	62	21.36	161.91	0.19	6.55
63	62	21.36	161.91	0.19	6.55
63	63	21.64	161.74	0.12	6.51
64	63	21.64	161.74	0.12	6.51
64	64	21.92	161.62	0.05	6.49
65	64	21.92	161.62	0.05	6.49
65	65	22.20	161.66	-0.05	6.49
66	65	22.20	161.66	-0.05	6.49
66	66	22.48	161.76	-0.14	6.52
67	66	22.48	161.76	-0.14	6.52



BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
67	67	22.77	161.92	-0.19	6.56
68	67	22.77	161.92	-0.19	6.56
68	68	23.05	162.19	-0.17	6.61
69	68	23.05	162.19	-0.17	6.61
69	69	23.33	162.46	-0.07	6.65
70	69	23.33	162.46	-0.07	6.65
70	70	23.61	163.00	0.26	6.62
71	70	23.61	163.00	0.26	6.62
71	71	23.89	163.40	0.79	6.47
72	71	23.89	163.40	0.79	6.47
72	72	24.17	164.19	1.63	6.13
73	72	24.17	164.19	1.63	6.13
73	73	24.45	164.91	2.73	5.52
74	73	24.45	164.91	2.73	5.52
74	74	24.73	165.60	4.16	4.55
75	74	24.73	165.60	4.16	4.55
75	75	25.02	166.68	6.17	3.10
76	75	25.02	166.68	6.17	3.10
76	76	25.30	168.23	9.08	0.95
77	76	25.30	168.23	9.08	0.95
77	77	25.58	169.40	12.26	-2.05
78	77	25.58	169.40	12.26	-2.05
78	78	25.86	171.02	16.38	-6.08
79	78	25.86	171.02	16.38	-6.08
79	79	26.14	172.89	21.28	-11.37
80	79	26.14	172.89	21.28	-11.37
80	80	26.42	174.51	26.67	-18.11
81	80	26.42	174.51	26.67	-18.11
81	81	26.67	176.58	-19.89	-19.69
82	81	26.67	176.58	-19.89	-19.69
82	82	26.89	175.75	-17.34	-15.62
83	82	26.89	175.75	-17.34	-15.62
83	83	27.11	174.91	-14.89	-12.10
84	83	27.11	174.91	-14.89	-12.10
84	84	27.33	173.98	-12.59	-9.09
85	84	27.33	173.98	-12.59	-9.09
85	85	27.55	173.00	-10.42	-6.57
86	85	27.55	173.00	-10.42	-6.57
86	86	27.77	172.16	-8.57	-4.50
87	86	27.77	172.16	-8.57	-4.50
87	87	27.98	171.37	-6.95	-2.80
88	87	27.98	171.37	-6.95	-2.80
88	88	28.20	170.56	-5.55	-1.43
89	88	28.20	170.56	-5.55	-1.43
89	89	28.42	169.79	-4.35	-0.35
90	89	28.42	169.79	-4.35	-0.35
90	90	28.64	169.03	-3.32	0.49
91	90	28.64	169.03	-3.32	0.49
91	91	28.86	168.32	-2.47	1.12
92	91	28.86	168.32	-2.47	1.12
92	92	29.08	167.66	-1.77	1.58
93	92	29.08	167.66	-1.77	1.58
93	93	29.30	167.03	-1.21	1.91
94	93	29.30	167.03	-1.21	1.91
94	94	29.52	166.45	-0.73	2.12
95	94	29.52	166.45	-0.73	2.12
95	95	29.73	165.98	-0.44	2.25
96	95	29.73	165.98	-0.44	2.25
96	96	29.95	165.39	-0.21	2.32

#### 4.2.2.2 Sismo

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
1	1	0.11	11.76	-4.38	-2.24
2	1	0.11	11.76	-4.38	-2.24
2	2	0.32	9.24	4.53	-2.26
3	2	0.32	9.24	4.53	-2.26
3	3	0.53	10.34	0.84	-2.83
4	3	0.53	10.34	0.84	-2.83

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
4	4	0.75	9.55	2.70	-3.21
5	4	0.75	9.55	2.70	-3.21
5	5	0.96	10.77	1.21	-3.63
6	5	0.96	10.77	1.21	-3.63
6	6	1.17	10.09	2.26	-4.00
7	6	1.17	10.09	2.26	-4.00
7	7	1.38	11.18	0.97	-4.34
8	7	1.38	11.18	0.97	-4.34
8	8	1.60	10.58	2.10	-4.67
9	8	1.60	10.58	2.10	-4.67
9	9	1.81	11.43	0.60	-4.96
10	9	1.81	11.43	0.60	-4.96
10	10	2.02	10.96	1.73	-5.20
11	10	2.02	10.96	1.73	-5.20
11	11	2.24	11.61	-0.02	-5.39
12	11	2.24	11.61	-0.02	-5.39
12	12	2.45	11.50	1.40	-5.53
13	12	2.45	11.50	1.40	-5.53
13	13	2.66	11.93	-0.32	-5.65
14	13	2.66	11.93	-0.32	-5.65
14	14	2.88	11.88	0.81	-5.70
15	14	2.88	11.88	0.81	-5.70
15	15	3.09	11.97	-0.70	-5.71
16	15	3.09	11.97	-0.70	-5.71
16	16	3.30	12.01	0.64	-5.71
17	16	3.30	12.01	0.64	-5.71
17	17	3.52	11.81	-1.14	-5.65
18	17	3.52	11.81	-1.14	-5.65
18	18	3.73	11.93	0.11	-5.54
19	18	3.73	11.93	0.11	-5.54
19	19	3.94	11.36	-1.51	-5.40
20	19	3.94	11.36	-1.51	-5.40
20	20	4.15	11.68	-0.35	-5.20
21	20	4.15	11.68	-0.35	-5.20
21	21	4.37	10.90	-2.00	-4.95
22	21	4.37	10.90	-2.00	-4.95
22	22	4.58	11.38	-0.68	-4.66
23	22	4.58	11.38	-0.68	-4.66
23	23	4.79	10.41	-2.30	-4.34
24	23	4.79	10.41	-2.30	-4.34
24	24	5.01	11.16	-1.25	-3.96
25	24	5.01	11.16	-1.25	-3.96
25	25	5.22	9.97	-2.51	-3.56
26	25	5.22	9.97	-2.51	-3.56
26	26	5.43	10.84	-1.55	-3.13
27	26	5.43	10.84	-1.55	-3.13
27	27	5.65	9.51	-2.78	-2.67
28	27	5.65	9.51	-2.78	-2.67
28	28	5.86	10.44	-1.69	-2.20
29	28	5.86	10.44	-1.69	-2.20
29	29	6.07	8.97	-2.92	-1.70
30	29	6.07	8.97	-2.92	-1.70
30	30	6.29	9.98	-1.86	-1.19
31	30	6.29	9.98	-1.86	-1.19
31	31	6.50	8.46	-2.96	-0.68
32	31	6.50	8.46	-2.96	-0.68
32	32	6.71	9.51	-2.01	-0.15
33	32	6.71	9.51	-2.01	-0.15
33	33	6.92	7.98	-2.96	0.38
34	33	6.92	7.98	-2.96	0.38
34	34	7.14	8.99	-1.98	0.90
35	34	7.14	8.99	-1.98	0.90
35	35	7.35	7.47	-2.70	1.40
36	35	7.35	7.47	-2.70	1.40
36	36	7.56	8.47	-1.94	1.90
37	36	7.56	8.47	-1.94	1.90
37	37	7.78	7.08	-2.70	2.39
38	37	7.78	7.08	-2.70	2.39
38	38	7.99	7.95	-1.73	2.86
39	38	7.99	7.95	-1.73	2.86
39	39	8.20	6.57	-2.34	3.30
40	39	8.20	6.57	-2.34	3.30

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
40	40	8.42	7.25	-1.44	3.70
41	40	8.42	7.25	-1.44	3.70
41	41	8.63	6.09	-2.00	4.07
42	41	8.63	6.09	-2.00	4.07
42	42	8.84	6.68	-1.27	4.42
43	42	8.84	6.68	-1.27	4.42
43	43	9.06	5.69	-1.47	4.71
44	43	9.06	5.69	-1.47	4.71
44	44	9.27	6.07	-0.89	4.96
45	44	9.27	6.07	-0.89	4.96
45	45	9.48	5.35	-1.02	5.16
46	45	9.48	5.35	-1.02	5.16
46	46	9.69	5.51	-0.41	5.31
47	46	9.69	5.51	-0.41	5.31
47	47	9.91	5.06	-0.57	5.42
48	47	9.91	5.06	-0.57	5.42
48	48	10.12	5.12	-0.11	5.49
49	48	10.12	5.12	-0.11	5.49
49	49	10.33	4.91	-0.24	5.53
50	49	10.33	4.91	-0.24	5.53
50	50	10.55	4.86	0.13	5.54
51	50	10.55	4.86	0.13	5.54
51	51	10.76	4.83	-0.05	5.53
52	51	10.76	4.83	-0.05	5.53
52	52	10.97	4.76	0.29	5.51
53	52	10.97	4.76	0.29	5.51
53	53	11.19	4.92	0.17	5.46
54	53	11.19	4.92	0.17	5.46
54	54	11.40	4.80	0.54	5.39
55	54	11.40	4.80	0.54	5.39
55	55	11.61	5.18	0.43	5.28
56	55	11.61	5.18	0.43	5.28
56	56	11.83	4.97	0.93	5.14
57	56	11.83	4.97	0.93	5.14
57	57	12.04	5.59	0.73	4.96
58	57	12.04	5.59	0.73	4.96
58	58	12.25	5.26	1.34	4.74
59	58	12.25	5.26	1.34	4.74
59	59	12.46	6.17	1.16	4.47
60	59	12.46	6.17	1.16	4.47
60	60	12.68	5.66	1.81	4.16
61	60	12.68	5.66	1.81	4.16
61	61	12.89	6.80	1.74	3.78
62	61	12.89	6.80	1.74	3.78
62	62	13.10	6.10	1.47	3.44
63	62	13.10	6.10	1.47	3.44
63	63	13.32	7.18	4.50	2.80
64	63	13.32	7.18	4.50	2.80
64	64	13.53	8.48	-5.15	2.87
65	64	13.53	8.48	-5.15	2.87
65	65	13.69	9.46	22.59	2.23
66	65	13.69	9.46	22.59	2.23
66	66	13.79	10.10	-35.30	2.90
67	66	13.79	10.10	-35.30	2.90
67	67	13.90	10.74	43.38	2.48
68	67	13.90	10.74	43.38	2.48
68	68	14.00	11.39	-22.35	1.37
69	68	14.00	11.39	-22.35	1.37
69	69	14.11	12.03	16.97	1.65
70	69	14.11	12.03	16.97	1.65
70	70	14.22	12.68	-0.51	0.79
71	70	14.22	12.68	-0.51	0.79
71	71	14.32	13.32	2.42	0.69
72	71	14.32	13.32	2.42	0.69
72	72	14.43	13.97	4.77	0.31
73	72	14.43	13.97	4.77	0.31
73	73	14.53	14.61	3.12	-0.11
74	73	14.53	14.61	3.12	-0.11
74	74	14.64	15.25	1.87	-0.37
75	74	14.64	15.25	1.87	-0.37
75	75	14.74	15.90	11.02	-1.05
76	75	14.74	15.90	11.02	-1.05



*(Handwritten signature)*



A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
76	76	14.85	16.54	-4.28	-1.40
77	76	14.85	16.54	-4.28	-1.40
77	77	14.95	17.19	11.56	-1.78
78	77	14.95	17.19	11.56	-1.78
78	78	15.06	17.83	-6.06	-2.07
79	78	15.06	17.83	-6.06	-2.07
79	79	15.16	18.48	3.14	-1.92
80	79	15.16	18.48	3.14	-1.92
80	80	15.27	19.12	8.19	-2.52
81	80	15.27	19.12	8.19	-2.52
81	81	15.37	19.76	8.11	-3.37
82	81	15.37	19.76	8.11	-3.37
82	82	15.48	20.41	6.60	-4.15
83	82	15.48	20.41	6.60	-4.15
83	83	15.58	21.05	4.29	-4.72
84	83	15.58	21.05	4.29	-4.72
84	84	15.69	21.70	-22.26	-3.78
85	84	15.69	21.70	-22.26	-3.78
85	85	15.79	22.34	47.24	-5.09
86	85	15.79	22.34	47.24	-5.09
86	86	15.90	22.99	-40.56	-5.44
87	86	15.90	22.99	-40.56	-5.44
87	87	16.00	23.63	23.85	-4.56
88	87	16.00	23.63	23.85	-4.56
88	88	16.11	24.27	29.46	-7.37
89	88	16.11	24.27	29.46	-7.37
89	89	16.22	24.92	-62.92	-5.61
90	89	16.22	24.92	-62.92	-5.61
90	90	16.32	25.56	91.69	-7.12
91	90	16.32	25.56	91.69	-7.12
91	91	16.43	26.21	-88.14	-7.31
92	91	16.43	26.21	-88.14	-7.31
92	92	16.53	26.85	59.34	-5.79
93	92	16.53	26.85	59.34	-5.79
93	93	16.64	27.50	9.34	-9.41
94	93	16.64	27.50	9.34	-9.41
94	94	16.74	28.14	-46.98	-7.43
95	94	16.74	28.14	-46.98	-7.43
95	95	16.85	28.78	32.16	-6.65
96	95	16.85	28.78	32.16	-6.65
96	96	16.95	29.43	23.32	-9.56
97	96	16.95	29.43	23.32	-9.56
97	97	17.07	30.17	-33.70	-8.49
98	97	17.07	30.17	-33.70	-8.49
98	98	17.21	31.01	2.68	-6.37
99	98	17.21	31.01	2.68	-6.37
99	99	17.35	31.84	5.72	-6.94
100	99	17.35	31.84	5.72	-6.94
100	100	17.48	32.68	-19.81	-5.98
101	100	17.48	32.68	-19.81	-5.98
101	101	17.62	33.52	15.50	-5.68
102	101	17.62	33.52	15.50	-5.68
102	102	17.76	10.40	-9.98	-6.06
103	102	17.76	10.40	-9.98	-6.06
103	103	17.89	10.34	19.92	-6.74
104	103	17.89	10.34	19.92	-6.74
104	104	18.03	10.28	-28.24	-6.17
105	104	18.03	10.28	-28.24	-6.17
105	105	18.17	10.22	24.63	-5.92
106	105	18.17	10.22	24.63	-5.92
106	106	18.30	10.16	-26.00	-5.83
107	106	18.30	10.16	-26.00	-5.83
107	107	18.44	10.10	32.19	-6.25
108	107	18.44	10.10	32.19	-6.25
108	108	18.58	10.04	-17.57	-7.25
109	108	18.58	10.04	-17.57	-7.25
109	109	18.71	9.98	2.82	-6.25
110	109	18.71	9.98	2.82	-6.25
110	110	18.85	9.92	-12.22	-5.60
111	110	18.85	9.92	-12.22	-5.60
111	111	18.99	9.86	4.91	-5.10
112	111	18.99	9.86	4.91	-5.10

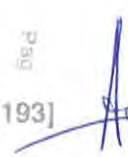
A.6.4. Memoria de Calculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m-t)
112	112	19.12	9.80	-2.92	-5.24
113	112	19.12	9.80	-2.92	-5.24
113	113	19.26	9.74	-6.48	-4.60
114	113	19.26	9.74	-6.48	-4.60
114	114	19.40	9.68	2.32	-4.31
115	114	19.40	9.68	2.32	-4.31
115	115	19.53	9.62	-2.65	-4.29
116	115	19.53	9.62	-2.65	-4.29
116	116	19.67	9.56	-7.76	-3.58
117	116	19.67	9.56	-7.76	-3.58
117	117	19.81	9.50	4.15	-3.33
118	117	19.81	9.50	4.15	-3.33
118	118	19.94	9.43	-3.08	-3.41
119	118	19.94	9.43	-3.08	-3.41
119	119	20.08	9.37	-6.36	-2.76
120	119	20.08	9.37	-6.36	-2.76
120	120	20.22	9.31	-4.09	-2.05
121	120	20.22	9.31	-4.09	-2.05
121	121	20.35	9.25	-2.11	-1.62
122	121	20.35	9.25	-2.11	-1.62
122	122	20.49	9.19	-1.28	-1.39
123	122	20.49	9.19	-1.28	-1.39
123	123	20.63	9.13	-3.87	-1.04
124	123	20.63	9.13	-3.87	-1.04
124	124	20.76	9.07	-1.67	-0.66
125	124	20.76	9.07	-1.67	-0.66
125	125	20.90	9.01	-3.28	-0.32
126	125	20.90	9.01	-3.28	-0.32
126	126	21.04	8.95	-4.36	0.20
127	126	21.04	8.95	-4.36	0.20
127	127	21.17	8.89	3.04	0.29
128	127	21.17	8.89	3.04	0.29
128	128	21.31	8.83	-13.29	0.99
129	128	21.31	8.83	-13.29	0.99
129	129	21.45	8.77	10.17	1.20
130	129	21.45	8.77	10.17	1.20
130	130	21.58	8.71	-11.90	1.32
131	130	21.58	8.71	-11.90	1.32
131	131	21.72	8.65	3.67	1.88
132	131	21.72	8.65	3.67	1.88
132	132	21.86	8.59	-7.44	2.14
133	132	21.86	8.59	-7.44	2.14
133	133	21.99	8.53	0.25	2.63
134	133	21.99	8.53	0.25	2.63
134	134	22.13	3.64	-3.30	2.84
135	134	22.13	3.64	-3.30	2.84
135	135	22.27	2.89	-0.27	3.08
136	135	22.27	2.89	-0.27	3.08
136	136	22.40	2.15	-0.58	3.14
137	136	22.40	2.15	-0.58	3.14
137	137	22.54	1.40	-5.84	3.58
138	137	22.54	1.40	-5.84	3.58
138	138	22.68	0.65	-5.93	4.38
139	138	22.68	0.65	-5.93	4.38
139	139	22.81	-0.09	-2.55	4.96
140	139	22.81	-0.09	-2.55	4.96
140	140	22.95	-0.84	7.79	4.61
141	140	22.95	-0.84	7.79	4.61
141	141	23.09	-1.58	-9.45	4.72
142	141	23.09	-1.58	-9.45	4.72
142	142	23.22	-2.33	0.76	5.31
143	142	23.22	-2.33	0.76	5.31
143	143	23.36	-3.07	2.58	5.08
144	143	23.36	-3.07	2.58	5.08
144	144	23.50	-3.82	-5.08	5.25
145	144	23.50	-3.82	-5.08	5.25
145	145	23.63	-4.57	-1.92	5.73
146	145	23.63	-4.57	-1.92	5.73
146	146	23.77	-5.31	7.31	5.36
147	146	23.77	-5.31	7.31	5.36
147	147	23.91	-6.06	-11.66	5.66
148	147	23.91	-6.06	-11.66	5.66

Handwritten signature and initials.

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
148	148	24.04	-6.80	5.02	6.12
149	148	24.04	-6.80	5.02	6.12
149	149	24.18	-7.55	-14.07	6.73
150	149	24.18	-7.55	-14.07	6.73
150	150	24.32	-8.30	28.16	5.77
151	150	24.32	-8.30	28.16	5.77
151	151	24.45	-9.04	-16.31	4.96
152	151	24.45	-9.04	-16.31	4.96
152	152	24.59	-9.79	12.66	5.21
153	152	24.59	-9.79	12.66	5.21
153	153	24.73	-10.53	-12.29	5.19
154	153	24.73	-10.53	-12.29	5.19
154	154	24.86	-11.28	10.22	5.33
155	154	24.86	-11.28	10.22	5.33
155	155	24.97	-11.84	-0.01	4.63
156	155	24.97	-11.84	-0.01	4.63
156	156	25.03	-12.21	-90.88	7.73
157	156	25.03	-12.21	-90.88	7.73
157	157	25.10	-12.59	139.03	6.09
158	157	25.10	-12.59	139.03	6.09
158	158	25.17	-12.96	-123.72	5.57
159	158	25.17	-12.96	-123.72	5.57
159	159	25.24	-13.33	94.77	6.55
160	159	25.24	-13.33	94.77	6.55
160	160	25.31	-13.70	-76.57	5.93
161	160	25.31	-13.70	-76.57	5.93
161	161	25.41	2.39	45.72	5.42
162	161	25.41	2.39	45.72	5.42
162	162	25.55	3.00	-36.43	4.79
163	162	25.55	3.00	-36.43	4.79
163	163	25.68	13.46	26.48	5.47
164	163	25.68	13.46	26.48	5.47
164	164	25.80	13.50	-20.93	4.76
165	164	25.80	13.50	-20.93	4.76
165	165	25.91	13.52	29.32	4.32
166	165	25.91	13.52	29.32	4.32
166	166	26.01	13.55	-36.16	4.68
167	166	26.01	13.55	-36.16	4.68
167	167	26.12	13.58	13.19	5.89
168	167	26.12	13.58	13.19	5.89
168	168	26.22	13.61	26.81	3.79
169	168	26.22	13.61	26.81	3.79
169	169	26.33	13.63	-52.78	5.15
170	169	26.33	13.63	-52.78	5.15
170	170	26.44	13.66	61.36	4.70
171	170	26.44	13.66	61.36	4.70
171	171	26.54	13.69	-44.07	3.79
172	171	26.54	13.69	-44.07	3.79
172	172	26.65	13.72	17.55	5.19
173	172	26.65	13.72	17.55	5.19
173	173	26.75	13.75	18.52	3.29
174	173	26.75	13.75	18.52	3.29
174	174	26.86	13.77	-31.54	3.97
175	174	26.86	13.77	-31.54	3.97
175	175	26.96	13.80	35.29	3.77
176	175	26.96	13.80	35.29	3.77
176	176	27.07	13.83	-18.17	2.87
177	176	27.07	13.83	-18.17	2.87
177	177	27.17	13.86	3.95	3.62
178	177	27.17	13.86	3.95	3.62
178	178	27.28	13.89	2.98	3.26
179	178	27.28	13.89	2.98	3.26
179	179	27.38	13.91	7.38	2.71
180	179	27.38	13.91	7.38	2.71
180	180	27.49	6.22	4.50	2.09
181	180	27.49	6.22	4.50	2.09
181	181	27.59	6.15	3.98	1.64
182	181	27.59	6.15	3.98	1.64
182	182	27.70	6.08	-7.21	1.81
183	182	27.70	6.08	-7.21	1.81
183	183	27.80	6.01	11.44	1.59
184	183	27.80	6.01	11.44	1.59



BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
184	184	27.91	5.94	-6.34	1.32
185	184	27.91	5.94	-6.34	1.32
185	185	28.01	5.88	11.29	1.06
186	185	28.01	5.88	11.29	1.06
186	186	28.12	5.81	-0.74	0.50
187	186	28.12	5.81	-0.74	0.50
187	187	28.22	5.74	4.54	0.30
188	187	28.22	5.74	4.54	0.30
188	188	28.33	5.67	1.85	-0.03
189	188	28.33	5.67	1.85	-0.03
189	189	28.43	5.60	4.09	-0.35
190	189	28.43	5.60	4.09	-0.35
190	190	28.54	5.53	-1.68	-0.47
191	190	28.54	5.53	-1.68	-0.47
191	191	28.65	5.47	13.98	-1.12
192	191	28.65	5.47	13.98	-1.12
192	192	28.75	5.40	-17.41	-0.94
193	192	28.75	5.40	-17.41	-0.94
193	193	28.86	5.33	34.39	-1.83
194	193	28.86	5.33	34.39	-1.83
194	194	28.96	5.26	-27.97	-2.17
195	194	28.96	5.26	-27.97	-2.17
195	195	29.07	5.19	19.14	-1.70

### 4.2.3 Dimensionamiento

A continuación se muestran los esfuerzos de flexión, cortante y los axil en todos los nudos del modelo, así como las cuantías de armadura resultantes del cálculo. El armado se realiza con barras de acero corrugado de límite elástico 500 N/mm<sup>2</sup>.

#### 4.2.3.1 Hipótesis 1

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
1	1	BOVEDA	164.53	0.20	4.03	0.00	2.15	2.15	0.00
2	1	BOVEDA	164.53	0.20	4.03	0.00	2.15	2.15	0.00
2	2	BOVEDA	164.53	0.20	4.03	0.00	2.15	2.15	0.00
3	2	BOVEDA	164.53	0.20	4.03	0.00	2.15	2.15	0.00
3	3	BOVEDA	164.53	0.20	4.03	0.00	2.15	2.15	0.00
4	3	BOVEDA	163.67	0.61	3.94	0.00	2.14	2.14	0.00
4	4	BOVEDA	163.67	0.61	3.94	0.00	2.14	2.14	0.00
5	4	BOVEDA	163.67	0.61	3.94	0.00	2.14	2.14	0.00
5	5	BOVEDA	163.67	0.61	3.94	0.00	2.14	2.14	0.00
6	5	BOVEDA	162.90	1.06	3.57	0.00	2.13	2.13	0.00
6	6	BOVEDA	162.90	1.06	3.57	0.00	2.13	2.13	0.00
7	6	BOVEDA	162.90	1.06	3.57	0.00	2.13	2.13	0.00
7	7	BOVEDA	162.90	1.06	3.57	0.00	2.13	2.13	0.00
8	7	BOVEDA	162.25	1.19	3.08	0.00	2.12	2.12	0.00
8	8	BOVEDA	162.25	1.19	3.08	0.00	2.12	2.12	0.00
9	8	BOVEDA	162.25	1.19	3.08	0.00	2.12	2.12	0.00
9	9	BOVEDA	162.25	1.19	3.08	0.00	2.12	2.12	0.00
10	9	BOVEDA	162.25	1.19	3.08	0.00	2.12	2.12	0.00
10	10	BOVEDA	161.73	1.17	2.56	0.00	2.11	2.11	0.00
11	10	BOVEDA	161.73	1.17	2.56	0.00	2.11	2.11	0.00
11	11	BOVEDA	161.73	1.17	2.56	0.00	2.11	2.11	0.00
12	11	BOVEDA	161.73	1.17	2.56	0.00	2.11	2.11	0.00
12	12	BOVEDA	161.37	1.23	2.03	0.00	2.11	2.11	0.00
13	12	BOVEDA	161.37	1.23	2.03	0.00	2.11	2.11	0.00
13	13	BOVEDA	161.37	1.23	2.03	0.00	2.11	2.11	0.00
14	13	BOVEDA	161.37	1.23	2.03	0.00	2.11	2.11	0.00
14	14	BOVEDA	161.37	1.23	2.03	0.00	2.11	2.11	0.00
15	14	BOVEDA	160.93	1.06	1.53	0.00	2.10	2.10	0.00
15	15	BOVEDA	160.93	1.06	1.53	0.00	2.10	2.10	0.00
16	15	BOVEDA	160.93	1.06	1.53	0.00	2.10	2.10	0.00
16	16	BOVEDA	160.93	1.06	1.53	0.00	2.10	2.10	0.00
17	16	BOVEDA	160.69	1.02	1.08	0.00	2.10	2.10	0.00
17	17	BOVEDA	160.69	1.02	1.08	0.00	2.10	2.10	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes



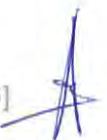
BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
18	17	BOVEDA	160.69	1.02	1.08	0.00	2.10	2.10	0.00
18	18	BOVEDA	160.69	1.02	1.08	0.00	2.10	2.10	0.00
19	18	BOVEDA	160.46	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00
19	19	BOVEDA	160.46	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00
20	19	BOVEDA	160.46	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00
20	20	BOVEDA	160.46	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00
21	20	BOVEDA	160.46	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00
21	21	BOVEDA	160.36	0.78	0.31	0.00	2.10	2.10	0.00
22	21	BOVEDA	160.36	0.78	0.31	0.00	2.10	2.10	0.00
22	22	BOVEDA	160.36	0.78	0.31	0.00	2.10	2.10	0.00
23	22	BOVEDA	160.36	0.78	0.31	0.00	2.10	2.10	0.00
23	23	BOVEDA	160.20	0.66	0.00	-0.01	2.09	2.09	0.00
24	23	BOVEDA	160.20	0.66	0.00	-0.01	2.09	2.09	0.00
24	24	BOVEDA	160.20	0.66	0.00	-0.01	2.09	2.09	0.00
25	24	BOVEDA	160.20	0.66	0.00	-0.01	2.09	2.09	0.00
25	25	BOVEDA	160.20	0.66	0.00	-0.01	2.09	2.09	0.00
26	25	BOVEDA	160.13	0.54	0.00	-0.27	2.09	2.09	0.00
26	26	BOVEDA	160.13	0.54	0.00	-0.27	2.09	2.09	0.00
27	26	BOVEDA	160.13	0.54	0.00	-0.27	2.09	2.09	0.00
27	27	BOVEDA	160.13	0.54	0.00	-0.27	2.09	2.09	0.00
28	27	BOVEDA	159.98	0.36	0.00	-0.47	2.09	2.09	0.00
28	28	BOVEDA	159.98	0.36	0.00	-0.47	2.09	2.09	0.00
29	28	BOVEDA	159.98	0.36	0.00	-0.47	2.09	2.09	0.00
29	29	BOVEDA	159.98	0.36	0.00	-0.47	2.09	2.09	0.00
30	29	BOVEDA	160.01	0.25	0.00	-0.60	2.09	2.09	0.00
30	30	BOVEDA	160.01	0.25	0.00	-0.60	2.09	2.09	0.00
31	30	BOVEDA	160.01	0.25	0.00	-0.60	2.09	2.09	0.00
31	31	BOVEDA	160.01	0.25	0.00	-0.60	2.09	2.09	0.00
32	31	BOVEDA	160.01	0.25	0.00	-0.60	2.09	2.09	0.00
32	32	BOVEDA	160.01	0.25	0.00	-0.71	2.09	2.09	0.00
33	32	BOVEDA	160.01	0.25	0.00	-0.71	2.09	2.09	0.00
33	33	BOVEDA	160.01	0.25	0.00	-0.71	2.09	2.09	0.00
34	33	BOVEDA	160.01	0.25	0.00	-0.71	2.09	2.09	0.00
34	34	BOVEDA	160.00	0.08	0.00	-0.79	2.09	2.09	0.00
35	34	BOVEDA	160.00	0.08	0.00	-0.79	2.09	2.09	0.00
35	35	BOVEDA	160.00	0.08	0.00	-0.79	2.09	2.09	0.00
36	35	BOVEDA	160.00	0.08	0.00	-0.79	2.09	2.09	0.00
36	36	BOVEDA	160.00	0.08	0.00	-0.79	2.09	2.09	0.00
37	36	BOVEDA	160.01	0.09	0.00	-0.78	2.09	2.09	0.00
37	37	BOVEDA	160.01	0.09	0.00	-0.78	2.09	2.09	0.00
38	37	BOVEDA	160.01	0.09	0.00	-0.78	2.09	2.09	0.00
38	38	BOVEDA	160.01	0.09	0.00	-0.78	2.09	2.09	0.00
39	38	BOVEDA	160.01	0.23	0.00	-0.72	2.09	2.09	0.00
39	39	BOVEDA	160.01	0.23	0.00	-0.72	2.09	2.09	0.00
40	39	BOVEDA	160.01	0.23	0.00	-0.72	2.09	2.09	0.00
40	40	BOVEDA	160.01	0.23	0.00	-0.72	2.09	2.09	0.00
41	40	BOVEDA	159.96	0.22	0.00	-0.62	2.09	2.09	0.00
41	41	BOVEDA	159.96	0.22	0.00	-0.62	2.09	2.09	0.00
42	41	BOVEDA	159.96	0.22	0.00	-0.62	2.09	2.09	0.00
42	42	BOVEDA	159.96	0.22	0.00	-0.62	2.09	2.09	0.00
43	42	BOVEDA	159.96	0.22	0.00	-0.62	2.09	2.09	0.00
43	43	BOVEDA	160.16	0.48	0.00	-0.46	2.09	2.09	0.00
44	43	BOVEDA	160.16	0.48	0.00	-0.46	2.09	2.09	0.00
44	44	BOVEDA	160.16	0.48	0.00	-0.46	2.09	2.09	0.00
45	44	BOVEDA	160.16	0.48	0.00	-0.46	2.09	2.09	0.00
45	45	BOVEDA	160.15	0.51	0.00	-0.25	2.09	2.09	0.00
46	45	BOVEDA	160.15	0.51	0.00	-0.25	2.09	2.09	0.00
46	46	BOVEDA	160.15	0.51	0.00	-0.25	2.09	2.09	0.00
47	46	BOVEDA	160.15	0.51	0.00	-0.25	2.09	2.09	0.00
47	47	BOVEDA	160.24	0.68	0.01	0.00	2.10	2.10	0.00
48	47	BOVEDA	160.24	0.68	0.01	0.00	2.10	2.10	0.00
48	48	BOVEDA	160.24	0.68	0.01	0.00	2.10	2.10	0.00
49	48	BOVEDA	160.24	0.68	0.01	0.00	2.10	2.10	0.00
49	49	BOVEDA	160.24	0.68	0.01	0.00	2.10	2.10	0.00
50	49	BOVEDA	160.32	0.71	0.32	0.00	2.10	2.10	0.00
50	50	BOVEDA	160.32	0.71	0.32	0.00	2.10	2.10	0.00
51	50	BOVEDA	160.32	0.71	0.32	0.00	2.10	2.10	0.00
51	51	BOVEDA	160.32	0.71	0.32	0.00	2.10	2.10	0.00
52	51	BOVEDA	160.45	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00
52	52	BOVEDA	160.45	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00
53	52	BOVEDA	160.45	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00
53	53	BOVEDA	160.45	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00



A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
54	53	BOVEDA	160.45	0.85	0.66	0.00	2.10	2.10	0.00
54	54	BOVEDA	160.72	1.03	1.07	0.00	2.10	2.10	0.00
55	54	BOVEDA	160.72	1.03	1.07	0.00	2.10	2.10	0.00
55	55	BOVEDA	160.72	1.03	1.07	0.00	2.10	2.10	0.00
56	55	BOVEDA	160.72	1.03	1.07	0.00	2.10	2.10	0.00
56	56	BOVEDA	160.96	1.10	1.54	0.00	2.10	2.10	0.00
57	56	BOVEDA	160.96	1.10	1.54	0.00	2.10	2.10	0.00
57	57	BOVEDA	160.96	1.10	1.54	0.00	2.10	2.10	0.00
58	57	BOVEDA	160.96	1.10	1.54	0.00	2.10	2.10	0.00
58	58	BOVEDA	161.38	1.20	2.05	0.00	2.11	2.11	0.00
59	58	BOVEDA	161.38	1.20	2.05	0.00	2.11	2.11	0.00
59	59	BOVEDA	161.38	1.20	2.05	0.00	2.11	2.11	0.00
60	59	BOVEDA	161.38	1.20	2.05	0.00	2.11	2.11	0.00
60	60	BOVEDA	161.38	1.20	2.05	0.00	2.11	2.11	0.00
61	60	BOVEDA	161.73	1.14	2.56	0.00	2.11	2.11	0.00
61	61	BOVEDA	161.73	1.14	2.56	0.00	2.11	2.11	0.00
62	61	BOVEDA	161.73	1.14	2.56	0.00	2.11	2.11	0.00
62	62	BOVEDA	161.73	1.14	2.56	0.00	2.11	2.11	0.00
63	62	BOVEDA	162.27	1.18	3.07	0.00	2.12	2.12	0.00
63	63	BOVEDA	162.27	1.18	3.07	0.00	2.12	2.12	0.00
64	63	BOVEDA	162.27	1.18	3.07	0.00	2.12	2.12	0.00
64	64	BOVEDA	162.27	1.18	3.07	0.00	2.12	2.12	0.00
65	64	BOVEDA	162.27	1.18	3.07	0.00	2.12	2.12	0.00
65	65	BOVEDA	162.88	1.03	3.56	0.00	2.13	2.13	0.00
66	65	BOVEDA	162.88	1.03	3.56	0.00	2.13	2.13	0.00
66	66	BOVEDA	162.88	1.03	3.56	0.00	2.13	2.13	0.00
66	66	BOVEDA	162.88	1.03	3.56	0.00	2.13	2.13	0.00
67	66	BOVEDA	162.88	1.03	3.56	0.00	2.13	2.13	0.00
67	67	BOVEDA	163.69	0.61	3.92	0.00	2.14	2.14	0.00
68	67	BOVEDA	163.69	0.61	3.92	0.00	2.14	2.14	0.00
68	68	BOVEDA	163.69	0.61	3.92	0.00	2.14	2.14	0.00
69	68	BOVEDA	163.69	0.61	3.92	0.00	2.14	2.14	0.00
69	69	BOVEDA	164.58	0.17	4.01	0.00	2.15	2.15	0.00
70	69	BOVEDA	164.58	0.17	4.01	0.00	2.15	2.15	0.00
70	70	BOVEDA	164.58	0.17	4.01	0.00	2.15	2.15	0.00
71	70	BOVEDA	164.58	0.17	4.01	0.00	2.15	2.15	0.00
71	71	BOVEDA	165.45	0.40	3.93	0.00	2.16	2.16	0.00
72	71	BOVEDA	165.45	0.40	3.93	0.00	2.16	2.16	0.00
72	72	BOVEDA	165.98	0.80	3.80	0.00	2.17	2.17	0.00
73	72	BOVEDA	165.98	0.80	3.80	0.00	2.17	2.17	0.00
73	73	BOVEDA	166.54	1.40	3.56	0.00	2.18	2.18	0.00
74	73	BOVEDA	166.54	1.40	3.56	0.00	2.18	2.18	0.00
74	74	BOVEDA	167.12	2.13	3.18	0.00	2.19	2.19	0.00
75	74	BOVEDA	167.12	2.13	3.18	0.00	2.19	2.19	0.00
75	75	BOVEDA	167.74	3.06	2.61	0.00	2.19	2.19	0.00
76	75	BOVEDA	167.74	3.06	2.61	0.00	2.19	2.19	0.00
76	76	BOVEDA	167.74	3.06	2.61	0.00	2.19	2.19	0.00
77	76	BOVEDA	168.39	4.21	1.81	0.00	2.20	2.20	0.00
77	77	BOVEDA	168.39	4.21	1.81	0.00	2.20	2.20	0.00
78	77	BOVEDA	169.10	5.65	0.73	0.00	2.21	2.21	0.00
78	78	BOVEDA	169.10	5.65	0.73	0.00	2.21	2.21	0.00
79	78	BOVEDA	169.86	7.38	0.00	-0.69	2.22	2.22	0.00
79	79	BOVEDA	169.86	7.38	0.00	-0.69	2.22	2.22	0.00
80	79	BOVEDA	170.66	9.41	0.00	-2.53	2.23	2.23	0.00
80	80	BOVEDA	170.66	9.41	0.00	-2.53	2.23	2.23	0.00
81	80	BOVEDA	171.46	11.72	0.00	-4.84	2.24	2.24	0.00
81	81	HASTIAL	171.46	11.72	0.00	-4.84	2.24	2.24	0.00
82	81	HASTIAL	171.46	11.72	0.00	-4.84	2.24	2.24	0.00
82	82	HASTIAL	172.26	14.45	0.00	-7.70	2.25	2.25	0.00
83	82	HASTIAL	172.26	14.45	0.00	-7.70	2.25	2.25	0.00
83	83	HASTIAL	173.23	17.62	0.00	-11.21	2.27	2.27	0.00
84	83	HASTIAL	173.23	17.62	0.00	-11.21	2.27	2.27	0.00
84	84	HASTIAL	173.76	20.90	0.00	-15.42	2.27	2.27	0.00
85	84	HASTIAL	173.76	20.90	0.00	-15.42	2.27	2.27	0.00
85	85	HASTIAL	174.95	25.25	0.00	-20.46	2.29	2.29	0.00
86	85	HASTIAL	174.95	25.25	0.00	-20.46	2.29	2.29	0.00
86	86	HASTIAL	175.70	29.26	0.00	-26.42	2.30	2.30	0.00
87	86	HASTIAL	175.70	29.26	0.00	-26.42	2.30	2.30	0.00
87	87	HASTIAL	175.70	29.26	0.00	-26.42	2.30	2.30	0.00
88	87	HASTIAL	176.64	33.87	0.00	-33.33	2.31	2.31	0.00
88	88	HASTIAL	176.64	33.87	0.00	-33.33	2.31	2.31	0.00
89	88	HASTIAL	174.52	45.29	0.00	-30.66	2.28	2.28	0.00
89	89	HASTIAL	174.52	45.29	0.00	-30.66	2.28	2.28	0.00



### A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
90	89	HASTIAL	174.52	45.29	0.00	-30.66	2.28	2.28	0.00
90	90	HASTIAL	173.02	35.96	0.00	-19.24	2.26	2.26	0.00
91	90	HASTIAL	173.02	35.96	0.00	-19.24	2.26	2.26	0.00
91	91	HASTIAL	173.02	35.96	0.00	-19.24	2.26	2.26	0.00
92	91	CONTRABOVEDA	170.92	27.58	0.00	-10.30	2.23	2.23	0.00
92	92	CONTRABOVEDA	170.92	27.58	0.00	-10.30	2.23	2.23	0.00
93	92	CONTRABOVEDA	169.62	20.90	0.00	-3.49	2.22	2.22	0.00
93	93	CONTRABOVEDA	169.62	20.90	0.00	-3.49	2.22	2.22	0.00
94	93	CONTRABOVEDA	169.62	20.90	0.00	-3.49	2.22	2.22	0.00
94	94	CONTRABOVEDA	168.39	15.39	1.62	0.00	2.20	2.20	0.00
95	94	CONTRABOVEDA	168.39	15.39	1.62	0.00	2.20	2.20	0.00
95	95	CONTRABOVEDA	168.39	15.39	1.62	0.00	2.20	2.20	0.00
96	95	CONTRABOVEDA	166.78	10.75	5.29	0.00	2.18	2.18	0.00
96	96	CONTRABOVEDA	166.78	10.75	5.29	0.00	2.18	2.18	0.00
97	96	CONTRABOVEDA	166.78	10.75	5.29	0.00	2.18	2.18	0.00
97	97	CONTRABOVEDA	166.00	7.20	7.82	0.00	2.17	2.17	0.00
98	97	CONTRABOVEDA	166.00	7.20	7.82	0.00	2.17	2.17	0.00
98	98	CONTRABOVEDA	166.00	7.20	7.82	0.00	2.17	2.17	0.00
99	98	CONTRABOVEDA	165.11	4.49	9.46	0.00	2.16	2.16	0.00
99	99	CONTRABOVEDA	165.11	4.49	9.46	0.00	2.16	2.16	0.00
100	99	CONTRABOVEDA	165.11	4.49	9.46	0.00	2.16	2.16	0.00
100	100	CONTRABOVEDA	164.26	2.58	10.46	0.00	2.15	2.15	0.00
101	100	CONTRABOVEDA	164.26	2.58	10.46	0.00	2.15	2.15	0.00
101	101	CONTRABOVEDA	163.39	1.30	11.00	0.00	2.14	2.14	0.00
102	101	CONTRABOVEDA	163.39	1.30	11.00	0.00	2.14	2.14	0.00
102	102	CONTRABOVEDA	163.39	1.30	11.00	0.00	2.14	2.14	0.00
103	102	CONTRABOVEDA	162.93	0.43	11.24	0.00	2.13	2.13	0.00
103	103	CONTRABOVEDA	162.93	0.43	11.24	0.00	2.13	2.13	0.00
104	103	CONTRABOVEDA	162.93	0.43	11.24	0.00	2.13	2.13	0.00
104	104	CONTRABOVEDA	162.49	0.08	11.29	0.00	2.12	2.12	0.00
105	104	CONTRABOVEDA	162.49	0.08	11.29	0.00	2.12	2.12	0.00
105	105	CONTRABOVEDA	162.49	0.08	11.29	0.00	2.12	2.12	0.00
106	105	CONTRABOVEDA	162.17	0.34	11.23	0.00	2.12	2.12	0.00
106	106	CONTRABOVEDA	162.17	0.34	11.23	0.00	2.12	2.12	0.00
107	106	CONTRABOVEDA	162.17	0.34	11.23	0.00	2.12	2.12	0.00
107	107	CONTRABOVEDA	161.91	0.32	11.14	0.00	2.12	2.12	0.00
108	107	CONTRABOVEDA	161.91	0.32	11.14	0.00	2.12	2.12	0.00
108	108	CONTRABOVEDA	161.74	0.20	11.07	0.00	2.11	2.11	0.00
109	108	CONTRABOVEDA	161.74	0.20	11.07	0.00	2.11	2.11	0.00
109	109	CONTRABOVEDA	161.74	0.20	11.07	0.00	2.11	2.11	0.00
110	109	CONTRABOVEDA	161.62	0.08	11.03	0.00	2.11	2.11	0.00
110	110	CONTRABOVEDA	161.62	0.08	11.03	0.00	2.11	2.11	0.00
111	110	CONTRABOVEDA	161.62	0.08	11.03	0.00	2.11	2.11	0.00
111	111	CONTRABOVEDA	161.66	0.08	11.03	0.00	2.11	2.11	0.00
112	111	CONTRABOVEDA	161.66	0.08	11.03	0.00	2.11	2.11	0.00
112	112	CONTRABOVEDA	161.66	0.08	11.03	0.00	2.11	2.11	0.00
113	112	CONTRABOVEDA	161.76	0.24	11.08	0.00	2.12	2.12	0.00
113	113	CONTRABOVEDA	161.76	0.24	11.08	0.00	2.12	2.12	0.00
114	113	CONTRABOVEDA	161.76	0.24	11.08	0.00	2.12	2.12	0.00
114	114	CONTRABOVEDA	161.92	0.32	11.16	0.00	2.12	2.12	0.00
115	114	CONTRABOVEDA	161.92	0.32	11.16	0.00	2.12	2.12	0.00
115	115	CONTRABOVEDA	162.19	0.29	11.24	0.00	2.12	2.12	0.00
116	115	CONTRABOVEDA	162.19	0.29	11.24	0.00	2.12	2.12	0.00
116	116	CONTRABOVEDA	162.19	0.29	11.24	0.00	2.12	2.12	0.00
117	116	CONTRABOVEDA	162.46	0.12	11.30	0.00	2.12	2.12	0.00
117	117	CONTRABOVEDA	162.46	0.12	11.30	0.00	2.12	2.12	0.00
118	117	CONTRABOVEDA	162.46	0.12	11.30	0.00	2.12	2.12	0.00
118	118	CONTRABOVEDA	163.00	0.44	11.26	0.00	2.13	2.13	0.00
119	118	CONTRABOVEDA	163.00	0.44	11.26	0.00	2.13	2.13	0.00
119	119	CONTRABOVEDA	163.00	0.44	11.26	0.00	2.13	2.13	0.00
120	119	CONTRABOVEDA	163.40	1.35	11.00	0.00	2.14	2.14	0.00
120	120	CONTRABOVEDA	163.40	1.35	11.00	0.00	2.14	2.14	0.00
121	120	CONTRABOVEDA	163.40	1.35	11.00	0.00	2.14	2.14	0.00
121	121	CONTRABOVEDA	164.19	2.77	10.42	0.00	2.15	2.15	0.00
122	121	CONTRABOVEDA	164.19	2.77	10.42	0.00	2.15	2.15	0.00
122	122	CONTRABOVEDA	164.19	2.77	10.42	0.00	2.15	2.15	0.00
123	122	CONTRABOVEDA	164.91	4.65	9.38	0.00	2.16	2.16	0.00
123	123	CONTRABOVEDA	164.91	4.65	9.38	0.00	2.16	2.16	0.00
124	123	CONTRABOVEDA	165.60	7.08	7.73	0.00	2.17	2.17	0.00
124	124	CONTRABOVEDA	165.60	7.08	7.73	0.00	2.17	2.17	0.00
125	124	CONTRABOVEDA	165.60	7.08	7.73	0.00	2.17	2.17	0.00
125	125	CONTRABOVEDA	166.68	10.49	5.26	0.00	2.18	2.18	0.00

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
126	125	CONTRABOVEDA	166.68	10.49	5.26	0.00	2.18	2.18	0.00
126	126	CONTRABOVEDA	166.68	10.49	5.26	0.00	2.18	2.18	0.00
127	126	CONTRABOVEDA	168.23	15.44	1.62	0.00	2.20	2.20	0.00
127	127	CONTRABOVEDA	168.23	15.44	1.62	0.00	2.20	2.20	0.00
128	127	CONTRABOVEDA	168.23	15.44	1.62	0.00	2.20	2.20	0.00
128	128	CONTRABOVEDA	169.40	20.84	0.00	-3.49	2.21	2.21	0.00
129	128	CONTRABOVEDA	169.40	20.84	0.00	-3.49	2.21	2.21	0.00
129	129	CONTRABOVEDA	169.40	20.84	0.00	-3.49	2.21	2.21	0.00
130	129	HASTIAL	171.02	27.85	0.00	-10.33	2.24	2.24	0.00
130	130	HASTIAL	171.02	27.85	0.00	-10.33	2.24	2.24	0.00
131	130	HASTIAL	172.89	36.17	0.00	-19.33	2.26	2.26	0.00
131	131	HASTIAL	172.89	36.17	0.00	-19.33	2.26	2.26	0.00
132	131	HASTIAL	172.89	36.17	0.00	-19.33	2.26	2.26	0.00
132	132	HASTIAL	174.51	45.33	0.00	-30.79	2.28	2.28	0.00
133	132	HASTIAL	174.51	45.33	0.00	-30.79	2.28	2.28	0.00
133	133	HASTIAL	174.51	45.33	0.00	-30.79	2.28	2.28	0.00
134	133	HASTIAL	176.58	33.81	0.00	-33.47	2.31	2.31	0.00
134	134	HASTIAL	176.58	33.81	0.00	-33.47	2.31	2.31	0.00
135	134	HASTIAL	175.75	29.47	0.00	-26.55	2.30	2.30	0.00
135	135	HASTIAL	175.75	29.47	0.00	-26.55	2.30	2.30	0.00
136	135	HASTIAL	174.91	25.31	0.00	-20.56	2.29	2.29	0.00
136	136	HASTIAL	174.91	25.31	0.00	-20.56	2.29	2.29	0.00
137	136	HASTIAL	173.98	21.41	0.00	-15.45	2.27	2.27	0.00
137	137	HASTIAL	173.98	21.41	0.00	-15.45	2.27	2.27	0.00
138	137	HASTIAL	173.00	17.71	0.00	-11.17	2.26	2.26	0.00
138	138	HASTIAL	173.00	17.71	0.00	-11.17	2.26	2.26	0.00
139	138	HASTIAL	173.00	17.71	0.00	-11.17	2.26	2.26	0.00
139	139	HASTIAL	172.16	14.57	0.00	-7.65	2.25	2.25	0.00
140	139	BOVEDA	172.16	14.57	0.00	-7.65	2.25	2.25	0.00
140	140	BOVEDA	171.37	11.81	0.00	-4.76	2.24	2.24	0.00
141	140	BOVEDA	171.37	11.81	0.00	-4.76	2.24	2.24	0.00
141	141	BOVEDA	170.56	9.43	0.00	-2.44	2.23	2.23	0.00
142	141	BOVEDA	170.56	9.43	0.00	-2.44	2.23	2.23	0.00
142	142	BOVEDA	169.79	7.39	0.00	-0.60	2.22	2.22	0.00
143	142	BOVEDA	169.79	7.39	0.00	-0.60	2.22	2.22	0.00
143	143	BOVEDA	169.03	5.65	0.83	0.00	2.21	2.21	0.00
144	143	BOVEDA	169.03	5.65	0.83	0.00	2.21	2.21	0.00
144	144	BOVEDA	169.03	5.65	0.83	0.00	2.21	2.21	0.00
145	144	BOVEDA	168.32	4.20	1.90	0.00	2.20	2.20	0.00
145	145	BOVEDA	168.32	4.20	1.90	0.00	2.20	2.20	0.00
146	145	BOVEDA	167.66	3.01	2.69	0.00	2.19	2.19	0.00
146	146	BOVEDA	167.66	3.01	2.69	0.00	2.19	2.19	0.00
147	146	BOVEDA	167.03	2.06	3.25	0.00	2.18	2.18	0.00
147	147	BOVEDA	167.03	2.06	3.25	0.00	2.18	2.18	0.00
148	147	BOVEDA	166.45	1.24	3.61	0.00	2.18	2.18	0.00
148	148	BOVEDA	166.45	1.24	3.61	0.00	2.18	2.18	0.00
149	148	BOVEDA	165.98	0.74	3.83	0.00	2.17	2.17	0.00

#### 4.2.3.2 Hipótesis 2

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
1	1	BOVEDA	279.70	0.20	4.03	0.00	3.66	3.66	0.00
2	1	BOVEDA	279.70	0.20	4.03	0.00	3.66	3.66	0.00
2	2	BOVEDA	279.70	0.20	4.03	0.00	3.66	3.66	0.00
3	2	BOVEDA	279.70	0.20	4.03	0.00	3.66	3.66	0.00
3	3	BOVEDA	279.70	0.20	4.03	0.00	3.66	3.66	0.00
4	3	BOVEDA	278.24	0.61	3.94	0.00	3.64	3.64	0.00
4	4	BOVEDA	278.24	0.61	3.94	0.00	3.64	3.64	0.00
5	4	BOVEDA	278.24	0.61	3.94	0.00	3.64	3.64	0.00
5	5	BOVEDA	278.24	0.61	3.94	0.00	3.64	3.64	0.00
6	5	BOVEDA	276.93	1.06	3.57	0.00	3.62	3.62	0.00
6	6	BOVEDA	276.93	1.06	3.57	0.00	3.62	3.62	0.00
7	6	BOVEDA	276.93	1.06	3.57	0.00	3.62	3.62	0.00
7	7	BOVEDA	276.93	1.06	3.57	0.00	3.62	3.62	0.00
8	7	BOVEDA	275.83	1.19	3.08	0.00	3.61	3.61	0.00
8	8	BOVEDA	275.83	1.19	3.08	0.00	3.61	3.61	0.00
9	8	BOVEDA	275.83	1.19	3.08	0.00	3.61	3.61	0.00
9	9	BOVEDA	275.83	1.19	3.08	0.00	3.61	3.61	0.00
10	9	BOVEDA	275.83	1.19	3.08	0.00	3.61	3.61	0.00





BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+(m·t)	MD-(m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
10	10	BOVEDA	274.94	1.17	2.56	0.00	3.60	3.60	0.00
11	10	BOVEDA	274.94	1.17	2.56	0.00	3.60	3.60	0.00
11	11	BOVEDA	274.94	1.17	2.56	0.00	3.60	3.60	0.00
12	11	BOVEDA	274.94	1.17	2.56	0.00	3.60	3.60	0.00
12	12	BOVEDA	274.33	1.23	2.03	0.00	3.59	3.59	0.00
13	12	BOVEDA	274.33	1.23	2.03	0.00	3.59	3.59	0.00
13	13	BOVEDA	274.33	1.23	2.03	0.00	3.59	3.59	0.00
14	13	BOVEDA	274.33	1.23	2.03	0.00	3.59	3.59	0.00
14	14	BOVEDA	274.33	1.23	2.03	0.00	3.59	3.59	0.00
15	14	BOVEDA	273.58	1.06	1.53	0.00	3.58	3.58	0.00
15	15	BOVEDA	273.58	1.06	1.53	0.00	3.58	3.58	0.00
16	15	BOVEDA	273.58	1.06	1.53	0.00	3.58	3.58	0.00
16	16	BOVEDA	273.58	1.06	1.53	0.00	3.58	3.58	0.00
17	16	BOVEDA	273.17	1.02	1.08	0.00	3.57	3.57	0.00
17	17	BOVEDA	273.17	1.02	1.08	0.00	3.57	3.57	0.00
18	17	BOVEDA	273.17	1.02	1.08	0.00	3.57	3.57	0.00
18	18	BOVEDA	273.17	1.02	1.08	0.00	3.57	3.57	0.00
19	18	BOVEDA	272.78	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
19	19	BOVEDA	272.78	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
20	19	BOVEDA	272.78	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
20	20	BOVEDA	272.78	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
21	20	BOVEDA	272.78	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
21	21	BOVEDA	272.61	0.78	0.31	0.00	3.56	3.56	0.00
22	21	BOVEDA	272.61	0.78	0.31	0.00	3.56	3.56	0.00
22	22	BOVEDA	272.61	0.78	0.31	0.00	3.56	3.56	0.00
23	22	BOVEDA	272.61	0.78	0.31	0.00	3.56	3.56	0.00
23	23	BOVEDA	272.34	0.66	0.00	-0.01	3.56	3.56	0.00
24	23	BOVEDA	272.34	0.66	0.00	-0.01	3.56	3.56	0.00
24	24	BOVEDA	272.34	0.66	0.00	-0.01	3.56	3.56	0.00
25	24	BOVEDA	272.34	0.66	0.00	-0.01	3.56	3.56	0.00
25	25	BOVEDA	272.34	0.66	0.00	-0.01	3.56	3.56	0.00
26	25	BOVEDA	272.22	0.54	0.00	-0.27	3.56	3.56	0.00
26	26	BOVEDA	272.22	0.54	0.00	-0.27	3.56	3.56	0.00
27	26	BOVEDA	272.22	0.54	0.00	-0.27	3.56	3.56	0.00
27	27	BOVEDA	272.22	0.54	0.00	-0.27	3.56	3.56	0.00
28	27	BOVEDA	271.97	0.36	0.00	-0.47	3.56	3.56	0.00
28	28	BOVEDA	271.97	0.36	0.00	-0.47	3.56	3.56	0.00
29	28	BOVEDA	271.97	0.36	0.00	-0.47	3.56	3.56	0.00
29	29	BOVEDA	271.97	0.36	0.00	-0.47	3.56	3.56	0.00
30	29	BOVEDA	272.02	0.25	0.00	-0.60	3.56	3.56	0.00
30	30	BOVEDA	272.02	0.25	0.00	-0.60	3.56	3.56	0.00
31	30	BOVEDA	272.02	0.25	0.00	-0.60	3.56	3.56	0.00
31	31	BOVEDA	272.02	0.25	0.00	-0.60	3.56	3.56	0.00
32	31	BOVEDA	272.02	0.25	0.00	-0.60	3.56	3.56	0.00
32	32	BOVEDA	272.02	0.25	0.00	-0.71	3.56	3.56	0.00
33	32	BOVEDA	272.02	0.25	0.00	-0.71	3.56	3.56	0.00
33	33	BOVEDA	272.02	0.25	0.00	-0.71	3.56	3.56	0.00
34	33	BOVEDA	272.02	0.25	0.00	-0.71	3.56	3.56	0.00
34	34	BOVEDA	272.00	0.08	0.00	-0.79	3.56	3.56	0.00
35	34	BOVEDA	272.00	0.08	0.00	-0.79	3.56	3.56	0.00
35	35	BOVEDA	272.00	0.08	0.00	-0.79	3.56	3.56	0.00
36	35	BOVEDA	272.00	0.08	0.00	-0.79	3.56	3.56	0.00
36	36	BOVEDA	272.00	0.08	0.00	-0.79	3.56	3.56	0.00
37	36	BOVEDA	272.02	0.09	0.00	-0.78	3.56	3.56	0.00
37	37	BOVEDA	272.02	0.09	0.00	-0.78	3.56	3.56	0.00
38	37	BOVEDA	272.02	0.09	0.00	-0.78	3.56	3.56	0.00
38	38	BOVEDA	272.02	0.09	0.00	-0.78	3.56	3.56	0.00
39	38	BOVEDA	272.02	0.23	0.00	-0.72	3.56	3.56	0.00
39	39	BOVEDA	272.02	0.23	0.00	-0.72	3.56	3.56	0.00
40	39	BOVEDA	272.02	0.23	0.00	-0.72	3.56	3.56	0.00
40	40	BOVEDA	272.02	0.23	0.00	-0.72	3.56	3.56	0.00
41	40	BOVEDA	271.93	0.22	0.00	-0.62	3.56	3.56	0.00
41	41	BOVEDA	271.93	0.22	0.00	-0.62	3.56	3.56	0.00
42	41	BOVEDA	271.93	0.22	0.00	-0.62	3.56	3.56	0.00
42	42	BOVEDA	271.93	0.22	0.00	-0.62	3.56	3.56	0.00
43	42	BOVEDA	271.93	0.22	0.00	-0.62	3.56	3.56	0.00
43	43	BOVEDA	272.27	0.48	0.00	-0.46	3.56	3.56	0.00
44	43	BOVEDA	272.27	0.48	0.00	-0.46	3.56	3.56	0.00
44	44	BOVEDA	272.27	0.48	0.00	-0.46	3.56	3.56	0.00
45	44	BOVEDA	272.27	0.48	0.00	-0.46	3.56	3.56	0.00
45	45	BOVEDA	272.26	0.51	0.00	-0.25	3.56	3.56	0.00
46	45	BOVEDA	272.26	0.51	0.00	-0.25	3.56	3.56	0.00



A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA

[2738] 002382

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
46	46	BOVEDA	272.26	0.51	0.00	-0.25	3.56	3.56	0.00
47	46	BOVEDA	272.26	0.51	0.00	-0.25	3.56	3.56	0.00
47	47	BOVEDA	272.41	0.68	0.01	0.00	3.56	3.56	0.00
48	47	BOVEDA	272.41	0.68	0.01	0.00	3.56	3.56	0.00
48	48	BOVEDA	272.41	0.68	0.01	0.00	3.56	3.56	0.00
49	48	BOVEDA	272.41	0.68	0.01	0.00	3.56	3.56	0.00
49	49	BOVEDA	272.41	0.68	0.01	0.00	3.56	3.56	0.00
50	49	BOVEDA	272.54	0.71	0.32	0.00	3.56	3.56	0.00
50	50	BOVEDA	272.54	0.71	0.32	0.00	3.56	3.56	0.00
51	50	BOVEDA	272.54	0.71	0.32	0.00	3.56	3.56	0.00
51	51	BOVEDA	272.54	0.71	0.32	0.00	3.56	3.56	0.00
52	51	BOVEDA	272.77	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
52	52	BOVEDA	272.77	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
53	52	BOVEDA	272.77	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
53	53	BOVEDA	272.77	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
54	53	BOVEDA	272.77	0.85	0.66	0.00	3.57	3.57	0.00
54	54	BOVEDA	273.22	1.03	1.07	0.00	3.57	3.57	0.00
55	54	BOVEDA	273.22	1.03	1.07	0.00	3.57	3.57	0.00
55	55	BOVEDA	273.22	1.03	1.07	0.00	3.57	3.57	0.00
56	55	BOVEDA	273.22	1.03	1.07	0.00	3.57	3.57	0.00
56	56	BOVEDA	273.63	1.10	1.54	0.00	3.58	3.58	0.00
57	56	BOVEDA	273.63	1.10	1.54	0.00	3.58	3.58	0.00
57	57	BOVEDA	273.63	1.10	1.54	0.00	3.58	3.58	0.00
58	57	BOVEDA	273.63	1.10	1.54	0.00	3.58	3.58	0.00
58	58	BOVEDA	274.35	1.20	2.05	0.00	3.59	3.59	0.00
59	58	BOVEDA	274.35	1.20	2.05	0.00	3.59	3.59	0.00
59	59	BOVEDA	274.35	1.20	2.05	0.00	3.59	3.59	0.00
60	59	BOVEDA	274.35	1.20	2.05	0.00	3.59	3.59	0.00
60	60	BOVEDA	274.35	1.20	2.05	0.00	3.59	3.59	0.00
61	60	BOVEDA	274.94	1.14	2.56	0.00	3.60	3.60	0.00
61	61	BOVEDA	274.94	1.14	2.56	0.00	3.60	3.60	0.00
62	61	BOVEDA	274.94	1.14	2.56	0.00	3.60	3.60	0.00
62	62	BOVEDA	274.94	1.14	2.56	0.00	3.60	3.60	0.00
63	62	BOVEDA	275.86	1.18	3.07	0.00	3.61	3.61	0.00
63	63	BOVEDA	275.86	1.18	3.07	0.00	3.61	3.61	0.00
64	63	BOVEDA	275.86	1.18	3.07	0.00	3.61	3.61	0.00
64	64	BOVEDA	275.86	1.18	3.07	0.00	3.61	3.61	0.00
65	64	BOVEDA	275.86	1.18	3.07	0.00	3.61	3.61	0.00
65	65	BOVEDA	276.90	1.03	3.56	0.00	3.62	3.62	0.00
66	65	BOVEDA	276.90	1.03	3.56	0.00	3.62	3.62	0.00
66	66	BOVEDA	276.90	1.03	3.56	0.00	3.62	3.62	0.00
67	66	BOVEDA	276.90	1.03	3.56	0.00	3.62	3.62	0.00
67	67	BOVEDA	278.27	0.61	3.92	0.00	3.64	3.64	0.00
68	67	BOVEDA	278.27	0.61	3.92	0.00	3.64	3.64	0.00
68	68	BOVEDA	278.27	0.61	3.92	0.00	3.64	3.64	0.00
69	68	BOVEDA	278.27	0.61	3.92	0.00	3.64	3.64	0.00
69	69	BOVEDA	279.79	0.17	4.01	0.00	3.66	3.66	0.00
70	69	BOVEDA	279.79	0.17	4.01	0.00	3.66	3.66	0.00
70	70	BOVEDA	279.79	0.17	4.01	0.00	3.66	3.66	0.00
71	70	BOVEDA	279.79	0.17	4.01	0.00	3.66	3.66	0.00
71	71	BOVEDA	281.27	0.40	3.93	0.00	3.68	3.68	0.00
72	71	BOVEDA	281.27	0.40	3.93	0.00	3.68	3.68	0.00
72	72	BOVEDA	282.17	0.80	3.80	0.00	3.69	3.69	0.00
73	72	BOVEDA	282.17	0.80	3.80	0.00	3.69	3.69	0.00
73	73	BOVEDA	283.12	1.40	3.56	0.00	3.70	3.70	0.00
74	73	BOVEDA	283.12	1.40	3.56	0.00	3.70	3.70	0.00
74	74	BOVEDA	284.10	2.13	3.18	0.00	3.71	3.71	0.00
75	74	BOVEDA	284.10	2.13	3.18	0.00	3.71	3.71	0.00
75	75	BOVEDA	285.16	3.06	2.61	0.00	3.73	3.73	0.00
76	75	BOVEDA	285.16	3.06	2.61	0.00	3.73	3.73	0.00
76	76	BOVEDA	285.16	3.06	2.61	0.00	3.73	3.73	0.00
77	76	BOVEDA	286.26	4.21	1.81	0.00	3.74	3.74	0.00
77	77	BOVEDA	286.26	4.21	1.81	0.00	3.74	3.74	0.00
78	77	BOVEDA	287.47	5.65	0.73	0.00	3.76	3.76	0.00
78	78	BOVEDA	287.47	5.65	0.73	0.00	3.76	3.76	0.00
79	78	BOVEDA	288.76	7.38	0.00	-0.69	3.78	3.78	0.00
79	79	BOVEDA	288.76	7.38	0.00	-0.69	3.78	3.78	0.00
80	79	BOVEDA	290.12	9.41	0.00	-2.53	3.79	3.79	0.00
80	80	BOVEDA	290.12	9.41	0.00	-2.53	3.79	3.79	0.00
81	80	BOVEDA	291.48	11.72	0.00	-4.84	3.81	3.81	0.00
81	81	HASTIAL	291.48	11.72	0.00	-4.84	3.81	3.81	0.00
82	81	HASTIAL	291.48	11.72	0.00	-4.84	3.81	3.81	0.00

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
82	82	HASTIAL	292.84	14.45	0.00	-7.70	3.83	3.83	0.00
83	82	HASTIAL	292.84	14.45	0.00	-7.70	3.83	3.83	0.00
83	83	HASTIAL	294.49	17.62	0.00	-11.21	3.85	3.85	0.00
84	83	HASTIAL	294.49	17.62	0.00	-11.21	3.85	3.85	0.00
84	84	HASTIAL	295.39	20.90	0.00	-15.42	3.86	3.86	0.00
85	84	HASTIAL	295.39	20.90	0.00	-15.42	3.86	3.86	0.00
85	85	HASTIAL	297.42	25.25	0.00	-20.46	3.89	3.89	0.00
86	85	HASTIAL	297.42	25.25	0.00	-20.46	3.89	3.89	0.00
86	86	HASTIAL	298.69	29.26	0.00	-26.42	3.91	3.91	0.00
87	86	HASTIAL	298.69	29.26	0.00	-26.42	3.91	3.91	0.00
87	87	HASTIAL	298.69	29.26	0.00	-26.42	3.91	3.91	0.00
88	87	HASTIAL	300.29	33.87	0.00	-33.33	3.93	3.93	0.00
88	88	HASTIAL	300.29	33.87	0.00	-33.33	3.93	3.93	0.00
89	88	HASTIAL	296.68	45.29	0.00	-30.66	3.88	3.88	0.00
89	89	HASTIAL	296.68	45.29	0.00	-30.66	3.88	3.88	0.00
90	89	HASTIAL	296.68	45.29	0.00	-30.66	3.88	3.88	0.00
90	90	HASTIAL	294.13	35.96	0.00	-19.24	3.85	3.85	0.00
91	90	HASTIAL	294.13	35.96	0.00	-19.24	3.85	3.85	0.00
91	91	HASTIAL	294.13	35.96	0.00	-19.24	3.85	3.85	0.00
92	91	CONTRABOVEDA	290.56	27.58	0.00	-10.30	3.80	3.80	0.00
92	92	CONTRABOVEDA	290.56	27.58	0.00	-10.30	3.80	3.80	0.00
93	92	CONTRABOVEDA	288.35	20.90	0.00	-3.49	3.77	3.77	0.00
93	93	CONTRABOVEDA	288.35	20.90	0.00	-3.49	3.77	3.77	0.00
94	93	CONTRABOVEDA	288.35	20.90	0.00	-3.49	3.77	3.77	0.00
94	94	CONTRABOVEDA	286.26	15.39	1.62	0.00	3.74	3.74	0.00
95	94	CONTRABOVEDA	286.26	15.39	1.62	0.00	3.74	3.74	0.00
95	95	CONTRABOVEDA	286.26	15.39	1.62	0.00	3.74	3.74	0.00
96	95	CONTRABOVEDA	283.53	10.75	5.29	0.00	3.71	3.71	0.00
96	96	CONTRABOVEDA	283.53	10.75	5.29	0.00	3.71	3.71	0.00
97	96	CONTRABOVEDA	283.53	10.75	5.29	0.00	3.71	3.71	0.00
97	97	CONTRABOVEDA	282.20	7.20	7.82	0.00	3.69	3.69	0.00
98	97	CONTRABOVEDA	282.20	7.20	7.82	0.00	3.69	3.69	0.00
98	98	CONTRABOVEDA	282.20	7.20	7.82	0.00	3.69	3.69	0.00
99	98	CONTRABOVEDA	280.69	4.49	9.46	0.00	3.67	3.67	0.00
99	99	CONTRABOVEDA	280.69	4.49	9.46	0.00	3.67	3.67	0.00
100	99	CONTRABOVEDA	280.69	4.49	9.46	0.00	3.67	3.67	0.00
100	100	CONTRABOVEDA	279.24	2.58	10.46	0.00	3.65	3.65	0.00
101	100	CONTRABOVEDA	279.24	2.58	10.46	0.00	3.65	3.65	0.00
101	101	CONTRABOVEDA	277.76	1.30	11.00	0.00	3.63	3.63	0.00
102	101	CONTRABOVEDA	277.76	1.30	11.00	0.00	3.63	3.63	0.00
102	102	CONTRABOVEDA	277.76	1.30	11.00	0.00	3.63	3.63	0.00
103	102	CONTRABOVEDA	276.98	0.43	11.24	0.00	3.62	3.62	0.00
103	103	CONTRABOVEDA	276.98	0.43	11.24	0.00	3.62	3.62	0.00
104	103	CONTRABOVEDA	276.98	0.43	11.24	0.00	3.62	3.62	0.00
104	104	CONTRABOVEDA	276.23	0.08	11.29	0.00	3.61	3.61	0.00
105	104	CONTRABOVEDA	276.23	0.08	11.29	0.00	3.61	3.61	0.00
105	105	CONTRABOVEDA	276.23	0.08	11.29	0.00	3.61	3.61	0.00
106	105	CONTRABOVEDA	275.69	0.34	11.23	0.00	3.60	3.60	0.00
106	106	CONTRABOVEDA	275.69	0.34	11.23	0.00	3.60	3.60	0.00
107	106	CONTRABOVEDA	275.69	0.34	11.23	0.00	3.60	3.60	0.00
107	107	CONTRABOVEDA	275.25	0.32	11.14	0.00	3.60	3.60	0.00
108	107	CONTRABOVEDA	275.25	0.32	11.14	0.00	3.60	3.60	0.00
108	108	CONTRABOVEDA	274.96	0.20	11.07	0.00	3.60	3.60	0.00
109	108	CONTRABOVEDA	274.96	0.20	11.07	0.00	3.60	3.60	0.00
109	109	CONTRABOVEDA	274.96	0.20	11.07	0.00	3.60	3.60	0.00
110	109	CONTRABOVEDA	274.75	0.08	11.03	0.00	3.59	3.59	0.00
110	110	CONTRABOVEDA	274.75	0.08	11.03	0.00	3.59	3.59	0.00
111	110	CONTRABOVEDA	274.75	0.08	11.03	0.00	3.59	3.59	0.00
111	111	CONTRABOVEDA	274.82	0.08	11.03	0.00	3.59	3.59	0.00
112	111	CONTRABOVEDA	274.82	0.08	11.03	0.00	3.59	3.59	0.00
112	112	CONTRABOVEDA	274.82	0.08	11.03	0.00	3.59	3.59	0.00
113	112	CONTRABOVEDA	274.99	0.24	11.08	0.00	3.60	3.60	0.00
113	113	CONTRABOVEDA	274.99	0.24	11.08	0.00	3.60	3.60	0.00
114	113	CONTRABOVEDA	274.99	0.24	11.08	0.00	3.60	3.60	0.00
114	114	CONTRABOVEDA	275.26	0.32	11.16	0.00	3.60	3.60	0.00
115	114	CONTRABOVEDA	275.26	0.32	11.16	0.00	3.60	3.60	0.00
115	115	CONTRABOVEDA	275.72	0.29	11.24	0.00	3.61	3.61	0.00
116	115	CONTRABOVEDA	275.72	0.29	11.24	0.00	3.61	3.61	0.00
116	116	CONTRABOVEDA	275.72	0.29	11.24	0.00	3.61	3.61	0.00
117	116	CONTRABOVEDA	276.18	0.12	11.30	0.00	3.61	3.61	0.00
117	117	CONTRABOVEDA	276.18	0.12	11.30	0.00	3.61	3.61	0.00
118	117	CONTRABOVEDA	276.18	0.12	11.30	0.00	3.61	3.61	0.00

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
118	118	CONTRABOVEDA	277.10	0.44	11.26	0.00	3.62	3.62	0.00
119	118	CONTRABOVEDA	277.10	0.44	11.26	0.00	3.62	3.62	0.00
119	119	CONTRABOVEDA	277.10	0.44	11.26	0.00	3.62	3.62	0.00
120	119	CONTRABOVEDA	277.78	1.35	11.00	0.00	3.63	3.63	0.00
120	120	CONTRABOVEDA	277.78	1.35	11.00	0.00	3.63	3.63	0.00
121	120	CONTRABOVEDA	277.78	1.35	11.00	0.00	3.63	3.63	0.00
121	121	CONTRABOVEDA	279.12	2.77	10.42	0.00	3.65	3.65	0.00
122	121	CONTRABOVEDA	279.12	2.77	10.42	0.00	3.65	3.65	0.00
122	122	CONTRABOVEDA	279.12	2.77	10.42	0.00	3.65	3.65	0.00
123	122	CONTRABOVEDA	280.35	4.65	9.38	0.00	3.67	3.67	0.00
123	123	CONTRABOVEDA	280.35	4.65	9.38	0.00	3.67	3.67	0.00
124	123	CONTRABOVEDA	281.52	7.08	7.73	0.00	3.68	3.68	0.00
124	124	CONTRABOVEDA	281.52	7.08	7.73	0.00	3.68	3.68	0.00
125	124	CONTRABOVEDA	281.52	7.08	7.73	0.00	3.68	3.68	0.00
125	125	CONTRABOVEDA	283.36	10.49	5.26	0.00	3.71	3.71	0.00
126	125	CONTRABOVEDA	283.36	10.49	5.26	0.00	3.71	3.71	0.00
126	126	CONTRABOVEDA	283.36	10.49	5.26	0.00	3.71	3.71	0.00
127	126	CONTRABOVEDA	285.99	15.44	1.62	0.00	3.74	3.74	0.00
127	127	CONTRABOVEDA	285.99	15.44	1.62	0.00	3.74	3.74	0.00
128	127	CONTRABOVEDA	285.99	15.44	1.62	0.00	3.74	3.74	0.00
128	128	CONTRABOVEDA	287.98	20.84	0.00	-3.49	3.77	3.77	0.00
129	128	CONTRABOVEDA	287.98	20.84	0.00	-3.49	3.77	3.77	0.00
129	129	CONTRABOVEDA	287.98	20.84	0.00	-3.49	3.77	3.77	0.00
130	129	HASTIAL	290.73	27.85	0.00	-10.33	3.80	3.80	0.00
130	130	HASTIAL	290.73	27.85	0.00	-10.33	3.80	3.80	0.00
131	130	HASTIAL	293.91	36.17	0.00	-19.33	3.84	3.84	0.00
131	131	HASTIAL	293.91	36.17	0.00	-19.33	3.84	3.84	0.00
132	131	HASTIAL	293.91	36.17	0.00	-19.33	3.84	3.84	0.00
132	132	HASTIAL	296.67	45.33	0.00	-30.79	3.88	3.88	0.00
133	132	HASTIAL	296.67	45.33	0.00	-30.79	3.88	3.88	0.00
133	133	HASTIAL	296.67	45.33	0.00	-30.79	3.88	3.88	0.00
134	133	HASTIAL	300.19	33.81	0.00	-33.47	3.93	3.93	0.00
134	134	HASTIAL	300.19	33.81	0.00	-33.47	3.93	3.93	0.00
135	134	HASTIAL	298.78	29.47	0.00	-26.55	3.91	3.91	0.00
135	135	HASTIAL	298.78	29.47	0.00	-26.55	3.91	3.91	0.00
136	135	HASTIAL	297.35	25.31	0.00	-20.56	3.89	3.89	0.00
136	136	HASTIAL	297.35	25.31	0.00	-20.56	3.89	3.89	0.00
137	136	HASTIAL	295.77	21.41	0.00	-15.45	3.87	3.87	0.00
137	137	HASTIAL	295.77	21.41	0.00	-15.45	3.87	3.87	0.00
138	137	HASTIAL	294.10	17.71	0.00	-11.17	3.85	3.85	0.00
138	138	HASTIAL	294.10	17.71	0.00	-11.17	3.85	3.85	0.00
139	138	HASTIAL	294.10	17.71	0.00	-11.17	3.85	3.85	0.00
139	139	HASTIAL	292.67	14.57	0.00	-7.65	3.83	3.83	0.00
140	139	BOVEDA	292.67	14.57	0.00	-7.65	3.83	3.83	0.00
140	140	BOVEDA	291.33	11.81	0.00	-4.76	3.81	3.81	0.00
141	140	BOVEDA	291.33	11.81	0.00	-4.76	3.81	3.81	0.00
141	141	BOVEDA	289.95	9.43	0.00	-2.44	3.79	3.79	0.00
142	141	BOVEDA	289.95	9.43	0.00	-2.44	3.79	3.79	0.00
142	142	BOVEDA	288.64	7.39	0.00	-0.60	3.77	3.77	0.00
143	142	BOVEDA	288.64	7.39	0.00	-0.60	3.77	3.77	0.00
143	143	BOVEDA	287.35	5.65	0.83	0.00	3.76	3.76	0.00
144	143	BOVEDA	287.35	5.65	0.83	0.00	3.76	3.76	0.00
144	144	BOVEDA	287.35	5.65	0.83	0.00	3.76	3.76	0.00
145	144	BOVEDA	286.14	4.20	1.90	0.00	3.74	3.74	0.00
145	145	BOVEDA	286.14	4.20	1.90	0.00	3.74	3.74	0.00
146	145	BOVEDA	285.02	3.01	2.69	0.00	3.73	3.73	0.00
146	146	BOVEDA	285.02	3.01	2.69	0.00	3.73	3.73	0.00
147	146	BOVEDA	283.95	2.06	3.25	0.00	3.71	3.71	0.00
147	147	BOVEDA	283.95	2.06	3.25	0.00	3.71	3.71	0.00
148	147	BOVEDA	282.97	1.24	3.61	0.00	3.70	3.70	0.00
148	148	BOVEDA	282.97	1.24	3.61	0.00	3.70	3.70	0.00
149	148	BOVEDA	282.17	0.74	3.83	0.00	3.69	3.69	0.00

4.2.3.3 Hipótesis 3

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
1	1	BOVEDA	176.29	4.52	2.96	-2.24	2.31	2.31	0.00
2	1	BOVEDA	173.77	4.67	2.96	-2.26	2.27	2.27	0.00
2	2	BOVEDA	173.77	4.67	2.96	-2.26	2.27	2.27	0.00
3	2	BOVEDA	174.87	0.99	2.96	-2.83	2.29	2.29	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
3	3	BOVEDA	174.87	0.99	2.96	-2.83	2.29	2.29	0.00
4	3	BOVEDA	173.22	3.15	2.89	-3.21	2.26	2.26	0.00
4	4	BOVEDA	173.22	3.15	2.89	-3.21	2.26	2.26	0.00
5	4	BOVEDA	173.22	3.15	2.89	-3.21	2.26	2.26	0.00
5	5	BOVEDA	174.44	1.66	2.89	-3.63	2.28	2.28	0.00
6	5	BOVEDA	173.67	1.99	2.63	-3.63	2.27	2.27	0.00
6	6	BOVEDA	172.99	3.04	2.63	-4.00	2.26	2.26	0.00
7	6	BOVEDA	172.99	3.04	2.63	-4.00	2.26	2.26	0.00
7	7	BOVEDA	174.08	1.75	2.63	-4.34	2.28	2.28	0.00
8	7	BOVEDA	173.43	1.85	2.26	-4.34	2.27	2.27	0.00
8	8	BOVEDA	172.83	2.98	2.26	-4.67	2.26	2.26	0.00
9	8	BOVEDA	172.83	2.98	2.26	-4.67	2.26	2.26	0.00
9	9	BOVEDA	173.68	1.47	2.26	-4.96	2.27	2.27	0.00
10	9	BOVEDA	173.68	1.47	2.26	-4.96	2.27	2.27	0.00
10	10	BOVEDA	172.69	2.59	1.88	-5.20	2.26	2.26	0.00
11	10	BOVEDA	172.69	2.59	1.88	-5.20	2.26	2.26	0.00
11	11	BOVEDA	173.34	0.88	1.88	-5.39	2.27	2.27	0.00
12	11	BOVEDA	173.34	0.88	1.88	-5.39	2.27	2.27	0.00
12	12	BOVEDA	172.98	0.93	1.50	-5.39	2.26	2.26	0.00
13	12	BOVEDA	172.87	2.30	1.50	-5.53	2.26	2.26	0.00
13	13	BOVEDA	172.87	2.30	1.50	-5.53	2.26	2.26	0.00
14	13	BOVEDA	173.30	1.22	1.50	-5.65	2.27	2.27	0.00
14	14	BOVEDA	173.30	1.22	1.50	-5.65	2.27	2.27	0.00
15	14	BOVEDA	172.81	1.59	1.13	-5.70	2.26	2.26	0.00
15	15	BOVEDA	172.81	1.59	1.13	-5.70	2.26	2.26	0.00
16	15	BOVEDA	172.90	1.48	1.13	-5.71	2.26	2.26	0.00
16	16	BOVEDA	172.90	1.48	1.13	-5.71	2.26	2.26	0.00
17	16	BOVEDA	172.70	1.39	0.79	-5.71	2.26	2.26	0.00
17	17	BOVEDA	172.70	1.39	0.79	-5.71	2.26	2.26	0.00
18	17	BOVEDA	172.50	1.89	0.79	-5.65	2.26	2.26	0.00
18	18	BOVEDA	172.50	1.89	0.79	-5.65	2.26	2.26	0.00
19	18	BOVEDA	172.39	0.74	0.49	-5.54	2.25	2.25	0.00
19	19	BOVEDA	172.39	0.74	0.49	-5.54	2.25	2.25	0.00
20	19	BOVEDA	171.82	2.13	0.49	-5.40	2.25	2.25	0.00
20	20	BOVEDA	171.82	2.13	0.49	-5.40	2.25	2.25	0.00
21	20	BOVEDA	171.82	2.13	0.49	-5.40	2.25	2.25	0.00
21	21	BOVEDA	172.04	0.93	0.23	-5.20	2.25	2.25	0.00
22	21	BOVEDA	172.04	0.93	0.23	-5.20	2.25	2.25	0.00
22	22	BOVEDA	171.26	2.58	0.23	-4.95	2.24	2.24	0.00
23	22	BOVEDA	171.26	2.58	0.23	-4.95	2.24	2.24	0.00
23	23	BOVEDA	171.58	1.17	0.00	-4.67	2.24	2.24	0.00
24	23	BOVEDA	171.58	1.17	0.00	-4.67	2.24	2.24	0.00
24	24	BOVEDA	170.61	2.78	0.00	-4.35	2.23	2.23	0.00
25	24	BOVEDA	170.61	2.78	0.00	-4.35	2.23	2.23	0.00
25	25	BOVEDA	171.36	1.74	0.00	-3.97	2.24	2.24	0.00
26	25	BOVEDA	171.29	1.65	0.00	-4.24	2.24	2.24	0.00
26	26	BOVEDA	170.10	2.90	0.00	-3.84	2.22	2.22	0.00
27	26	BOVEDA	170.10	2.90	0.00	-3.84	2.22	2.22	0.00
27	27	BOVEDA	170.97	1.94	0.00	-3.40	2.24	2.24	0.00
28	27	BOVEDA	170.82	1.81	0.00	-3.60	2.23	2.23	0.00
28	28	BOVEDA	169.49	3.04	0.00	-3.14	2.22	2.22	0.00
29	28	BOVEDA	169.49	3.04	0.00	-3.14	2.22	2.22	0.00
29	29	BOVEDA	169.49	3.04	0.00	-3.14	2.22	2.22	0.00
30	29	BOVEDA	170.45	1.88	0.00	-2.80	2.23	2.23	0.00
30	30	BOVEDA	170.45	1.88	0.00	-2.80	2.23	2.23	0.00
31	30	BOVEDA	168.98	3.11	0.00	-2.31	2.21	2.21	0.00
31	31	BOVEDA	168.98	3.11	0.00	-2.31	2.21	2.21	0.00
32	31	BOVEDA	169.99	2.04	0.00	-1.80	2.22	2.22	0.00
32	32	BOVEDA	169.99	2.04	0.00	-1.91	2.22	2.22	0.00
33	32	BOVEDA	168.47	3.14	0.00	-1.39	2.20	2.20	0.00
33	33	BOVEDA	168.47	3.14	0.00	-1.39	2.20	2.20	0.00
34	33	BOVEDA	169.52	2.20	0.00	-0.86	2.22	2.22	0.00
34	34	BOVEDA	169.51	2.07	0.00	-0.94	2.22	2.22	0.00
35	34	BOVEDA	167.98	3.01	0.38	-0.79	2.20	2.20	0.00
35	35	BOVEDA	167.98	3.01	0.38	-0.79	2.20	2.20	0.00
36	35	BOVEDA	168.99	2.04	0.90	-0.79	2.21	2.21	0.00
36	36	BOVEDA	168.99	2.04	0.90	-0.79	2.21	2.21	0.00
37	36	BOVEDA	169.00	2.04	0.90	-0.78	2.21	2.21	0.00
37	37	BOVEDA	167.48	2.77	1.40	-0.78	2.19	2.19	0.00
38	37	BOVEDA	167.48	2.77	1.40	-0.78	2.19	2.19	0.00
38	38	BOVEDA	168.48	2.01	1.90	-0.78	2.20	2.20	0.00
39	38	BOVEDA	168.48	2.11	1.90	-0.72	2.20	2.20	0.00



A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
39	39	BOVEDA	167.09	2.87	2.39	-0.72	2.18	2.18	0.00
40	39	BOVEDA	167.09	2.87	2.39	-0.72	2.18	2.18	0.00
40	40	BOVEDA	167.96	1.89	2.86	-0.72	2.20	2.20	0.00
41	40	BOVEDA	167.91	1.89	2.86	-0.62	2.20	2.20	0.00
41	41	BOVEDA	166.53	2.51	3.30	-0.62	2.18	2.18	0.00
42	41	BOVEDA	166.53	2.51	3.30	-0.62	2.18	2.18	0.00
42	42	BOVEDA	167.21	1.60	3.70	-0.62	2.19	2.19	0.00
43	42	BOVEDA	167.21	1.60	3.70	-0.62	2.19	2.19	0.00
43	43	BOVEDA	166.25	2.35	4.07	-0.46	2.17	2.17	0.00
44	43	BOVEDA	166.25	2.35	4.07	-0.46	2.17	2.17	0.00
44	44	BOVEDA	166.84	1.62	4.42	-0.46	2.18	2.18	0.00
45	44	BOVEDA	166.84	1.62	4.42	-0.46	2.18	2.18	0.00
45	45	BOVEDA	166.83	1.65	4.42	-0.25	2.18	2.18	0.00
46	45	BOVEDA	165.84	1.85	4.71	-0.25	2.17	2.17	0.00
46	46	BOVEDA	165.84	1.85	4.71	-0.25	2.17	2.17	0.00
47	46	BOVEDA	166.22	1.26	4.96	-0.25	2.17	2.17	0.00
47	47	BOVEDA	166.31	1.39	4.97	0.00	2.17	2.17	0.00
48	47	BOVEDA	165.59	1.52	5.17	0.00	2.17	2.17	0.00
48	48	BOVEDA	165.59	1.52	5.17	0.00	2.17	2.17	0.00
49	48	BOVEDA	165.75	0.91	5.33	0.00	2.17	2.17	0.00
49	49	BOVEDA	165.75	0.91	5.33	0.00	2.17	2.17	0.00
50	49	BOVEDA	165.38	1.09	5.65	0.00	2.16	2.16	0.00
50	50	BOVEDA	165.38	1.09	5.65	0.00	2.16	2.16	0.00
51	50	BOVEDA	165.44	0.63	5.73	0.00	2.16	2.16	0.00
51	51	BOVEDA	165.44	0.63	5.73	0.00	2.16	2.16	0.00
52	51	BOVEDA	165.36	0.87	6.02	0.00	2.16	2.16	0.00
52	52	BOVEDA	165.36	0.87	6.02	0.00	2.16	2.16	0.00
53	52	BOVEDA	165.31	0.75	6.03	0.00	2.16	2.16	0.00
53	53	BOVEDA	165.31	0.75	6.03	0.00	2.16	2.16	0.00
54	53	BOVEDA	165.31	0.75	6.03	0.00	2.16	2.16	0.00
54	54	BOVEDA	165.55	0.81	6.32	0.00	2.16	2.16	0.00
55	54	BOVEDA	165.55	0.81	6.32	0.00	2.16	2.16	0.00
55	55	BOVEDA	165.48	1.05	6.30	0.00	2.16	2.16	0.00
56	55	BOVEDA	165.48	1.05	6.30	0.00	2.16	2.16	0.00
56	56	BOVEDA	165.88	0.98	6.59	0.00	2.17	2.17	0.00
57	56	BOVEDA	165.88	0.98	6.59	0.00	2.17	2.17	0.00
57	57	BOVEDA	165.76	1.35	6.52	0.00	2.17	2.17	0.00
58	57	BOVEDA	165.76	1.35	6.52	0.00	2.17	2.17	0.00
58	58	BOVEDA	166.56	1.31	6.79	0.00	2.18	2.18	0.00
59	58	BOVEDA	166.56	1.31	6.79	0.00	2.18	2.18	0.00
59	59	BOVEDA	166.35	1.81	6.64	0.00	2.18	2.18	0.00
60	59	BOVEDA	166.35	1.81	6.64	0.00	2.18	2.18	0.00
60	60	BOVEDA	166.97	1.61	6.47	0.00	2.18	2.18	0.00
61	60	BOVEDA	167.32	1.56	6.84	0.00	2.19	2.19	0.00
61	61	BOVEDA	167.32	1.56	6.84	0.00	2.19	2.19	0.00
62	61	BOVEDA	166.99	2.18	6.62	0.00	2.18	2.18	0.00
62	62	BOVEDA	166.99	2.18	6.62	0.00	2.18	2.18	0.00
63	62	BOVEDA	168.44	2.02	6.73	0.00	2.20	2.20	0.00
63	63	BOVEDA	168.44	2.02	6.73	0.00	2.20	2.20	0.00
64	63	BOVEDA	167.93	2.68	6.42	0.00	2.20	2.20	0.00
64	64	BOVEDA	167.93	2.68	6.42	0.00	2.20	2.20	0.00
65	64	BOVEDA	169.07	2.60	6.04	0.00	2.21	2.21	0.00
65	65	BOVEDA	169.68	2.49	6.40	0.00	2.22	2.22	0.00
66	65	BOVEDA	168.98	2.23	6.06	0.00	2.21	2.21	0.00
66	66	BOVEDA	168.98	2.23	6.06	0.00	2.21	2.21	0.00
67	66	BOVEDA	170.06	5.26	5.42	0.00	2.22	2.22	0.00
67	67	BOVEDA	170.87	4.95	5.68	0.00	2.23	2.23	0.00
68	67	BOVEDA	172.17	5.60	5.75	0.00	2.25	2.25	0.00
68	68	BOVEDA	172.17	5.60	5.75	0.00	2.25	2.25	0.00
69	68	BOVEDA	173.15	23.04	5.11	0.00	2.26	2.26	0.00
69	69	BOVEDA	174.68	35.43	5.85	0.00	2.28	2.28	0.00
70	69	BOVEDA	175.32	43.50	5.43	0.00	2.29	2.29	0.00
70	70	BOVEDA	175.97	22.48	4.32	0.00	2.30	2.30	0.00
71	70	BOVEDA	176.61	17.09	4.61	0.00	2.31	2.31	0.00
71	71	BOVEDA	178.13	0.80	3.68	0.00	2.33	2.33	0.00
72	71	BOVEDA	178.77	2.71	3.58	0.00	2.34	2.34	0.00
72	72	BOVEDA	179.95	5.35	3.11	0.00	2.35	2.35	0.00
73	72	BOVEDA	180.59	3.70	2.80	-0.11	2.36	2.36	0.00
73	73	BOVEDA	181.79	2.90	2.62	-0.37	2.38	2.38	0.00
74	73	BOVEDA	182.44	12.05	2.62	-1.05	2.39	2.39	0.00
74	74	BOVEDA	183.66	5.85	2.34	-1.40	2.40	2.40	0.00
75	74	BOVEDA	183.66	5.85	2.34	-1.40	2.40	2.40	0.00

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
75	75	BOVEDA	184.93	13.81	1.92	-1.78	2.42	2.42	0.00
76	75	BOVEDA	185.57	8.32	1.92	-2.07	2.43	2.43	0.00
76	76	BOVEDA	186.22	5.39	1.92	-1.92	2.43	2.43	0.00
77	76	BOVEDA	187.51	11.29	1.33	-2.52	2.45	2.45	0.00
77	77	BOVEDA	188.15	11.21	1.33	-3.37	2.46	2.46	0.00
78	77	BOVEDA	189.51	10.75	0.54	-4.15	2.48	2.48	0.00
78	78	BOVEDA	190.15	8.45	0.54	-4.72	2.49	2.49	0.00
79	78	BOVEDA	191.56	27.68	0.00	-4.47	2.50	2.50	0.00
79	79	BOVEDA	192.20	52.67	0.00	-5.78	2.51	2.51	5.21
80	79	BOVEDA	193.65	47.48	0.00	-7.97	2.53	2.53	0.00
80	80	BOVEDA	194.29	30.77	0.00	-7.09	2.54	2.54	0.00
81	80	BOVEDA	195.73	38.07	0.00	-12.21	2.56	2.56	0.00
81	81	HASTIAL	196.38	71.54	0.00	-10.44	2.57	2.57	7.40
82	81	HASTIAL	197.02	100.31	0.00	-11.96	2.58	2.58	25.13
82	82	HASTIAL	198.47	98.76	0.00	-15.01	2.60	2.60	24.05
83	82	HASTIAL	199.11	69.96	0.00	-13.49	2.60	2.60	6.19
83	83	HASTIAL	200.73	22.29	0.00	-20.61	2.62	2.62	0.00
84	83	HASTIAL	201.37	59.93	0.00	-18.63	2.63	2.63	0.00
84	84	HASTIAL	202.54	47.52	0.00	-22.06	2.65	2.65	0.00
85	84	HASTIAL	202.54	47.52	0.00	-22.06	2.65	2.65	0.00
85	85	HASTIAL	204.38	41.88	0.00	-30.03	2.67	2.67	0.00
86	85	HASTIAL	205.12	52.27	0.00	-28.95	2.68	2.68	0.00
86	86	HASTIAL	206.71	24.19	0.00	-32.79	2.70	2.70	0.00
87	86	HASTIAL	207.54	27.24	0.00	-33.37	2.71	2.71	0.00
87	87	HASTIAL	207.54	27.24	0.00	-33.37	2.71	2.71	0.00
88	87	HASTIAL	209.32	44.72	0.00	-39.31	2.74	2.74	0.00
88	88	HASTIAL	210.16	40.40	0.00	-39.01	2.75	2.75	0.00
89	88	HASTIAL	208.04	48.80	0.00	-36.35	2.72	2.72	0.00
89	89	HASTIAL	184.92	43.29	0.00	-36.72	2.42	2.42	0.00
90	89	HASTIAL	184.86	53.22	0.00	-37.40	2.42	2.42	0.00
90	90	HASTIAL	183.30	54.68	0.00	-25.41	2.40	2.40	0.00
91	90	HASTIAL	183.30	54.68	0.00	-25.41	2.40	2.40	0.00
91	91	HASTIAL	183.24	51.07	0.00	-25.16	2.40	2.40	0.00
92	91	CONTRABOVEDA	181.08	46.28	0.00	-16.13	2.37	2.37	0.00
92	92	CONTRABOVEDA	181.02	52.47	0.00	-16.56	2.37	2.37	0.00
93	92	CONTRABOVEDA	179.72	47.56	0.00	-9.74	2.35	2.35	0.00
93	93	CONTRABOVEDA	179.66	32.94	0.00	-10.74	2.35	2.35	0.00
94	93	CONTRABOVEDA	179.60	18.19	0.00	-9.73	2.35	2.35	0.00
94	94	CONTRABOVEDA	178.31	23.53	1.19	-5.60	2.33	2.33	0.00
95	94	CONTRABOVEDA	178.31	23.53	1.19	-5.60	2.33	2.33	0.00
95	95	CONTRABOVEDA	178.25	16.23	1.19	-5.10	2.33	2.33	0.00
96	95	CONTRABOVEDA	176.58	10.83	3.89	-5.24	2.31	2.31	0.00
96	96	CONTRABOVEDA	176.58	10.83	3.89	-5.24	2.31	2.31	0.00
97	96	CONTRABOVEDA	176.52	14.39	3.89	-4.60	2.31	2.31	0.00
97	97	CONTRABOVEDA	175.68	7.61	5.75	-4.31	2.30	2.30	0.00
98	97	CONTRABOVEDA	175.62	7.94	5.75	-4.29	2.30	2.30	0.00
98	98	CONTRABOVEDA	175.62	7.94	5.75	-4.29	2.30	2.30	0.00
99	98	CONTRABOVEDA	174.67	11.06	6.96	-3.58	2.28	2.28	0.00
99	99	CONTRABOVEDA	174.61	7.45	6.96	-3.33	2.28	2.28	0.00
100	99	CONTRABOVEDA	174.54	6.38	6.96	-3.41	2.28	2.28	0.00
100	100	CONTRABOVEDA	173.69	4.98	7.69	-3.41	2.27	2.27	0.00
101	100	CONTRABOVEDA	173.63	8.25	7.69	-2.76	2.27	2.27	0.00
101	101	CONTRABOVEDA	172.70	5.05	8.09	-2.05	2.26	2.26	0.00
102	101	CONTRABOVEDA	172.70	5.05	8.09	-2.05	2.26	2.26	0.00
102	102	CONTRABOVEDA	172.64	3.07	8.09	-1.62	2.26	2.26	0.00
103	102	CONTRABOVEDA	172.12	1.59	8.27	-1.39	2.25	2.25	0.00
103	103	CONTRABOVEDA	172.06	4.18	8.27	-1.04	2.25	2.25	0.00
104	103	CONTRABOVEDA	172.06	4.18	8.27	-1.04	2.25	2.25	0.00
104	104	CONTRABOVEDA	171.56	1.73	8.30	-0.66	2.24	2.24	0.00
105	104	CONTRABOVEDA	171.50	3.34	8.30	-0.32	2.24	2.24	0.00
105	105	CONTRABOVEDA	171.44	4.42	8.50	0.00	2.24	2.24	0.00
106	105	CONTRABOVEDA	171.12	4.61	8.46	0.00	2.24	2.24	0.00
106	106	CONTRABOVEDA	171.06	3.29	8.55	0.00	2.24	2.24	0.00
107	106	CONTRABOVEDA	171.00	13.54	9.25	0.00	2.24	2.24	0.00
107	107	CONTRABOVEDA	170.68	10.40	9.39	0.00	2.23	2.23	0.00
108	107	CONTRABOVEDA	170.68	10.40	9.39	0.00	2.23	2.23	0.00
108	108	CONTRABOVEDA	170.45	12.05	9.46	0.00	2.23	2.23	0.00
109	108	CONTRABOVEDA	170.39	3.82	10.02	0.00	2.23	2.23	0.00
109	109	CONTRABOVEDA	170.39	3.82	10.02	0.00	2.23	2.23	0.00
110	109	CONTRABOVEDA	170.21	7.49	10.25	0.00	2.23	2.23	0.00
110	110	CONTRABOVEDA	170.15	0.31	10.74	0.00	2.22	2.22	0.00
111	110	CONTRABOVEDA	165.26	3.35	10.95	0.00	2.16	2.16	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
111	111	CONTRABOVEDA	165.30	3.36	10.95	0.00	2.16	2.16	0.00
112	111	CONTRABOVEDA	164.55	0.33	11.19	0.00	2.15	2.15	0.00
112	112	CONTRABOVEDA	163.81	0.64	11.25	0.00	2.14	2.14	0.00
113	112	CONTRABOVEDA	163.16	6.02	11.72	0.00	2.13	2.13	0.00
113	113	CONTRABOVEDA	163.16	6.02	11.72	0.00	2.13	2.13	0.00
114	113	CONTRABOVEDA	162.41	6.11	12.53	0.00	2.12	2.12	0.00
114	114	CONTRABOVEDA	161.83	2.78	13.17	0.00	2.12	2.12	0.00
115	114	CONTRABOVEDA	161.08	8.02	12.81	0.00	2.11	2.11	0.00
115	115	CONTRABOVEDA	161.35	8.01	12.87	0.00	2.11	2.11	0.00
116	115	CONTRABOVEDA	160.61	9.66	12.98	0.00	2.10	2.10	0.00
116	116	CONTRABOVEDA	159.86	0.98	13.58	0.00	2.09	2.09	0.00
117	116	CONTRABOVEDA	160.13	0.85	13.62	0.00	2.09	2.09	0.00
117	117	CONTRABOVEDA	159.39	2.67	13.39	0.00	2.08	2.08	0.00
118	117	CONTRABOVEDA	158.64	5.17	13.56	0.00	2.07	2.07	0.00
118	118	CONTRABOVEDA	158.43	2.24	14.01	0.00	2.07	2.07	0.00
119	118	CONTRABOVEDA	158.43	2.24	14.01	0.00	2.07	2.07	0.00
119	119	CONTRABOVEDA	157.69	7.64	13.64	0.00	2.06	2.06	0.00
120	119	CONTRABOVEDA	157.34	12.65	13.75	0.00	2.06	2.06	0.00
120	120	CONTRABOVEDA	156.60	6.01	14.21	0.00	2.05	2.05	0.00
121	120	CONTRABOVEDA	156.60	6.01	14.21	0.00	2.05	2.05	0.00
121	121	CONTRABOVEDA	156.64	16.11	14.40	0.00	2.05	2.05	0.00
122	121	CONTRABOVEDA	155.89	30.20	13.44	0.00	2.04	2.04	0.00
122	122	CONTRABOVEDA	155.89	30.20	13.44	0.00	2.04	2.04	0.00
123	122	CONTRABOVEDA	155.87	19.73	11.86	0.00	2.04	2.04	0.00
123	123	CONTRABOVEDA	155.12	16.08	12.11	0.00	2.03	2.03	0.00
124	123	CONTRABOVEDA	155.07	17.49	10.87	0.00	2.03	2.03	0.00
124	124	CONTRABOVEDA	155.07	17.49	10.87	0.00	2.03	2.03	0.00
125	124	CONTRABOVEDA	154.32	15.42	11.01	0.00	2.02	2.02	0.00
125	125	CONTRABOVEDA	154.47	98.59	11.60	0.00	2.02	2.02	27.78
126	125	CONTRABOVEDA	154.09	146.74	9.96	0.00	2.01	2.01	57.58
126	126	CONTRABOVEDA	153.35	102.48	10.42	0.00	2.01	2.01	30.28
127	126	CONTRABOVEDA	154.53	87.93	7.12	0.00	2.02	2.02	21.18
127	127	CONTRABOVEDA	170.62	57.08	6.61	0.00	2.23	2.23	0.71
128	127	CONTRABOVEDA	171.23	47.79	5.98	0.00	2.24	2.24	0.00
128	128	CONTRABOVEDA	172.40	51.76	4.79	-3.49	2.25	2.25	0.00
129	128	CONTRABOVEDA	182.86	41.81	5.47	-3.49	2.39	2.39	0.00
129	129	CONTRABOVEDA	182.90	36.26	4.76	-3.49	2.39	2.39	0.00
130	129	HASTIAL	184.54	49.79	4.32	-10.33	2.41	2.41	0.00
130	130	HASTIAL	184.57	56.64	4.68	-10.33	2.41	2.41	0.00
131	130	HASTIAL	186.47	39.78	5.89	-19.33	2.44	2.44	0.00
131	131	HASTIAL	186.50	53.40	3.79	-19.33	2.44	2.44	0.00
132	131	HASTIAL	186.52	79.37	5.15	-19.33	2.44	2.44	13.10
132	132	HASTIAL	188.17	94.69	4.70	-30.79	2.46	2.46	22.43
133	132	HASTIAL	188.20	77.41	3.79	-30.79	2.46	2.46	11.74
133	133	HASTIAL	188.23	50.88	5.19	-30.79	2.46	2.46	0.00
134	133	HASTIAL	190.30	42.41	5.19	-33.47	2.49	2.49	0.00
134	134	HASTIAL	190.33	43.39	3.29	-33.47	2.49	2.49	0.00
135	134	HASTIAL	189.52	53.21	3.97	-26.55	2.48	2.48	0.00
135	135	HASTIAL	189.55	56.96	3.77	-26.55	2.48	2.48	0.00
136	135	HASTIAL	188.74	36.78	2.87	-20.56	2.47	2.47	0.00
136	136	HASTIAL	188.77	22.56	3.62	-20.56	2.47	2.47	0.00
137	136	HASTIAL	187.87	18.72	3.26	-15.45	2.46	2.46	0.00
137	137	HASTIAL	187.89	23.12	2.71	-15.45	2.46	2.46	0.00
138	137	HASTIAL	179.22	17.53	2.09	-11.17	2.34	2.34	0.00
138	138	HASTIAL	179.15	17.00	1.64	-11.17	2.34	2.34	0.00
139	138	HASTIAL	179.08	20.23	1.81	-11.17	2.34	2.34	0.00
139	139	HASTIAL	178.17	22.16	1.59	-7.65	2.33	2.33	0.00
140	139	BOVEDA	178.10	17.05	1.32	-7.65	2.33	2.33	0.00
140	140	BOVEDA	177.25	19.98	1.06	-4.76	2.32	2.32	0.00
141	140	BOVEDA	177.18	9.42	0.50	-4.76	2.32	2.32	0.00
141	141	BOVEDA	176.30	11.48	0.30	-2.44	2.31	2.31	0.00
142	141	BOVEDA	176.23	8.79	0.00	-2.47	2.30	2.30	0.00
142	142	BOVEDA	175.39	9.52	0.00	-0.94	2.29	2.29	0.00
143	142	BOVEDA	175.32	7.11	0.00	-1.07	2.29	2.29	0.00
143	143	BOVEDA	174.50	18.13	0.61	-1.12	2.28	2.28	0.00
144	143	BOVEDA	174.50	18.13	0.61	-1.12	2.28	2.28	0.00
144	144	BOVEDA	174.43	21.56	0.61	-0.94	2.28	2.28	0.00
145	144	BOVEDA	173.65	37.48	1.40	-1.83	2.27	2.27	0.00
145	145	BOVEDA	173.58	31.06	1.40	-2.17	2.27	2.27	0.00
146	145	BOVEDA	172.85	21.35	1.98	-1.70	2.26	2.26	0.00
146	146	BOVEDA	172.85	21.35	1.98	-1.70	2.26	2.26	0.00
147	146	BOVEDA	172.22	20.65	2.39	-1.70	2.25	2.25	0.00





BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
147	147	BOVEDA	172.22	20.65	2.39	-1.70	2.25	2.25	0.00
148	147	BOVEDA	171.64	20.05	2.65	-1.70	2.24	2.24	0.00
148	148	BOVEDA	171.64	20.05	2.65	-1.70	2.24	2.24	0.00
149	148	BOVEDA	171.17	19.68	2.81	-1.70	2.24	2.24	0.00

#### 4.2.3.4 Hipótesis 4

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
1	1	BOVEDA	217.42	4.52	2.96	-2.24	2.84	2.84	0.00
2	1	BOVEDA	214.91	4.67	2.96	-2.26	2.81	2.81	0.00
2	2	BOVEDA	214.91	4.67	2.96	-2.26	2.81	2.81	0.00
3	2	BOVEDA	216.00	0.99	2.96	-2.83	2.82	2.82	0.00
3	3	BOVEDA	216.00	0.99	2.96	-2.83	2.82	2.82	0.00
4	3	BOVEDA	214.13	3.15	2.89	-3.21	2.80	2.80	0.00
4	4	BOVEDA	214.13	3.15	2.89	-3.21	2.80	2.80	0.00
5	4	BOVEDA	214.13	3.15	2.89	-3.21	2.80	2.80	0.00
5	5	BOVEDA	215.36	1.66	2.89	-3.63	2.82	2.82	0.00
6	5	BOVEDA	214.40	1.99	2.63	-3.63	2.80	2.80	0.00
6	6	BOVEDA	213.72	3.04	2.63	-4.00	2.79	2.79	0.00
7	6	BOVEDA	213.72	3.04	2.63	-4.00	2.79	2.79	0.00
7	7	BOVEDA	214.81	1.75	2.63	-4.34	2.81	2.81	0.00
8	7	BOVEDA	214.00	1.85	2.26	-4.34	2.80	2.80	0.00
8	8	BOVEDA	213.39	2.98	2.26	-4.67	2.79	2.79	0.00
9	8	BOVEDA	213.39	2.98	2.26	-4.67	2.79	2.79	0.00
9	9	BOVEDA	214.24	1.47	2.26	-4.96	2.80	2.80	0.00
10	9	BOVEDA	214.24	1.47	2.26	-4.96	2.80	2.80	0.00
10	10	BOVEDA	213.12	2.59	1.88	-5.20	2.79	2.79	0.00
11	10	BOVEDA	213.12	2.59	1.88	-5.20	2.79	2.79	0.00
11	11	BOVEDA	213.77	0.88	1.88	-5.39	2.80	2.80	0.00
12	11	BOVEDA	213.77	0.88	1.88	-5.39	2.80	2.80	0.00
12	12	BOVEDA	213.32	0.93	1.50	-5.39	2.79	2.79	0.00
13	12	BOVEDA	213.21	2.30	1.50	-5.53	2.79	2.79	0.00
13	13	BOVEDA	213.21	2.30	1.50	-5.53	2.79	2.79	0.00
14	13	BOVEDA	213.64	1.22	1.50	-5.65	2.79	2.79	0.00
14	14	BOVEDA	213.64	1.22	1.50	-5.65	2.79	2.79	0.00
15	14	BOVEDA	213.04	1.59	1.13	-5.70	2.79	2.79	0.00
15	15	BOVEDA	213.04	1.59	1.13	-5.70	2.79	2.79	0.00
16	15	BOVEDA	213.13	1.48	1.13	-5.71	2.79	2.79	0.00
16	16	BOVEDA	213.13	1.48	1.13	-5.71	2.79	2.79	0.00
17	16	BOVEDA	212.87	1.39	0.79	-5.71	2.78	2.78	0.00
17	17	BOVEDA	212.87	1.39	0.79	-5.71	2.78	2.78	0.00
18	17	BOVEDA	212.67	1.89	0.79	-5.65	2.78	2.78	0.00
18	18	BOVEDA	212.67	1.89	0.79	-5.65	2.78	2.78	0.00
19	18	BOVEDA	212.50	0.74	0.49	-5.54	2.78	2.78	0.00
19	19	BOVEDA	212.50	0.74	0.49	-5.54	2.78	2.78	0.00
20	19	BOVEDA	211.93	2.13	0.49	-5.40	2.77	2.77	0.00
20	20	BOVEDA	211.93	2.13	0.49	-5.40	2.77	2.77	0.00
21	20	BOVEDA	211.93	2.13	0.49	-5.40	2.77	2.77	0.00
21	21	BOVEDA	212.13	0.93	0.23	-5.20	2.77	2.77	0.00
22	21	BOVEDA	212.13	0.93	0.23	-5.20	2.77	2.77	0.00
22	22	BOVEDA	211.35	2.58	0.23	-4.95	2.76	2.76	0.00
23	22	BOVEDA	211.35	2.58	0.23	-4.95	2.76	2.76	0.00
23	23	BOVEDA	211.63	1.17	0.00	-4.67	2.77	2.77	0.00
24	23	BOVEDA	211.63	1.17	0.00	-4.67	2.77	2.77	0.00
24	24	BOVEDA	210.66	2.78	0.00	-4.35	2.75	2.75	0.00
25	24	BOVEDA	210.66	2.78	0.00	-4.35	2.75	2.75	0.00
25	25	BOVEDA	211.41	1.74	0.00	-3.97	2.76	2.76	0.00
26	25	BOVEDA	211.32	1.65	0.00	-4.24	2.76	2.76	0.00
26	26	BOVEDA	210.13	2.90	0.00	-3.84	2.75	2.75	0.00
27	26	BOVEDA	210.13	2.90	0.00	-3.84	2.75	2.75	0.00
27	27	BOVEDA	211.01	1.94	0.00	-3.40	2.76	2.76	0.00
28	27	BOVEDA	210.82	1.81	0.00	-3.60	2.76	2.76	0.00
28	28	BOVEDA	209.48	3.04	0.00	-3.14	2.74	2.74	0.00
29	28	BOVEDA	209.48	3.04	0.00	-3.14	2.74	2.74	0.00
29	29	BOVEDA	209.48	3.04	0.00	-3.14	2.74	2.74	0.00
30	29	BOVEDA	210.45	1.88	0.00	-2.80	2.75	2.75	0.00
30	30	BOVEDA	210.45	1.88	0.00	-2.80	2.75	2.75	0.00
31	30	BOVEDA	208.98	3.11	0.00	-2.31	2.73	2.73	0.00
31	31	BOVEDA	208.98	3.11	0.00	-2.31	2.73	2.73	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
32	31	BOVEDA	209.99	2.04	0.00	-1.80	2.75	2.75	0.00
32	32	BOVEDA	209.99	2.04	0.00	-1.91	2.75	2.75	0.00
33	32	BOVEDA	208.48	3.14	0.00	-1.39	2.73	2.73	0.00
33	33	BOVEDA	208.48	3.14	0.00	-1.39	2.73	2.73	0.00
34	33	BOVEDA	209.53	2.20	0.00	-0.86	2.74	2.74	0.00
34	34	BOVEDA	209.51	2.07	0.00	-0.94	2.74	2.74	0.00
35	34	BOVEDA	207.98	3.01	0.38	-0.79	2.72	2.72	0.00
35	35	BOVEDA	207.98	3.01	0.38	-0.79	2.72	2.72	0.00
36	35	BOVEDA	208.99	2.04	0.90	-0.79	2.73	2.73	0.00
36	36	BOVEDA	208.99	2.04	0.90	-0.79	2.73	2.73	0.00
37	36	BOVEDA	209.00	2.04	0.90	-0.78	2.73	2.73	0.00
37	37	BOVEDA	207.49	2.77	1.40	-0.78	2.71	2.71	0.00
38	37	BOVEDA	207.49	2.77	1.40	-0.78	2.71	2.71	0.00
38	38	BOVEDA	208.49	2.01	1.90	-0.78	2.73	2.73	0.00
39	38	BOVEDA	208.49	2.11	1.90	-0.72	2.73	2.73	0.00
39	39	BOVEDA	207.09	2.87	2.39	-0.72	2.71	2.71	0.00
40	39	BOVEDA	207.09	2.87	2.39	-0.72	2.71	2.71	0.00
40	40	BOVEDA	207.96	1.89	2.86	-0.72	2.72	2.72	0.00
41	40	BOVEDA	207.90	1.89	2.86	-0.62	2.72	2.72	0.00
41	41	BOVEDA	206.52	2.51	3.30	-0.62	2.70	2.70	0.00
42	41	BOVEDA	206.52	2.51	3.30	-0.62	2.70	2.70	0.00
42	42	BOVEDA	207.20	1.60	3.70	-0.62	2.71	2.71	0.00
43	42	BOVEDA	207.20	1.60	3.70	-0.62	2.71	2.71	0.00
43	43	BOVEDA	206.29	2.35	4.07	-0.46	2.70	2.70	0.00
44	43	BOVEDA	206.29	2.35	4.07	-0.46	2.70	2.70	0.00
44	44	BOVEDA	206.88	1.62	4.42	-0.46	2.71	2.71	0.00
45	44	BOVEDA	206.88	1.62	4.42	-0.46	2.71	2.71	0.00
45	45	BOVEDA	206.87	1.65	4.42	-0.25	2.70	2.70	0.00
46	45	BOVEDA	205.87	1.85	4.71	-0.25	2.69	2.69	0.00
46	46	BOVEDA	205.87	1.85	4.71	-0.25	2.69	2.69	0.00
47	46	BOVEDA	206.26	1.26	4.96	-0.25	2.70	2.70	0.00
47	47	BOVEDA	206.37	1.39	4.97	0.00	2.70	2.70	0.00
48	47	BOVEDA	205.65	1.52	5.17	0.00	2.69	2.69	0.00
48	48	BOVEDA	205.65	1.52	5.17	0.00	2.69	2.69	0.00
49	48	BOVEDA	205.81	0.91	5.33	0.00	2.69	2.69	0.00
49	49	BOVEDA	205.81	0.91	5.33	0.00	2.69	2.69	0.00
50	49	BOVEDA	205.46	1.09	5.65	0.00	2.69	2.69	0.00
50	50	BOVEDA	205.46	1.09	5.65	0.00	2.69	2.69	0.00
51	50	BOVEDA	205.52	0.63	5.73	0.00	2.69	2.69	0.00
51	51	BOVEDA	205.52	0.63	5.73	0.00	2.69	2.69	0.00
52	51	BOVEDA	205.47	0.87	6.02	0.00	2.69	2.69	0.00
52	52	BOVEDA	205.47	0.87	6.02	0.00	2.69	2.69	0.00
53	52	BOVEDA	205.42	0.75	6.03	0.00	2.69	2.69	0.00
53	53	BOVEDA	205.42	0.75	6.03	0.00	2.69	2.69	0.00
54	53	BOVEDA	205.42	0.75	6.03	0.00	2.69	2.69	0.00
54	54	BOVEDA	205.73	0.81	6.32	0.00	2.69	2.69	0.00
55	54	BOVEDA	205.73	0.81	6.32	0.00	2.69	2.69	0.00
55	55	BOVEDA	205.66	1.05	6.30	0.00	2.69	2.69	0.00
56	55	BOVEDA	205.66	1.05	6.30	0.00	2.69	2.69	0.00
56	56	BOVEDA	206.12	0.98	6.59	0.00	2.70	2.70	0.00
57	56	BOVEDA	206.12	0.98	6.59	0.00	2.70	2.70	0.00
57	57	BOVEDA	206.00	1.35	6.52	0.00	2.69	2.69	0.00
58	57	BOVEDA	206.00	1.35	6.52	0.00	2.69	2.69	0.00
58	58	BOVEDA	206.91	1.31	6.79	0.00	2.71	2.71	0.00
59	58	BOVEDA	206.91	1.31	6.79	0.00	2.71	2.71	0.00
59	59	BOVEDA	206.69	1.81	6.64	0.00	2.70	2.70	0.00
60	59	BOVEDA	206.69	1.81	6.64	0.00	2.70	2.70	0.00
60	60	BOVEDA	207.31	1.61	6.47	0.00	2.71	2.71	0.00
61	60	BOVEDA	207.75	1.56	6.84	0.00	2.72	2.72	0.00
61	61	BOVEDA	207.75	1.56	6.84	0.00	2.72	2.72	0.00
62	61	BOVEDA	207.42	2.18	6.62	0.00	2.71	2.71	0.00
62	62	BOVEDA	207.42	2.18	6.62	0.00	2.71	2.71	0.00
63	62	BOVEDA	209.00	2.02	6.73	0.00	2.73	2.73	0.00
63	63	BOVEDA	209.00	2.02	6.73	0.00	2.73	2.73	0.00
64	63	BOVEDA	208.50	2.68	6.42	0.00	2.73	2.73	0.00
64	64	BOVEDA	208.50	2.68	6.42	0.00	2.73	2.73	0.00
65	64	BOVEDA	209.64	2.60	6.04	0.00	2.74	2.74	0.00
65	65	BOVEDA	210.40	2.49	6.40	0.00	2.75	2.75	0.00
66	65	BOVEDA	209.70	2.23	6.06	0.00	2.74	2.74	0.00
66	66	BOVEDA	209.70	2.23	6.06	0.00	2.74	2.74	0.00
67	66	BOVEDA	210.78	5.26	5.42	0.00	2.76	2.76	0.00
67	67	BOVEDA	211.79	4.95	5.68	0.00	2.77	2.77	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
68	67	BOVEDA	213.09	5.60	5.75	0.00	2.79	2.79	0.00
68	68	BOVEDA	213.09	5.60	5.75	0.00	2.79	2.79	0.00
69	68	BOVEDA	214.07	23.04	5.11	0.00	2.80	2.80	0.00
69	69	BOVEDA	215.82	35.43	5.85	0.00	2.82	2.82	0.00
70	69	BOVEDA	216.47	43.50	5.43	0.00	2.83	2.83	0.00
70	70	BOVEDA	217.11	22.48	4.32	0.00	2.84	2.84	0.00
71	70	BOVEDA	217.76	17.09	4.61	0.00	2.85	2.85	0.00
71	71	BOVEDA	219.49	0.80	3.68	0.00	2.87	2.87	0.00
72	71	BOVEDA	220.13	2.71	3.58	0.00	2.88	2.88	0.00
72	72	BOVEDA	221.44	5.35	3.11	0.00	2.90	2.90	0.00
73	72	BOVEDA	222.09	3.70	2.80	-0.11	2.90	2.90	0.00
73	73	BOVEDA	223.43	2.90	2.62	-0.37	2.92	2.92	0.00
74	73	BOVEDA	224.07	12.05	2.62	-1.05	2.93	2.93	0.00
74	74	BOVEDA	225.44	5.85	2.34	-1.40	2.95	2.95	0.00
75	74	BOVEDA	225.44	5.85	2.34	-1.40	2.95	2.95	0.00
75	75	BOVEDA	226.86	13.81	1.92	-1.78	2.97	2.97	0.00
76	75	BOVEDA	227.51	8.32	1.92	-2.07	2.97	2.97	0.00
76	76	BOVEDA	228.15	5.39	1.92	-1.92	2.98	2.98	0.00
77	76	BOVEDA	229.61	11.29	1.33	-2.52	3.00	3.00	0.00
77	77	BOVEDA	230.25	11.21	1.33	-3.37	3.01	3.01	0.00
78	77	BOVEDA	231.78	10.75	0.54	-4.15	3.03	3.03	0.00
78	78	BOVEDA	232.43	8.45	0.54	-4.72	3.04	3.04	0.00
79	78	BOVEDA	234.02	27.68	0.00	-4.47	3.06	3.06	0.00
79	79	BOVEDA	234.67	52.67	0.00	-5.78	3.07	3.07	0.00
80	79	BOVEDA	236.31	47.48	0.00	-7.97	3.09	3.09	0.00
80	80	BOVEDA	236.96	30.77	0.00	-7.09	3.10	3.10	0.00
81	80	BOVEDA	238.60	38.07	0.00	-12.21	3.12	3.12	0.00
81	81	HASTIAL	239.24	71.54	0.00	-10.44	3.13	3.13	3.67
82	81	HASTIAL	239.89	100.31	0.00	-11.96	3.14	3.14	21.39
82	82	HASTIAL	241.53	98.76	0.00	-15.01	3.16	3.16	20.30
83	82	HASTIAL	242.18	69.96	0.00	-13.49	3.17	3.17	2.44
83	83	HASTIAL	244.03	22.29	0.00	-20.61	3.19	3.19	0.00
84	83	HASTIAL	244.68	59.93	0.00	-18.63	3.20	3.20	0.00
84	84	HASTIAL	245.98	47.52	0.00	-22.06	3.22	3.22	0.00
85	84	HASTIAL	245.98	47.52	0.00	-22.06	3.22	3.22	0.00
85	85	HASTIAL	248.12	41.88	0.00	-30.03	3.24	3.24	0.00
86	85	HASTIAL	248.86	52.27	0.00	-28.95	3.25	3.25	0.00
86	86	HASTIAL	250.63	24.19	0.00	-32.79	3.28	3.28	0.00
87	86	HASTIAL	251.47	27.24	0.00	-33.37	3.29	3.29	0.00
87	87	HASTIAL	251.47	27.24	0.00	-33.37	3.29	3.29	0.00
88	87	HASTIAL	253.48	44.72	0.00	-39.31	3.31	3.31	0.00
88	88	HASTIAL	254.32	40.40	0.00	-39.01	3.33	3.33	0.00
89	88	HASTIAL	251.67	48.80	0.00	-36.35	3.29	3.29	0.00
89	89	HASTIAL	228.55	43.29	0.00	-36.72	2.99	2.99	0.00
90	89	HASTIAL	228.49	53.22	0.00	-37.40	2.99	2.99	0.00
90	90	HASTIAL	226.56	54.68	0.00	-25.41	2.96	2.96	0.00
91	90	HASTIAL	226.56	54.68	0.00	-25.41	2.96	2.96	0.00
91	91	HASTIAL	226.50	51.07	0.00	-25.16	2.96	2.96	0.00
92	91	CONTRABOVEDA	223.81	46.28	0.00	-16.13	2.93	2.93	0.00
92	92	CONTRABOVEDA	223.75	52.47	0.00	-16.56	2.93	2.93	0.00
93	92	CONTRABOVEDA	222.13	47.56	0.00	-9.74	2.90	2.90	0.00
93	93	CONTRABOVEDA	222.07	32.94	0.00	-10.74	2.90	2.90	0.00
94	93	CONTRABOVEDA	222.00	18.19	0.00	-9.73	2.90	2.90	0.00
94	94	CONTRABOVEDA	220.41	23.53	1.19	-5.60	2.88	2.88	0.00
95	94	CONTRABOVEDA	220.41	23.53	1.19	-5.60	2.88	2.88	0.00
95	95	CONTRABOVEDA	220.35	16.23	1.19	-5.10	2.88	2.88	0.00
96	95	CONTRABOVEDA	218.27	10.83	3.89	-5.24	2.85	2.85	0.00
96	96	CONTRABOVEDA	218.27	10.83	3.89	-5.24	2.85	2.85	0.00
97	96	CONTRABOVEDA	218.21	14.39	3.89	-4.60	2.85	2.85	0.00
97	97	CONTRABOVEDA	217.18	7.61	5.75	-4.31	2.84	2.84	0.00
98	97	CONTRABOVEDA	217.12	7.94	5.75	-4.29	2.84	2.84	0.00
98	98	CONTRABOVEDA	217.12	7.94	5.75	-4.29	2.84	2.84	0.00
99	98	CONTRABOVEDA	215.94	11.06	6.96	-3.58	2.82	2.82	0.00
99	99	CONTRABOVEDA	215.88	7.45	6.96	-3.33	2.82	2.82	0.00
100	99	CONTRABOVEDA	215.82	6.38	6.96	-3.41	2.82	2.82	0.00
100	100	CONTRABOVEDA	214.76	4.98	7.69	-3.41	2.81	2.81	0.00
101	100	CONTRABOVEDA	214.70	8.25	7.69	-2.76	2.81	2.81	0.00
101	101	CONTRABOVEDA	213.55	5.05	8.09	-2.05	2.79	2.79	0.00
102	101	CONTRABOVEDA	213.55	5.05	8.09	-2.05	2.79	2.79	0.00
102	102	CONTRABOVEDA	213.49	3.07	8.09	-1.62	2.79	2.79	0.00
103	102	CONTRABOVEDA	212.85	1.59	8.27	-1.39	2.78	2.78	0.00
103	103	CONTRABOVEDA	212.79	4.18	8.27	-1.04	2.78	2.78	0.00

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
104	103	CONTRABOVEDA	212.79	4.18	8.27	-1.04	2.78	2.78	0.00
104	104	CONTRABOVEDA	212.18	1.73	8.30	-0.66	2.77	2.77	0.00
105	104	CONTRABOVEDA	212.12	3.34	8.30	-0.32	2.77	2.77	0.00
105	105	CONTRABOVEDA	212.06	4.42	8.50	0.00	2.77	2.77	0.00
106	105	CONTRABOVEDA	211.66	4.61	8.46	0.00	2.77	2.77	0.00
106	106	CONTRABOVEDA	211.60	3.29	8.55	0.00	2.77	2.77	0.00
107	106	CONTRABOVEDA	211.54	13.54	9.25	0.00	2.77	2.77	0.00
107	107	CONTRABOVEDA	211.16	10.40	9.39	0.00	2.76	2.76	0.00
108	107	CONTRABOVEDA	211.16	10.40	9.39	0.00	2.76	2.76	0.00
108	108	CONTRABOVEDA	210.88	12.05	9.46	0.00	2.76	2.76	0.00
109	108	CONTRABOVEDA	210.82	3.82	10.02	0.00	2.76	2.76	0.00
109	109	CONTRABOVEDA	210.82	3.82	10.02	0.00	2.76	2.76	0.00
110	109	CONTRABOVEDA	210.61	7.49	10.25	0.00	2.75	2.75	0.00
110	110	CONTRABOVEDA	210.55	0.31	10.74	0.00	2.75	2.75	0.00
111	110	CONTRABOVEDA	205.66	3.35	10.95	0.00	2.69	2.69	0.00
111	111	CONTRABOVEDA	205.71	3.36	10.95	0.00	2.69	2.69	0.00
112	111	CONTRABOVEDA	204.97	0.33	11.19	0.00	2.68	2.68	0.00
112	112	CONTRABOVEDA	204.22	0.64	11.25	0.00	2.67	2.67	0.00
113	112	CONTRABOVEDA	203.60	6.02	11.72	0.00	2.66	2.66	0.00
113	113	CONTRABOVEDA	203.60	6.02	11.72	0.00	2.66	2.66	0.00
114	113	CONTRABOVEDA	202.85	6.11	12.53	0.00	2.65	2.65	0.00
114	114	CONTRABOVEDA	202.31	2.78	13.17	0.00	2.65	2.65	0.00
115	114	CONTRABOVEDA	201.56	8.02	12.81	0.00	2.64	2.64	0.00
115	115	CONTRABOVEDA	201.90	8.01	12.87	0.00	2.64	2.64	0.00
116	115	CONTRABOVEDA	201.15	9.66	12.98	0.00	2.63	2.63	0.00
116	116	CONTRABOVEDA	200.41	0.98	13.58	0.00	2.62	2.62	0.00
117	116	CONTRABOVEDA	200.75	0.85	13.62	0.00	2.62	2.62	0.00
117	117	CONTRABOVEDA	200.00	2.67	13.39	0.00	2.62	2.62	0.00
118	117	CONTRABOVEDA	199.25	5.17	13.56	0.00	2.61	2.61	0.00
118	118	CONTRABOVEDA	199.18	2.24	14.01	0.00	2.60	2.60	0.00
119	118	CONTRABOVEDA	199.18	2.24	14.01	0.00	2.60	2.60	0.00
119	119	CONTRABOVEDA	198.44	7.64	13.64	0.00	2.59	2.59	0.00
120	119	CONTRABOVEDA	198.19	12.65	13.75	0.00	2.59	2.59	0.00
120	120	CONTRABOVEDA	197.45	6.01	14.21	0.00	2.58	2.58	0.00
121	120	CONTRABOVEDA	197.45	6.01	14.21	0.00	2.58	2.58	0.00
121	121	CONTRABOVEDA	197.69	16.11	14.40	0.00	2.58	2.58	0.00
122	121	CONTRABOVEDA	196.94	30.20	13.44	0.00	2.58	2.58	0.00
122	122	CONTRABOVEDA	196.94	30.20	13.44	0.00	2.58	2.58	0.00
123	122	CONTRABOVEDA	197.10	19.73	11.86	0.00	2.58	2.58	0.00
123	123	CONTRABOVEDA	196.35	16.08	12.11	0.00	2.57	2.57	0.00
124	123	CONTRABOVEDA	196.47	17.49	10.87	0.00	2.57	2.57	0.00
124	124	CONTRABOVEDA	196.47	17.49	10.87	0.00	2.57	2.57	0.00
125	124	CONTRABOVEDA	195.72	15.42	11.01	0.00	2.56	2.56	0.00
125	125	CONTRABOVEDA	196.14	98.59	11.60	0.00	2.56	2.56	24.15
126	125	CONTRABOVEDA	195.76	146.74	9.96	0.00	2.56	2.56	53.95
126	126	CONTRABOVEDA	195.02	102.48	10.42	0.00	2.55	2.55	26.65
127	126	CONTRABOVEDA	196.58	87.93	7.12	0.00	2.57	2.57	17.51
127	127	CONTRABOVEDA	212.68	57.08	6.61	0.00	2.78	2.78	0.00
128	127	CONTRABOVEDA	213.29	47.79	5.98	0.00	2.79	2.79	0.00
128	128	CONTRABOVEDA	214.75	51.76	4.79	-3.49	2.81	2.81	0.00
129	128	CONTRABOVEDA	225.21	41.81	5.47	-3.49	2.94	2.94	0.00
129	129	CONTRABOVEDA	225.25	36.26	4.76	-3.49	2.95	2.95	0.00
130	129	HASTIAL	227.30	49.79	4.32	-10.33	2.97	2.97	0.00
130	130	HASTIAL	227.33	56.64	4.68	-10.33	2.97	2.97	0.00
131	130	HASTIAL	229.69	39.78	5.89	-19.33	3.00	3.00	0.00
131	131	HASTIAL	229.72	53.40	3.79	-19.33	3.00	3.00	0.00
132	131	HASTIAL	229.75	79.37	5.15	-19.33	3.00	3.00	9.34
132	132	HASTIAL	231.80	94.69	4.70	-30.79	3.03	3.03	18.63
133	132	HASTIAL	231.83	77.41	3.79	-30.79	3.03	3.03	7.94
133	133	HASTIAL	231.86	50.88	5.19	-30.79	3.03	3.03	0.00
134	133	HASTIAL	234.44	42.41	5.19	-33.47	3.07	3.07	0.00
134	134	HASTIAL	234.47	43.39	3.29	-33.47	3.07	3.07	0.00
135	134	HASTIAL	233.46	53.21	3.97	-26.55	3.05	3.05	0.00
135	135	HASTIAL	233.49	56.96	3.77	-26.55	3.05	3.05	0.00
136	135	HASTIAL	232.47	36.78	2.87	-20.56	3.04	3.04	0.00
136	136	HASTIAL	232.50	22.56	3.62	-20.56	3.04	3.04	0.00
137	136	HASTIAL	231.36	18.72	3.26	-15.45	3.03	3.03	0.00
137	137	HASTIAL	231.39	23.12	2.71	-15.45	3.03	3.03	0.00
138	137	HASTIAL	222.47	17.53	2.09	-11.17	2.91	2.91	0.00
138	138	HASTIAL	222.40	17.00	1.64	-11.17	2.91	2.91	0.00
139	138	HASTIAL	222.33	20.23	1.81	-11.17	2.91	2.91	0.00
139	139	HASTIAL	221.21	22.16	1.59	-7.65	2.89	2.89	0.00



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
140	139	BOVEDA	221.14	17.05	1.32	-7.65	2.89	2.89	0.00
140	140	BOVEDA	220.09	19.98	1.06	-4.76	2.88	2.88	0.00
141	140	BOVEDA	220.02	9.42	0.50	-4.76	2.88	2.88	0.00
141	141	BOVEDA	218.94	11.48	0.30	-2.44	2.86	2.86	0.00
142	141	BOVEDA	218.87	8.79	0.00	-2.47	2.86	2.86	0.00
142	142	BOVEDA	217.84	9.52	0.00	-0.94	2.85	2.85	0.00
143	142	BOVEDA	217.77	7.11	0.00	-1.07	2.85	2.85	0.00
143	143	BOVEDA	216.75	18.13	0.61	-1.12	2.83	2.83	0.00
144	143	BOVEDA	216.75	18.13	0.61	-1.12	2.83	2.83	0.00
144	144	BOVEDA	216.69	21.56	0.61	-0.94	2.83	2.83	0.00
145	144	BOVEDA	215.73	37.48	1.40	-1.83	2.82	2.82	0.00
145	145	BOVEDA	215.66	31.06	1.40	-2.17	2.82	2.82	0.00
146	145	BOVEDA	214.77	21.35	1.98	-1.70	2.81	2.81	0.00
146	146	BOVEDA	214.77	21.35	1.98	-1.70	2.81	2.81	0.00
147	146	BOVEDA	213.98	20.65	2.39	-1.70	2.80	2.80	0.00
147	147	BOVEDA	213.98	20.65	2.39	-1.70	2.80	2.80	0.00
148	147	BOVEDA	213.26	20.05	2.65	-1.70	2.79	2.79	0.00
148	148	BOVEDA	213.26	20.05	2.65	-1.70	2.79	2.79	0.00
149	148	BOVEDA	212.67	19.68	2.81	-1.70	2.78	2.78	0.00

#### 4.2.3.5 Resumen

Los resultados de los esfuerzos obtenidos por dovela en el dimensionamiento, son los siguientes:

	$A_{INT}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_{EXT}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$A_{ST}$ (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
BOVEDA	3,83	3,83	5,21
HASTIAL	3,93	3,93	25,13
SOLERA	3,80	3,80	57,58



002394  
[2750]

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



A.6.4. Nº DOCUMENTO	A) DISEÑO DE INGENIERÍA TIPO DE DOCUMENTO
------------------------	--

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

**A.6.4. MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS PERMANENTES.  
APÉNDICE 5. DIMENSIONAMIENTO REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE LAS CAVERNAS**



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





**ÍNDICE**

<b>1</b>	<b>MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD</b>	<b>214</b>
<b>2</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>214</b>
<b>3</b>	<b>COMBINACIONES</b>	<b>215</b>
<b>4</b>	<b>CÁLCULO</b>	<b>216</b>
4.1	SECCIÓN EN CAVERNA	216
4.1.1	Definición geométrica	216
4.1.2	Esfuerzos	217
4.1.2.1	Servicio	217
4.1.2.2	Sismo	218
4.1.3	Dimensionamiento	222
4.1.3.1	Hipótesis 1	222
4.1.3.2	Hipótesis 2	229
4.1.3.3	Hipótesis 3	237
4.1.3.4	Hipótesis 4	245
4.1.3.5	Resumen	252



## 1 MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Los materiales utilizados son:

### Hormigón:

- Resistencia característica:  $f_{ck} = 40$  Mpa
- Coeficiente de minoración:  $\gamma_c = 1,50$

### Acero de Refuerzo: (Barras corrugadas ):

Tensión de fluencia:  $f_{yk} = 420$  N/mm<sup>2</sup>

Tensión de rotura:  $f_u = 540$  N/mm<sup>2</sup>

Tensión de cálculo:  $f_{yd} = 375$  N/mm<sup>2</sup>

Coeficientes de minoración de la resistencia:  $\gamma_c = 1,12$

Módulo elástico:  $E_s = 210000$  N/mm<sup>2</sup>

Recubrimiento de armaduras: 30 mm

Los coeficientes de mayoración de acciones considerados, son los siguientes:

Acciones permanentes:  $\gamma_G = 1,40$

Sobrecargas:  $\gamma_Q = 1,70$

Sobrecargas con sismo:  $\gamma_{Q,SISMO} = 1,25$

Acción sísmica:  $\gamma_{SISMO} = 1,0$

## 2 ACCIONES

Se ha realizado un estudio tenso-deformacional del túnel con el fin de definir el revestimiento. Los cálculos se han abordado mediante el empleo del Método de los Elementos Finitos con el programa de ordenador Phase2 (programa de mecánica de medios continuos aplicados a la Geotecnia).

Se han obtenido resultados tanto para la situación de excavación por fases como para la situación definitiva de servicio. Así mismo, se han realizado el cálculo independiente de los efectos del sismo para los siguientes parámetros:

- ❖ Aceleración básica  $a_B = 0,4$  g
- ❖ Coeficiente del terreno  $S = 1$
- ❖ Aceleración máxima:  $a_{MAX,S} = S \cdot a_B = 0,4$  g



- ❖ Coeficiente de profundidad  $C = 0,90$
- ❖ Aceleración máxima en profundidad:  $a_{z,MAX} = C \cdot a_{MAX,S} = 0,36 \text{ g}$
- ❖ Velocidad pico del terreno  $C_S = 600 \text{ m/s}$
- ❖ Coeficiente de la velocidad de pico:  $k = 1,52$
- ❖ Velocidad de de las ondas de cortante del sismo:  $V_S = k \cdot a_{z,MAX} = 0,5472 \text{ m/s}$
- ❖ Distorsión angular máxima:  $\gamma_{MAX} = V_S/C_S = 0,00091 \text{ rad}$

### **3 COMBINACIONES**

A efecto de dimensionamiento del revestimiento, se han considerado las siguientes hipótesis

- 1 Hipótesis 1: Momento máximo. sin sismo
- 2 Hipótesis 2: Axil Máximo sin sismo
- 3 Hipótesis 3: Momento máximo con sismo
- 4 Hipótesis 4: Axil Máximo con sismo

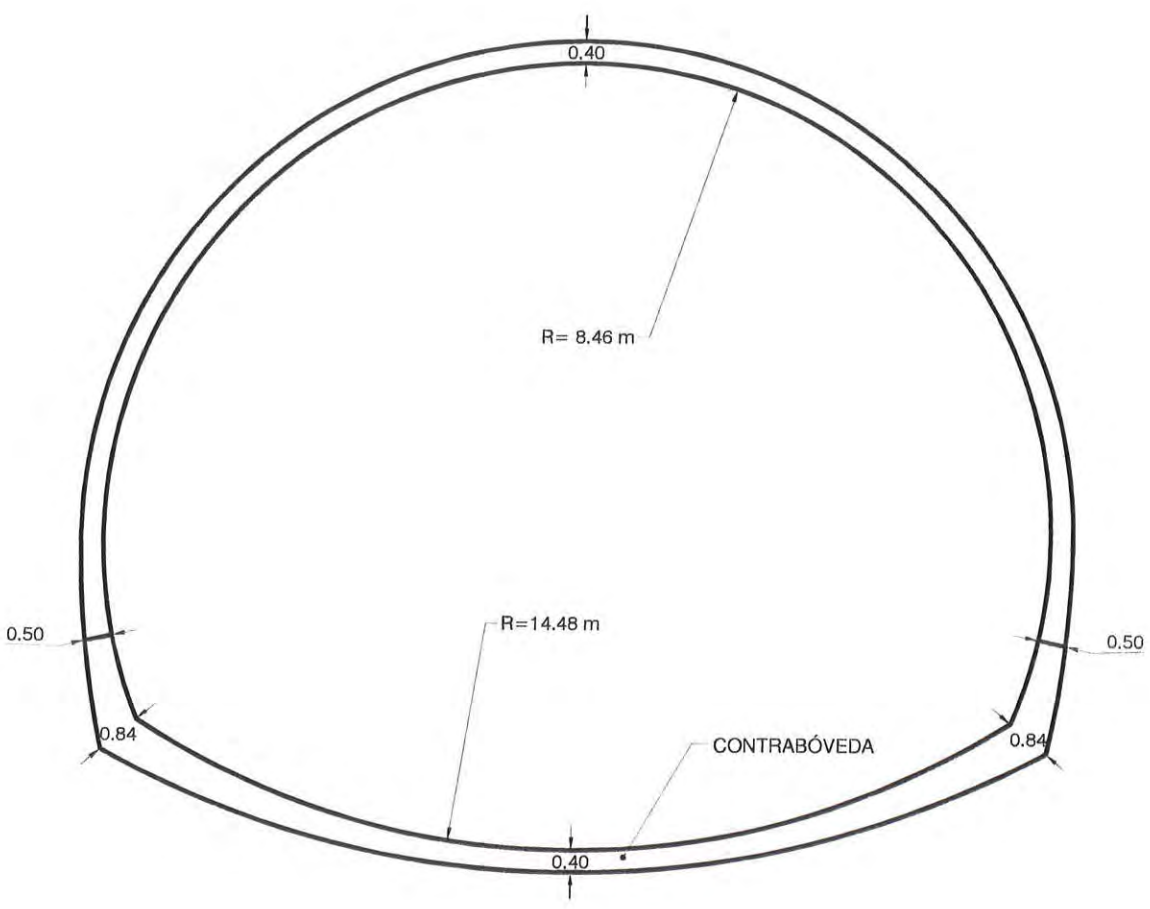


### 4 CÁLCULO

#### 4.1 SECCIÓN EN CAVERNA

##### 4.1.1 Definición geométrica

La sección transversal del tunel artificial es la siguiente:



#### 4.1.2 Esfuerzos

Los valores de los esfuerzos producidos por las acciones procedentes del terreno se han calculado mediante el programa de elementos finitos Phase2. Los resultados son los siguientes:

##### 4.1.2.1 Servicio

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
1	1	0.57	475.97	-47.04	-14.60
2	1	0.57	475.97	-47.04	-14.60
2	2	1.71	452.30	2.37	10.87
3	2	1.71	452.30	2.37	10.87
3	3	2.85	429.37	4.87	6.75
4	3	2.85	429.37	4.87	6.75
4	4	3.99	416.11	1.17	3.31
5	4	3.99	416.11	1.17	3.31
5	5	5.13	412.75	0.71	2.24
6	5	5.13	412.75	0.71	2.24
6	6	6.27	412.30	0.43	1.59
7	6	6.27	412.30	0.43	1.59
7	7	7.41	411.40	0.21	1.23
8	7	7.41	411.40	0.21	1.23
8	8	8.55	410.49	-0.24	1.24
9	8	8.55	410.49	-0.24	1.24
9	9	9.69	410.54	0.25	1.24
9	9	9.69	410.54	0.25	1.24
10	10	10.83	410.67	-0.40	1.32
11	10	10.83	410.67	-0.40	1.32
11	11	11.97	411.38	-0.08	1.60
12	11	11.97	411.38	-0.08	1.60
12	12	13.11	412.95	-0.82	2.12
13	12	13.11	412.95	-0.82	2.12
13	13	14.25	417.83	-1.48	3.43
14	13	14.25	417.83	-1.48	3.43
14	14	15.39	427.66	-4.94	7.10
15	14	15.39	427.66	-4.94	7.10
15	15	16.53	447.00	-2.06	11.09
16	15	16.53	447.00	-2.06	11.09
16	16	17.68	472.25	47.93	-15.06
17	16	17.68	472.25	47.93	-15.06
17	17	19.43	462.88	-24.31	-13.71
18	17	19.43	462.88	-24.31	-13.71
18	18	21.79	458.70	6.56	7.24
19	18	21.79	458.70	6.56	7.24
19	19	24.15	449.85	-0.43	0.02
20	19	24.15	449.85	-0.43	0.02
20	20	26.51	447.65	0.10	0.40
21	20	26.51	447.65	0.10	0.40
21	21	28.87	448.85	0.21	0.04
22	21	28.87	448.85	0.21	0.04
22	22	31.23	448.54	-0.23	0.07
23	22	31.23	448.54	-0.23	0.07
23	23	33.59	451.55	0.50	-0.24
24	23	33.59	451.55	0.50	-0.24
24	24	35.95	447.87	-0.72	0.01
25	24	35.95	447.87	-0.72	0.01
25	25	38.31	447.23	0.67	0.07
26	25	38.31	447.23	0.67	0.07
26	26	40.67	451.70	-0.31	-0.36
27	26	40.67	451.70	-0.31	-0.36
27	27	43.03	449.57	-0.03	0.05
28	27	43.03	449.57	-0.03	0.05
28	28	45.39	448.72	-0.05	0.15
29	28	45.39	448.72	-0.05	0.15
29	29	47.75	449.29	-0.23	0.48
30	29	47.75	449.29	-0.23	0.48
30	30	50.11	449.43	0.64	0.00
31	30	50.11	449.43	0.64	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
31	31	52.47	458.59	-6.49	6.90
32	31	52.47	458.59	-6.49	6.90
32	32	54.83	460.56	23.72	-13.43
33	32	54.83	460.56	23.72	-13.43

4.1.2.2 Sismo

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
1	1	17.96	-28.48	1.31	2.36
2	1	17.96	-28.48	1.31	2.36
2	2	18.53	-42.96	1.57	1.53
3	2	18.53	-42.96	1.57	1.53
3	3	19.11	-35.94	0.65	0.90
4	3	19.11	-35.94	0.65	0.90
4	4	19.68	-28.10	0.27	0.63
5	4	19.68	-28.10	0.27	0.63
5	5	20.25	-13.72	0.60	0.39
6	5	20.25	-13.72	0.60	0.39
6	6	20.82	-7.68	0.38	0.11
7	6	20.82	-7.68	0.38	0.11
7	7	21.39	0.16	0.19	-0.06
8	7	21.39	0.16	0.19	-0.06
8	8	21.97	7.90	0.51	-0.26
9	8	21.97	7.90	0.51	-0.26
9	9	22.54	22.04	0.18	-0.46
10	9	22.54	22.04	0.18	-0.46
10	10	23.11	30.37	0.08	-0.53
11	10	23.11	30.37	0.08	-0.53
11	11	23.68	37.18	0.06	-0.57
12	11	23.68	37.18	0.06	-0.57
12	12	24.26	42.45	0.92	-0.85
13	12	24.26	42.45	0.92	-0.85
13	13	24.83	53.82	-0.17	-1.06
14	13	24.83	53.82	-0.17	-1.06
14	14	25.40	61.59	-0.07	-0.99
15	14	25.40	61.59	-0.07	-0.99
15	15	25.97	65.71	-0.05	-0.96
16	15	25.97	65.71	-0.05	-0.96
16	16	26.55	67.29	1.15	-1.27
17	16	26.55	67.29	1.15	-1.27
17	17	27.12	73.21	-0.49	-1.46
18	17	27.12	73.21	-0.49	-1.46
18	18	27.69	78.47	-0.28	-1.24
19	18	27.69	78.47	-0.28	-1.24
19	19	28.26	78.76	-0.18	-1.11
20	19	28.26	78.76	-0.18	-1.11
20	20	28.83	76.26	1.09	-1.38
21	20	28.83	76.26	1.09	-1.38
21	21	29.41	75.02	-0.71	-1.48
22	21	29.41	75.02	-0.71	-1.48
22	22	29.98	76.29	-0.35	-1.18
23	22	29.98	76.29	-0.35	-1.18
23	23	30.55	76.54	-0.10	-1.05
24	23	30.55	76.54	-0.10	-1.05
24	24	31.12	67.18	0.72	-1.23
25	24	31.12	67.18	0.72	-1.23
25	25	31.70	56.27	-0.77	-1.21
26	25	31.70	56.27	-0.77	-1.21
26	26	32.27	56.85	-0.49	-0.85
27	26	32.27	56.85	-0.49	-0.85
27	27	32.84	52.36	-0.04	-0.70
28	27	32.84	52.36	-0.04	-0.70
28	28	33.41	42.27	0.25	-0.76
29	28	33.41	42.27	0.25	-0.76
29	29	33.98	27.74	-0.70	-0.63
30	29	33.98	27.74	-0.70	-0.63
30	30	34.56	24.37	-0.33	-0.34
31	30	34.56	24.37	-0.33	-0.34
31	31	35.13	15.68	-0.10	-0.21

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m-t)
32	31	35.13	15.68	-0.10	-0.21
32	32	35.70	6.76	-0.32	-0.09
33	32	35.70	6.76	-0.32	-0.09
33	33	36.27	-6.96	-0.31	0.09
34	33	36.27	-6.96	-0.31	0.09
34	34	36.85	-15.86	-0.12	0.21
35	34	36.85	-15.86	-0.12	0.21
35	35	37.42	-24.52	-0.34	0.34
36	35	37.42	-24.52	-0.34	0.34
36	36	37.99	-27.87	-0.69	0.64
37	36	37.99	-27.87	-0.69	0.64
37	37	38.56	-42.34	0.26	0.76
38	37	38.56	-42.34	0.26	0.76
38	38	39.13	-52.48	-0.04	0.70
39	38	39.13	-52.48	-0.04	0.70
39	39	39.71	-57.00	-0.49	0.85
40	39	39.71	-57.00	-0.49	0.85
40	40	40.28	-56.40	-0.78	1.21
41	40	40.28	-56.40	-0.78	1.21
41	41	40.85	-67.29	0.72	1.23
42	41	40.85	-67.29	0.72	1.23
42	42	41.42	-76.61	-0.11	1.05
43	42	41.42	-76.61	-0.11	1.05
43	43	42.00	-76.34	-0.35	1.18
44	43	42.00	-76.34	-0.35	1.18
44	44	42.57	-75.03	-0.71	1.49
45	44	42.57	-75.03	-0.71	1.49
45	45	43.14	-76.23	1.08	1.38
46	45	43.14	-76.23	1.08	1.38
46	46	43.71	-78.70	-0.17	1.12
47	46	43.71	-78.70	-0.17	1.12
47	47	44.29	-78.38	-0.27	1.25
48	47	44.29	-78.38	-0.27	1.25
48	48	44.86	-73.11	-0.48	1.46
49	48	44.86	-73.11	-0.48	1.46
49	49	45.43	-67.15	1.15	1.27
50	49	45.43	-67.15	1.15	1.27
50	50	46.00	-65.60	-0.03	0.95
51	50	46.00	-65.60	-0.03	0.95
51	51	46.57	-61.55	-0.08	0.99
52	51	46.57	-61.55	-0.08	0.99
52	52	47.15	-53.83	-0.18	1.06
53	52	47.15	-53.83	-0.18	1.06
53	53	47.72	-42.43	0.92	0.85
54	53	47.72	-42.43	0.92	0.85
54	54	48.29	-37.11	0.04	0.57
55	54	48.29	-37.11	0.04	0.57
55	55	48.86	-30.29	0.09	0.53
56	55	48.86	-30.29	0.09	0.53
56	56	49.44	-21.96	0.18	0.46
57	56	49.44	-21.96	0.18	0.46
57	57	50.01	-7.86	0.51	0.26
58	57	50.01	-7.86	0.51	0.26
58	58	50.58	-0.13	0.19	0.06
59	58	50.58	-0.13	0.19	0.06
59	59	51.15	7.71	0.39	-0.11
60	59	51.15	7.71	0.39	-0.11
60	60	51.72	13.78	0.59	-0.39
61	60	51.72	13.78	0.59	-0.39
61	61	52.30	28.09	0.26	-0.63
62	61	52.30	28.09	0.26	-0.63
62	62	52.87	35.91	0.65	-0.89
63	62	52.87	35.91	0.65	-0.89
63	63	53.44	42.91	1.57	-1.53
64	63	53.44	42.91	1.57	-1.53
64	64	54.01	28.45	1.32	-2.36
65	64	54.01	28.45	1.32	-2.36
65	65	54.44	23.32	6.89	-3.69
66	65	54.44	23.32	6.89	-3.69
66	66	54.72	59.96	-7.26	-3.64
67	66	54.72	59.96	-7.26	-3.64

*(Handwritten signature)*

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m·t)
67	67	0.17	63.63	-0.66	-2.54
68	67	0.17	63.63	-0.66	-2.54
68	68	0.45	62.92	-0.67	-2.35
69	68	0.45	62.92	-0.67	-2.35
69	69	0.72	62.09	-1.54	-2.05
70	69	0.72	62.09	-1.54	-2.05
70	70	1.00	64.08	-1.25	-1.66
71	70	1.00	64.08	-1.25	-1.66
71	71	1.28	63.57	-1.01	-1.34
72	71	1.28	63.57	-1.01	-1.34
72	72	1.56	61.89	0.21	-1.23
73	72	1.56	61.89	0.21	-1.23
73	73	1.84	60.13	-1.20	-1.09
74	73	1.84	60.13	-1.20	-1.09
74	74	2.12	60.09	-0.52	-0.85
75	74	2.12	60.09	-0.52	-0.85
75	75	2.39	58.58	-0.53	-0.71
76	75	2.39	58.58	-0.53	-0.71
76	76	2.67	56.43	0.44	-0.70
77	76	2.67	56.43	0.44	-0.70
77	77	2.95	54.11	-0.89	-0.63
78	77	2.95	54.11	-0.89	-0.63
78	78	3.23	52.87	-0.18	-0.48
79	78	3.23	52.87	-0.18	-0.48
79	79	3.51	50.71	-0.29	-0.42
80	79	3.51	50.71	-0.29	-0.42
80	80	3.79	48.17	0.46	-0.44
81	80	3.79	48.17	0.46	-0.44
81	81	4.06	45.40	-0.70	-0.41
82	81	4.06	45.40	-0.70	-0.41
82	82	4.34	43.46	-0.06	-0.30
83	82	4.34	43.46	-0.06	-0.30
83	83	4.62	40.95	-0.15	-0.27
84	83	4.62	40.95	-0.15	-0.27
84	84	4.90	38.11	0.35	-0.30
85	84	4.90	38.11	0.35	-0.30
85	85	5.18	34.91	-0.54	-0.27
86	85	5.18	34.91	-0.54	-0.27
86	86	5.45	32.54	0.01	-0.20
87	86	5.45	32.54	0.01	-0.20
87	87	5.73	29.72	-0.13	-0.18
88	87	5.73	29.72	-0.13	-0.18
88	88	6.01	26.70	0.22	-0.20
89	88	6.01	26.70	0.22	-0.20
89	89	6.29	23.21	-0.39	-0.17
90	89	6.29	23.21	-0.39	-0.17
90	90	6.57	20.49	-0.02	-0.11
91	90	6.57	20.49	-0.02	-0.11
91	91	6.85	17.54	-0.08	-0.10
92	91	6.85	17.54	-0.08	-0.10
92	92	7.12	14.48	0.07	-0.10
93	92	7.12	14.48	0.07	-0.10
93	93	7.40	10.80	-0.25	-0.07
94	93	7.40	10.80	-0.25	-0.07
94	94	7.68	7.90	-0.02	-0.04
95	94	7.68	7.90	-0.02	-0.04
95	95	7.96	4.97	-0.01	-0.03
96	95	7.96	4.97	-0.01	-0.03
96	96	8.24	1.84	-0.11	-0.02
97	96	8.24	1.84	-0.11	-0.02
97	97	8.52	-1.93	-0.11	0.01
98	97	8.52	-1.93	-0.11	0.01
98	98	8.79	-5.05	-0.01	0.03
99	98	8.79	-5.05	-0.01	0.03
99	99	9.07	-7.99	-0.02	0.03
100	99	9.07	-7.99	-0.02	0.03
100	100	9.35	-10.90	-0.25	0.07
101	100	9.35	-10.90	-0.25	0.07
101	101	9.63	-14.58	0.06	0.10
102	101	9.63	-14.58	0.06	0.10
102	102	9.91	-17.65	-0.08	0.10

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

BARRA	NUDO	Posición	N (t)	Q (t)	M (m.t)
103	102	9.91	-17.65	-0.08	0.10
103	103	10.19	-20.60	-0.02	0.12
104	103	10.19	-20.60	-0.02	0.12
104	104	10.46	-23.32	-0.40	0.17
105	104	10.46	-23.32	-0.40	0.17
105	105	10.74	-26.82	0.23	0.20
106	105	10.74	-26.82	0.23	0.20
106	106	11.02	-29.84	-0.13	0.18
107	106	11.02	-29.84	-0.13	0.18
107	107	11.30	-32.66	0.02	0.20
108	107	11.30	-32.66	0.02	0.20
108	108	11.58	-35.03	-0.55	0.27
109	108	11.58	-35.03	-0.55	0.27
109	109	11.85	-38.25	0.35	0.30
110	109	11.85	-38.25	0.35	0.30
110	110	12.13	-41.08	-0.16	0.28
111	110	12.13	-41.08	-0.16	0.28
111	111	12.41	-43.60	-0.07	0.31
112	111	12.41	-43.60	-0.07	0.31
112	112	12.69	-45.54	-0.70	0.41
113	112	12.69	-45.54	-0.70	0.41
113	113	12.97	-48.32	0.46	0.45
114	113	12.97	-48.32	0.46	0.45
114	114	13.25	-50.87	-0.30	0.42
115	114	13.25	-50.87	-0.30	0.42
115	115	13.52	-53.04	-0.18	0.49
116	115	13.52	-53.04	-0.18	0.49
116	116	13.80	-54.27	-0.87	0.64
117	116	13.80	-54.27	-0.87	0.64
117	117	14.08	-56.54	0.45	0.69
118	117	14.08	-56.54	0.45	0.69
118	118	14.36	-58.70	-0.54	0.71
119	118	14.36	-58.70	-0.54	0.71
119	119	14.64	-60.23	-0.52	0.85
120	119	14.64	-60.23	-0.52	0.85
120	120	14.92	-60.27	-1.19	1.09
121	120	14.92	-60.27	-1.19	1.09
121	121	15.19	-62.02	0.20	1.23
122	121	15.19	-62.02	0.20	1.23
122	122	15.47	-63.73	-1.00	1.34
123	122	15.47	-63.73	-1.00	1.34
123	123	15.75	-64.25	-1.24	1.65
124	123	15.75	-64.25	-1.24	1.65
124	124	16.03	-62.28	-1.52	2.04
125	124	16.03	-62.28	-1.52	2.04
125	125	16.31	-63.09	-0.68	2.34
126	125	16.31	-63.09	-0.68	2.34
126	126	16.59	-63.83	-0.67	2.53
127	126	16.59	-63.83	-0.67	2.53
127	127	16.86	-60.15	-7.29	3.64
128	127	16.86	-60.15	-7.29	3.64
128	128	17.14	-23.52	6.91	3.69
129	128	17.14	-23.52	6.91	3.69



### 4.1.3 Dimensionamiento

A continuación se muestran los esfuerzos de flexión, cortante y los axil en todos los nudos del modelo, así como las cuantías de armadura resultantes del cálculo. El armado se realiza con barras de acero corrugado de límite elástico 500 N/mm<sup>2</sup>.

Sólo se realizan las hipótesis sin sismo, ya que de los valores de esfuerzos para esta acción se comprueba que no es condicionante.

#### 4.1.3.1 Hipótesis 1

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD(t)	MD+(m·t)	MD-(m·t)	AINF (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
1	1	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
2	1	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
2	2	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
3	2	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
3	3	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
4	3	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
4	4	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
5	4	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
5	5	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
6	5	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
6	6	HASTIAL	475.97	79.97	0.00	-24.82	6.22	6.22	0.00
7	6	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
7	7	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
8	7	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
8	8	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
9	8	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
9	9	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
10	9	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
10	10	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
11	10	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
11	11	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
12	11	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
12	12	CONTRABOVEDA	452.30	4.02	18.48	0.00	5.91	5.91	0.00
13	12	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
13	13	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
14	13	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
14	14	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
15	14	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
15	15	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
16	15	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
16	16	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
17	16	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
17	17	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
18	17	CONTRABOVEDA	429.37	8.27	11.48	0.00	5.61	5.61	0.00
18	18	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
19	18	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
19	19	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
20	19	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
20	20	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
21	20	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
21	21	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
22	21	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
22	22	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
23	22	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
23	23	CONTRABOVEDA	416.11	1.98	5.63	0.00	5.44	5.44	0.00
24	23	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
24	24	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
25	24	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
25	25	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
26	25	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
26	26	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
27	26	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
27	27	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
28	27	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
28	28	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00



12/01/2011





BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
29	28	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
29	29	CONTRABOVEDA	412.75	1.21	3.81	0.00	5.40	5.40	0.00
30	29	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
30	30	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
31	30	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
31	31	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
32	31	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
32	32	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
33	32	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
33	33	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
34	33	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
34	34	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
35	34	CONTRABOVEDA	412.30	0.72	2.71	0.00	5.39	5.39	0.00
35	35	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
36	35	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
36	36	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
37	36	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
37	37	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
38	37	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
38	38	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
39	38	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
39	39	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
40	39	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
40	40	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
41	40	CONTRABOVEDA	411.40	0.36	2.09	0.00	5.38	5.38	0.00
41	41	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
42	41	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
42	42	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
43	42	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
43	43	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
44	43	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
44	44	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
45	44	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
45	45	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
46	45	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
46	46	CONTRABOVEDA	410.49	0.41	2.11	0.00	5.37	5.37	0.00
47	46	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
47	47	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
48	47	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
48	48	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
49	48	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
49	49	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
50	49	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
50	50	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
51	50	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
51	51	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
52	51	CONTRABOVEDA	410.54	0.42	2.10	0.00	5.37	5.37	0.00
52	52	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
53	52	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
53	53	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
54	53	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
54	54	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
55	54	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
55	55	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
56	55	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
56	56	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
57	56	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
57	57	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
58	57	CONTRABOVEDA	410.67	0.68	2.25	0.00	5.37	5.37	0.00
58	58	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
59	58	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
59	59	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
60	59	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
60	60	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
61	60	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
61	61	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
62	61	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
62	62	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
63	62	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
63	63	CONTRABOVEDA	411.38	0.14	2.72	0.00	5.38	5.38	0.00
64	63	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
64	64	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
65	64	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
65	65	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
66	65	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
66	66	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
67	66	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
67	67	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
68	67	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
68	68	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
69	68	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
69	69	CONTRABOVEDA	412.95	1.40	3.60	0.00	5.40	5.40	0.00
70	69	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
70	70	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
71	70	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
71	71	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
72	71	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
72	72	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
73	72	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
73	73	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
74	73	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
74	74	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
75	74	CONTRABOVEDA	417.83	2.52	5.84	0.00	5.46	5.46	0.00
75	75	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
76	75	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
76	76	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
77	76	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
77	77	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
78	77	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
78	78	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
79	78	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
79	79	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
80	79	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
80	80	CONTRABOVEDA	427.66	8.40	12.06	0.00	5.59	5.59	0.00
81	80	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
81	81	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
82	81	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
82	82	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
83	82	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
83	83	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
84	83	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
84	84	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
85	84	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
85	85	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
86	85	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
86	86	HASTIAL	447.00	3.51	18.85	0.00	5.84	5.84	0.00
87	86	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
87	87	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
88	87	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
88	88	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
89	88	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
89	89	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
90	89	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
90	90	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
91	90	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
91	91	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
92	91	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
92	92	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
93	92	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
93	93	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
94	93	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
94	94	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
95	94	HASTIAL	472.25	81.48	0.00	-25.61	6.17	6.17	0.00
95	95	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
96	95	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
96	96	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
97	96	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
97	97	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
98	97	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
98	98	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
99	98	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
99	99	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
100	99	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
100	100	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



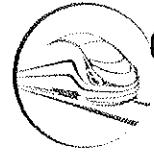
BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+(m·t)	MD-(m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
101	100	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
101	101	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
102	101	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
102	102	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
103	102	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
103	103	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
104	103	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
104	104	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
105	104	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
105	105	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
106	105	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
106	106	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
107	106	BOVEDA	462.88	41.33	0.00	-23.30	6.05	6.05	0.00
107	107	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
108	107	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
108	108	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
109	108	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
109	109	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
110	109	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
110	110	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
111	110	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
111	111	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
112	111	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
112	112	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
113	112	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
113	113	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
114	113	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
114	114	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
115	114	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
115	115	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
116	115	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
116	116	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
117	116	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
117	117	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
118	117	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
118	118	BOVEDA	458.70	11.15	12.31	0.00	6.00	6.00	0.00
119	118	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
119	119	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
120	119	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
120	120	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
121	120	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
121	121	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
122	121	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
122	122	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
123	122	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
123	123	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
124	123	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
124	124	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
125	124	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
125	125	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
126	125	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
126	126	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
127	126	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
127	127	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
128	127	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
128	128	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
129	128	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
129	129	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
130	129	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
130	130	BOVEDA	449.85	0.74	0.03	0.00	5.88	5.88	0.00
131	130	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
131	131	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
132	131	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
132	132	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
133	132	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
133	133	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
134	133	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
134	134	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
135	134	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
135	135	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
136	135	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
136	136	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
137	136	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
137	137	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
138	137	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
138	138	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
139	138	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
139	139	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
140	139	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
140	140	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
141	140	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
141	141	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
142	141	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
142	142	BOVEDA	447.65	0.18	0.69	0.00	5.85	5.85	0.00
143	142	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
143	143	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
144	143	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
144	144	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
145	144	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
145	145	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
146	145	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
146	146	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
147	146	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
147	147	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
148	147	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
148	148	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
149	148	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
149	149	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
150	149	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
150	150	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
151	150	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
151	151	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
152	151	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
152	152	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
153	152	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
153	153	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
154	153	BOVEDA	448.85	0.35	0.06	0.00	5.87	5.87	0.00
154	154	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
155	154	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
155	155	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
156	155	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
156	156	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
157	156	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
157	157	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
158	157	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
158	158	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
159	158	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
159	159	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
160	159	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
160	160	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
161	160	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
161	161	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
162	161	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
162	162	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
163	162	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
163	163	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
164	163	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
164	164	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
165	164	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
165	165	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
166	165	BOVEDA	448.54	0.40	0.12	0.00	5.86	5.86	0.00
166	166	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
167	166	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
167	167	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
168	167	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
168	168	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
169	168	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
169	169	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
170	169	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
170	170	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
171	170	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
171	171	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
172	171	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
172	172	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
173	172	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
173	173	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
174	173	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
174	174	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
175	174	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
175	175	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
176	175	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
176	176	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
177	176	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
177	177	BOVEDA	451.55	0.85	0.00	-0.42	5.90	5.90	0.00
178	177	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
178	178	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
179	178	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
179	179	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
180	179	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
180	180	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
181	180	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
181	181	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
182	181	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
182	182	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
183	182	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
183	183	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
184	183	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
184	184	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
185	184	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
185	185	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
186	185	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
186	186	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
187	186	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
187	187	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
188	187	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
188	188	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
189	188	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
189	189	BOVEDA	447.87	1.22	0.02	0.00	5.86	5.86	0.00
190	189	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
190	190	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
191	190	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
191	191	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
192	191	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
192	192	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
193	192	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
193	193	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
194	193	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
194	194	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
195	194	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
195	195	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
196	195	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
196	196	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
197	196	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
197	197	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
198	197	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
198	198	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
199	198	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
199	199	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
200	199	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
200	200	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
201	200	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
201	201	BOVEDA	447.23	1.14	0.11	0.00	5.85	5.85	0.00
202	201	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
202	202	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
203	202	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
203	203	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
204	203	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
204	204	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
205	204	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
205	205	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
206	205	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
206	206	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
207	206	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
207	207	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
208	207	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
208	208	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00



A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
209	208	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
209	209	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
210	209	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
210	210	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
211	210	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
211	211	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
212	211	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
212	212	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
213	212	BOVEDA	451.70	0.53	0.00	-0.61	5.91	5.91	0.00
213	213	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
214	213	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
214	214	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
215	214	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
215	215	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
216	215	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
216	216	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
217	216	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
217	217	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
218	217	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
218	218	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
219	218	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
219	219	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
220	219	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
220	220	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
221	220	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
221	221	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
222	221	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
222	222	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
223	222	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
223	223	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
224	223	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
224	224	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
225	224	BOVEDA	449.57	0.06	0.09	0.00	5.88	5.88	0.00
225	225	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
226	225	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
226	226	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
227	226	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
227	227	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
228	227	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
228	228	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
229	228	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
229	229	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
230	229	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
230	230	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
231	230	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
231	231	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
232	231	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
232	232	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
233	232	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
233	233	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
234	233	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
234	234	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
235	234	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
235	235	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
236	235	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
236	236	BOVEDA	448.72	0.08	0.25	0.00	5.87	5.87	0.00
237	236	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
237	237	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
238	237	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
238	238	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
239	238	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
239	239	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
240	239	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
240	240	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
241	240	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
241	241	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
242	241	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
242	242	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
243	242	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
243	243	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
244	243	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
244	244	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00





BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
245	244	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
245	245	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
246	245	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
246	246	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
247	246	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
247	247	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
248	247	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
248	248	BOVEDA	449.29	0.39	0.81	0.00	5.87	5.87	0.00
249	248	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
249	249	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
250	249	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
250	250	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
251	250	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
251	251	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
252	251	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
252	252	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
253	252	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
253	253	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
254	253	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
254	254	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
255	254	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
255	255	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
256	255	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
256	256	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
257	256	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
257	257	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
258	257	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
258	258	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
259	258	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
259	259	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
260	259	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
260	260	BOVEDA	449.43	1.09	0.00	0.00	5.88	5.88	0.00
261	260	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
261	261	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
262	261	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
262	262	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
263	262	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
263	263	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
264	263	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
264	264	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
265	264	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
265	265	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
266	265	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
266	266	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
267	266	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
267	267	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
268	267	BOVEDA	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
268	268	HASTIAL	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
269	268	HASTIAL	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
269	269	HASTIAL	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
270	269	HASTIAL	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
270	270	HASTIAL	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
271	270	HASTIAL	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
271	271	HASTIAL	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
272	271	HASTIAL	458.59	11.03	11.73	0.00	6.00	6.00	0.00
272	272	HASTIAL	460.56	40.32	0.00	-22.83	6.02	6.02	0.00
273	272	HASTIAL	460.56	40.32	0.00	-22.83	6.02	6.02	0.00

## 4.1.3.2 Hipótesis 2

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
1	1	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
2	1	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
2	2	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
3	2	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
3	3	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
4	3	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
4	4	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
5	4	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00





BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
5	5	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
6	5	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
6	6	HASTIAL	809.15	79.97	0.00	-23.30	13.37	13.37	0.00
7	6	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
7	7	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
8	7	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
8	8	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
9	8	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
9	9	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
10	9	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
10	10	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
11	10	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
11	11	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
12	11	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
12	12	CONTRABOVEDA	768.91	4.02	18.48	-23.30	18.25	14.54	0.00
13	12	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	-23.30	13.15	10.52	0.00
13	13	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
14	13	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
14	14	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
15	14	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
15	15	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
16	15	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
16	16	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
17	16	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
17	17	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
18	17	CONTRABOVEDA	729.93	8.27	11.48	0.00	9.54	10.52	0.00
18	18	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
19	18	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
19	19	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
20	19	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
20	20	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
21	20	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
21	21	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
22	21	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
22	22	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
23	22	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
23	23	CONTRABOVEDA	707.39	1.98	5.63	0.00	10.52	10.52	0.00
24	23	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
24	24	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
25	24	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
25	25	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
26	25	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
26	26	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
27	26	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
27	27	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
28	27	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
28	28	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
29	28	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
29	29	CONTRABOVEDA	701.68	1.21	3.81	0.00	10.52	10.52	0.00
30	29	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
30	30	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
31	30	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
31	31	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
32	31	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
32	32	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
33	32	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
33	33	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
34	33	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
34	34	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
35	34	CONTRABOVEDA	700.91	0.72	2.71	0.00	10.52	10.52	0.00
35	35	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
36	35	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
36	36	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
37	36	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
37	37	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
38	37	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
38	38	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
39	38	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
39	39	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
40	39	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
40	40	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00
41	40	CONTRABOVEDA	699.38	0.36	2.09	0.00	10.52	10.52	0.00



A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
41	41	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
42	41	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
42	42	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
43	42	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
43	43	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
44	43	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
44	44	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
45	44	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
45	45	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
46	45	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
46	46	CONTRABOVEDA	697.83	0.41	2.11	0.00	10.52	10.52	0.00
47	46	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
47	47	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
48	47	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
48	48	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
49	48	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
49	49	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
50	49	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
50	50	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
51	50	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
51	51	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
52	51	CONTRABOVEDA	697.92	0.42	2.10	0.00	10.52	10.52	0.00
52	52	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
53	52	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
53	53	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
54	53	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
54	54	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
55	54	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
55	55	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
56	55	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
56	56	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
57	56	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
57	57	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
58	57	CONTRABOVEDA	698.14	0.68	2.25	0.00	10.52	10.52	0.00
58	58	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
59	58	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
59	59	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
60	59	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
60	60	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
61	60	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
61	61	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
62	61	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
62	62	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
63	62	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
63	63	CONTRABOVEDA	699.35	0.14	2.72	0.00	10.52	10.52	0.00
64	63	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
64	64	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
65	64	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
65	65	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
66	65	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
66	66	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
67	66	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
67	67	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
68	67	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
68	68	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
69	68	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
69	69	CONTRABOVEDA	702.02	1.40	3.60	0.00	10.52	10.52	0.00
70	69	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	0.00	10.52	10.52	0.00
70	70	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	0.00	10.52	10.52	0.00
71	70	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	0.00	10.52	10.52	0.00
71	71	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	0.00	10.52	10.52	0.00
72	71	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	0.00	10.52	10.52	0.00
72	72	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	-0.42	10.52	10.52	0.00
73	72	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	-0.42	10.52	10.52	0.00
73	73	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	-0.42	10.52	10.52	0.00
74	73	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	-0.42	10.52	10.52	0.00
74	74	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	-0.42	10.52	10.52	0.00
75	74	CONTRABOVEDA	710.31	2.52	5.84	-0.42	10.52	10.52	0.00
75	75	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
76	75	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
76	76	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
77	76	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00



Handwritten signature and date: 2011



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+(m·t)	MD-(m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
77	77	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
78	77	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
78	78	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
79	78	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
79	79	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
80	79	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
80	80	CONTRABOVEDA	727.02	8.40	12.06	-0.42	9.51	10.52	0.00
81	80	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	-0.42	13.37	13.37	0.00
81	81	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	-0.42	13.37	13.37	0.00
82	81	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	-0.42	13.37	13.37	0.00
82	82	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	-0.42	13.37	13.37	0.00
83	82	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	-0.42	13.37	13.37	0.00
83	83	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	-0.42	13.37	13.37	0.00
84	83	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	0.00	13.37	13.37	0.00
84	84	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	0.00	13.37	13.37	0.00
85	84	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	0.00	13.37	13.37	0.00
85	85	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	0.00	13.37	13.37	0.00
86	85	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	0.00	13.37	13.37	0.00
86	86	HASTIAL	759.90	3.51	18.85	0.00	13.37	13.37	0.00
87	86	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
87	87	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
88	87	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
88	88	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
89	88	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
89	89	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
90	89	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
90	90	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
91	90	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
91	91	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
92	91	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
92	92	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
93	92	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
93	93	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
94	93	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
94	94	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
95	94	HASTIAL	802.83	81.48	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
95	95	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
96	95	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
96	96	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
97	96	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
97	97	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
98	97	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
98	98	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
99	98	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
99	99	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
100	99	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
100	100	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
101	100	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
101	101	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
102	101	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
102	102	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
103	102	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
103	103	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
104	103	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
104	104	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
105	104	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
105	105	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
106	105	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
106	106	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
107	106	BOVEDA	786.90	41.33	0.00	0.00	18.93	18.93	0.00
107	107	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	0.00	8.53	18.00	0.00
108	107	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
108	108	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
109	108	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
109	109	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
110	109	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
110	110	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
111	110	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
111	111	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
112	111	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
112	112	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
113	112	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00

Handwritten signature and initials.



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
113	113	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
114	113	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
114	114	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
115	114	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
115	115	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
116	115	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
116	116	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
117	116	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
117	117	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
118	117	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
118	118	BOVEDA	779.79	11.15	12.31	-0.61	8.53	17.53	0.00
119	118	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	-0.61	5.81	15.56	0.00
119	119	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
120	119	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
120	120	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
121	120	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
121	121	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
122	121	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
122	122	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
123	122	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
123	123	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
124	123	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
124	124	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
125	124	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
125	125	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
126	125	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
126	126	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
127	126	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
127	127	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
128	127	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
128	128	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
129	128	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
129	129	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
130	129	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
130	130	BOVEDA	764.75	0.74	0.03	0.00	10.00	10.00	0.00
131	130	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
131	131	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
132	131	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
132	132	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
133	132	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
133	133	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
134	133	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
134	134	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
135	134	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
135	135	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
136	135	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
136	136	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
137	136	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
137	137	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
138	137	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
138	138	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
139	138	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
139	139	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
140	139	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
140	140	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
141	140	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
141	141	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
142	141	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
142	142	BOVEDA	761.01	0.18	0.69	0.00	9.95	9.95	0.00
143	142	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
143	143	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
144	143	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
144	144	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
145	144	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
145	145	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
146	145	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
146	146	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
147	146	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
147	147	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
148	147	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
148	148	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
149	148	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00



*[Handwritten signature]*



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
149	149	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
150	149	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
150	150	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
151	150	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
151	151	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
152	151	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
152	152	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
153	152	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
153	153	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
154	153	BOVEDA	763.05	0.35	0.06	0.00	9.98	9.98	0.00
154	154	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
155	154	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
155	155	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
156	155	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
156	156	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
157	156	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
157	157	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
158	157	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
158	158	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
159	158	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
159	159	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
160	159	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
160	160	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
161	160	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
161	161	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
162	161	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
162	162	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
163	162	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
163	163	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
164	163	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
164	164	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
165	164	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
165	165	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
166	165	BOVEDA	762.52	0.40	0.12	0.00	9.97	9.97	0.00
166	166	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
167	166	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
167	167	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
168	167	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
168	168	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
169	168	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
169	169	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
170	169	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
170	170	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
171	170	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
171	171	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
172	171	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
172	172	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
173	172	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
173	173	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
174	173	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
174	174	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
175	174	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
175	175	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
176	175	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
176	176	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
177	176	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
177	177	BOVEDA	767.64	0.85	0.00	0.00	16.41	16.41	0.00
178	177	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
178	178	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	-22.83	16.90	10.52	0.00
179	178	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	-22.83	16.90	10.52	0.00
179	179	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
180	179	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
180	180	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
181	180	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
181	181	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
182	181	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
182	182	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
183	182	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
183	183	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
184	183	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
184	184	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
185	184	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00





BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
185	185	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
186	185	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
186	186	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
187	186	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
187	187	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
188	187	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
188	188	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
189	188	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
189	189	BOVEDA	761.38	1.22	0.02	0.00	9.96	9.96	0.00
190	189	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
190	190	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
191	190	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
191	191	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
192	191	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
192	192	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
193	192	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
193	193	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
194	193	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
194	194	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
195	194	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
195	195	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
196	195	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
196	196	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
197	196	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
197	197	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
198	197	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
198	198	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
199	198	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
199	199	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
200	199	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
200	200	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
201	200	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
201	201	BOVEDA	760.29	1.14	0.11	0.00	9.94	9.94	0.00
202	201	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
202	202	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
203	202	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
203	203	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
204	203	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
204	204	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
205	204	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
205	205	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
206	205	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
206	206	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
207	206	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
207	207	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
208	207	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
208	208	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
209	208	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
209	209	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
210	209	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
210	210	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
211	210	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
211	211	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
212	211	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
212	212	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
213	212	BOVEDA	767.89	0.53	0.00	0.00	16.44	16.44	0.00
213	213	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
214	213	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
214	214	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
215	214	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
215	215	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
216	215	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
216	216	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
217	216	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
217	217	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
218	217	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
218	218	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
219	218	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
219	219	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
220	219	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
220	220	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
221	220	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
221	221	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
222	221	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
222	222	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
223	222	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
223	223	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
224	223	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
224	224	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
225	224	BOVEDA	764.27	0.06	0.09	0.00	9.99	9.99	0.00
225	225	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
226	225	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
226	226	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
227	226	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
227	227	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
228	227	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
228	228	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
229	228	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
229	229	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
230	229	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
230	230	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
231	230	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
231	231	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
232	231	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
232	232	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
233	232	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
233	233	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
234	233	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
234	234	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
235	234	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
235	235	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
236	235	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
236	236	BOVEDA	762.82	0.08	0.25	0.00	9.97	9.97	0.00
237	236	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
237	237	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
238	237	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
238	238	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
239	238	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
239	239	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
240	239	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
240	240	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
241	240	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
241	241	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
242	241	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
242	242	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
243	242	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
243	243	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
244	243	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
244	244	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
245	244	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
245	245	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
246	245	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
246	246	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
247	246	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
247	247	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
248	247	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
248	248	BOVEDA	763.79	0.39	0.81	0.00	15.28	5.58	0.00
249	248	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
249	249	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
250	249	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
250	250	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
251	250	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
251	251	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
252	251	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
252	252	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
253	252	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
253	253	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
254	253	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
254	254	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
255	254	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
255	255	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
256	255	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
256	256	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
257	256	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
257	257	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
258	257	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
258	258	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
259	258	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
259	259	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
260	259	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
260	260	BOVEDA	764.03	1.09	0.00	0.00	9.99	9.99	0.00
261	260	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
261	261	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
262	261	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
262	262	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
263	262	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
263	263	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
264	263	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
264	264	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
265	264	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
265	265	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
266	265	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
266	266	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
267	266	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
267	267	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
268	267	BOVEDA	779.60	11.03	11.73	0.00	8.95	17.97	0.00
268	268	HASTIAL	779.60	11.03	11.73	0.00	13.37	13.37	0.00
269	268	HASTIAL	779.60	11.03	11.73	0.00	13.37	13.37	0.00
269	269	HASTIAL	779.60	11.03	11.73	0.00	13.37	13.37	0.00
270	269	HASTIAL	779.60	11.03	11.73	0.00	13.37	13.37	0.00
270	270	HASTIAL	779.60	11.03	11.73	0.00	13.37	13.37	0.00
271	270	HASTIAL	779.60	11.03	11.73	0.00	13.37	13.37	0.00
271	271	HASTIAL	779.60	11.03	11.73	0.00	13.37	13.37	0.00
272	271	HASTIAL	779.60	11.03	11.73	0.00	13.37	13.37	0.00
272	272	HASTIAL	782.95	40.32	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00
273	272	HASTIAL	782.95	40.32	0.00	0.00	13.37	13.37	0.00

4.1.3.3 Hipótesis 3

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
1	1	HASTIAL	447.49	60.11	2.36	-24.82	5.85	5.85	0.00
2	1	HASTIAL	447.49	60.11	2.36	-24.82	5.85	5.85	0.00
2	2	HASTIAL	447.49	60.11	2.36	-24.82	5.85	5.85	0.00
3	2	HASTIAL	433.01	60.37	1.53	-24.82	5.66	5.66	0.00
3	3	HASTIAL	433.01	60.37	1.53	-24.82	5.66	5.66	0.00
4	3	HASTIAL	433.01	60.37	1.53	-24.82	5.66	5.66	0.00
4	4	HASTIAL	433.01	60.37	1.53	-24.82	5.66	5.66	0.00
5	4	HASTIAL	433.01	60.37	1.53	-24.82	5.66	5.66	0.00
5	5	HASTIAL	440.03	59.45	0.90	-24.82	5.75	5.75	0.00
6	5	HASTIAL	440.03	59.45	0.90	-24.82	5.75	5.75	0.00
6	6	HASTIAL	440.03	59.45	0.90	-24.82	5.75	5.75	0.00
7	6	CONTRABOVEDA	416.36	3.61	14.49	0.00	5.44	5.44	0.00
7	7	CONTRABOVEDA	416.36	3.61	14.49	0.00	5.44	5.44	0.00
8	7	CONTRABOVEDA	416.36	3.61	14.49	0.00	5.44	5.44	0.00
8	8	CONTRABOVEDA	424.20	3.22	14.23	0.00	5.55	5.55	0.00
9	8	CONTRABOVEDA	424.20	3.22	14.23	0.00	5.55	5.55	0.00
9	9	CONTRABOVEDA	424.20	3.22	14.23	0.00	5.55	5.55	0.00
10	9	CONTRABOVEDA	424.20	3.22	14.23	0.00	5.55	5.55	0.00
10	10	CONTRABOVEDA	424.20	3.22	14.23	0.00	5.55	5.55	0.00
11	10	CONTRABOVEDA	424.20	3.22	14.23	0.00	5.55	5.55	0.00
11	11	CONTRABOVEDA	438.58	3.56	13.98	0.00	5.73	5.73	0.00
12	11	CONTRABOVEDA	438.58	3.56	13.98	0.00	5.73	5.73	0.00
12	12	CONTRABOVEDA	438.58	3.56	13.98	0.00	5.73	5.73	0.00
13	12	CONTRABOVEDA	415.65	6.68	8.82	0.00	5.43	5.43	0.00
13	13	CONTRABOVEDA	415.65	6.68	8.82	0.00	5.43	5.43	0.00
14	13	CONTRABOVEDA	421.69	6.47	8.54	0.00	5.51	5.51	0.00
14	14	CONTRABOVEDA	421.69	6.47	8.54	0.00	5.51	5.51	0.00
15	14	CONTRABOVEDA	421.69	6.47	8.54	0.00	5.51	5.51	0.00
15	15	CONTRABOVEDA	421.69	6.47	8.54	0.00	5.51	5.51	0.00
16	15	CONTRABOVEDA	421.69	6.47	8.54	0.00	5.51	5.51	0.00
16	16	CONTRABOVEDA	421.69	6.47	8.54	0.00	5.51	5.51	0.00
17	16	CONTRABOVEDA	429.53	6.28	8.44	-0.06	5.62	5.62	0.00
17	17	CONTRABOVEDA	429.53	6.28	8.44	-0.06	5.62	5.62	0.00
18	17	CONTRABOVEDA	429.53	6.28	8.44	-0.06	5.62	5.62	0.00



Handwritten signature and initials.



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
18	18	CONTRABOVEDA	416.27	1.65	4.14	-0.06	5.44	5.44	0.00
19	18	CONTRABOVEDA	416.27	1.65	4.14	-0.06	5.44	5.44	0.00
19	19	CONTRABOVEDA	416.27	1.65	4.14	-0.06	5.44	5.44	0.00
20	19	CONTRABOVEDA	424.01	1.97	4.14	-0.26	5.54	5.54	0.00
20	20	CONTRABOVEDA	424.01	1.97	4.14	-0.26	5.54	5.54	0.00
21	20	CONTRABOVEDA	424.01	1.97	4.14	-0.26	5.54	5.54	0.00
21	21	CONTRABOVEDA	424.01	1.97	4.14	-0.26	5.54	5.54	0.00
22	21	CONTRABOVEDA	424.01	1.97	4.14	-0.26	5.54	5.54	0.00
22	22	CONTRABOVEDA	424.01	1.97	4.14	-0.26	5.54	5.54	0.00
23	22	CONTRABOVEDA	438.15	1.64	4.14	-0.46	5.73	5.73	0.00
23	23	CONTRABOVEDA	438.15	1.64	4.14	-0.46	5.73	5.73	0.00
24	23	CONTRABOVEDA	434.79	1.07	2.80	-0.46	5.69	5.69	0.00
24	24	CONTRABOVEDA	434.79	1.07	2.80	-0.46	5.69	5.69	0.00
25	24	CONTRABOVEDA	434.79	1.07	2.80	-0.46	5.69	5.69	0.00
25	25	CONTRABOVEDA	443.12	0.96	2.80	-0.53	5.79	5.79	0.00
26	25	CONTRABOVEDA	443.12	0.96	2.80	-0.53	5.79	5.79	0.00
26	26	CONTRABOVEDA	443.12	0.96	2.80	-0.53	5.79	5.79	0.00
27	26	CONTRABOVEDA	443.12	0.96	2.80	-0.53	5.79	5.79	0.00
27	27	CONTRABOVEDA	443.12	0.96	2.80	-0.53	5.79	5.79	0.00
28	27	CONTRABOVEDA	443.12	0.96	2.80	-0.53	5.79	5.79	0.00
28	28	CONTRABOVEDA	449.93	0.95	2.80	-0.57	5.88	5.88	0.00
29	28	CONTRABOVEDA	449.93	0.95	2.80	-0.57	5.88	5.88	0.00
29	29	CONTRABOVEDA	449.93	0.95	2.80	-0.57	5.88	5.88	0.00
30	29	CONTRABOVEDA	449.48	0.59	1.99	-0.57	5.88	5.88	0.00
30	30	CONTRABOVEDA	449.48	0.59	1.99	-0.57	5.88	5.88	0.00
31	30	CONTRABOVEDA	449.48	0.59	1.99	-0.57	5.88	5.88	0.00
31	31	CONTRABOVEDA	454.75	1.45	1.99	-0.85	5.95	5.95	0.00
32	31	CONTRABOVEDA	454.75	1.45	1.99	-0.85	5.95	5.95	0.00
32	32	CONTRABOVEDA	454.75	1.45	1.99	-0.85	5.95	5.95	0.00
33	32	CONTRABOVEDA	454.75	1.45	1.99	-0.85	5.95	5.95	0.00
33	33	CONTRABOVEDA	454.75	1.45	1.99	-0.85	5.95	5.95	0.00
34	33	CONTRABOVEDA	454.75	1.45	1.99	-0.85	5.95	5.95	0.00
34	34	CONTRABOVEDA	466.12	0.70	1.99	-1.06	6.09	6.09	0.00
35	34	CONTRABOVEDA	466.12	0.70	1.99	-1.06	6.09	6.09	0.00
35	35	CONTRABOVEDA	465.22	0.44	1.54	-1.06	6.08	6.08	0.00
36	35	CONTRABOVEDA	465.22	0.44	1.54	-1.06	6.08	6.08	0.00
36	36	CONTRABOVEDA	465.22	0.44	1.54	-1.06	6.08	6.08	0.00
37	36	CONTRABOVEDA	472.99	0.34	1.54	-0.99	6.18	6.18	0.00
37	37	CONTRABOVEDA	472.99	0.34	1.54	-0.99	6.18	6.18	0.00
38	37	CONTRABOVEDA	472.99	0.34	1.54	-0.99	6.18	6.18	0.00
38	38	CONTRABOVEDA	472.99	0.34	1.54	-0.99	6.18	6.18	0.00
39	38	CONTRABOVEDA	472.99	0.34	1.54	-0.99	6.18	6.18	0.00
39	39	CONTRABOVEDA	472.99	0.34	1.54	-0.99	6.18	6.18	0.00
40	39	CONTRABOVEDA	477.11	0.31	1.54	-0.96	10.52	10.52	0.00
40	40	CONTRABOVEDA	477.11	0.31	1.54	-0.96	10.52	10.52	0.00
41	40	CONTRABOVEDA	477.11	0.31	1.54	-0.96	10.52	10.52	0.00
41	41	CONTRABOVEDA	476.20	0.34	1.56	-0.96	6.23	6.23	0.00
42	41	CONTRABOVEDA	476.20	0.34	1.56	-0.96	6.23	6.23	0.00
42	42	CONTRABOVEDA	476.20	0.34	1.56	-0.96	6.23	6.23	0.00
43	42	CONTRABOVEDA	477.78	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
43	43	CONTRABOVEDA	477.78	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
44	43	CONTRABOVEDA	477.78	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
44	44	CONTRABOVEDA	477.78	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
45	44	CONTRABOVEDA	477.78	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
45	45	CONTRABOVEDA	483.70	0.79	1.56	-1.46	10.52	10.52	0.00
46	45	CONTRABOVEDA	483.70	0.79	1.56	-1.46	10.52	10.52	0.00
46	46	CONTRABOVEDA	483.70	0.79	1.56	-1.46	10.52	10.52	0.00
47	46	CONTRABOVEDA	483.75	0.80	1.55	-1.46	10.52	10.52	0.00
47	47	CONTRABOVEDA	483.75	0.80	1.55	-1.46	10.52	10.52	0.00
48	47	CONTRABOVEDA	483.75	0.80	1.55	-1.46	10.52	10.52	0.00
48	48	CONTRABOVEDA	489.01	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
49	48	CONTRABOVEDA	489.01	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
49	49	CONTRABOVEDA	489.01	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
50	49	CONTRABOVEDA	489.01	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
50	50	CONTRABOVEDA	489.01	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
51	50	CONTRABOVEDA	489.01	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
51	51	CONTRABOVEDA	489.30	0.49	1.55	-1.11	10.52	10.52	0.00
52	51	CONTRABOVEDA	489.30	0.49	1.55	-1.11	10.52	10.52	0.00
52	52	CONTRABOVEDA	489.43	0.68	1.65	-1.11	10.52	10.52	0.00
53	52	CONTRABOVEDA	489.43	0.68	1.65	-1.11	10.52	10.52	0.00
53	53	CONTRABOVEDA	489.43	0.68	1.65	-1.11	10.52	10.52	0.00
54	53	CONTRABOVEDA	489.43	0.68	1.65	-1.11	10.52	10.52	0.00


 2023  
 12/2023



[2777]

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



002421

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
54	54	CONTRABOVEDA	486.93	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
55	54	CONTRABOVEDA	486.93	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
55	55	CONTRABOVEDA	486.93	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
56	55	CONTRABOVEDA	486.93	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
56	56	CONTRABOVEDA	486.93	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
57	56	CONTRABOVEDA	485.69	1.21	1.65	-1.48	10.52	10.52	0.00
57	57	CONTRABOVEDA	485.69	1.21	1.65	-1.48	10.52	10.52	0.00
58	57	CONTRABOVEDA	485.69	1.21	1.65	-1.48	10.52	10.52	0.00
58	58	CONTRABOVEDA	486.40	0.81	2.00	-1.48	10.52	10.52	0.00
59	58	CONTRABOVEDA	486.40	0.81	2.00	-1.48	10.52	10.52	0.00
59	59	CONTRABOVEDA	486.40	0.81	2.00	-1.48	10.52	10.52	0.00
60	59	CONTRABOVEDA	487.67	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
60	60	CONTRABOVEDA	487.67	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
61	60	CONTRABOVEDA	487.67	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
61	61	CONTRABOVEDA	487.67	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
62	61	CONTRABOVEDA	487.67	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
62	62	CONTRABOVEDA	487.67	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
63	62	CONTRABOVEDA	487.92	0.21	2.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
63	63	CONTRABOVEDA	487.92	0.21	2.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
64	63	CONTRABOVEDA	489.49	1.14	2.65	-1.05	10.52	10.52	0.00
64	64	CONTRABOVEDA	489.49	1.14	2.65	-1.05	10.52	10.52	0.00
65	64	CONTRABOVEDA	489.49	1.14	2.65	-1.05	10.52	10.52	0.00
65	65	CONTRABOVEDA	480.13	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
66	65	CONTRABOVEDA	480.13	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
66	66	CONTRABOVEDA	480.13	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
67	66	CONTRABOVEDA	480.13	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
67	67	CONTRABOVEDA	480.13	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
68	67	CONTRABOVEDA	480.13	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
68	68	CONTRABOVEDA	469.22	1.80	2.65	-1.21	6.14	6.14	0.00
69	68	CONTRABOVEDA	469.22	1.80	2.65	-1.21	6.14	6.14	0.00
69	69	CONTRABOVEDA	469.22	1.80	2.65	-1.21	6.14	6.14	0.00
70	69	CONTRABOVEDA	474.10	2.62	4.29	-1.21	6.20	6.20	0.00
70	70	CONTRABOVEDA	474.10	2.62	4.29	-1.21	6.20	6.20	0.00
71	70	CONTRABOVEDA	474.10	2.62	4.29	-1.21	6.20	6.20	0.00
71	71	CONTRABOVEDA	474.68	2.35	4.29	-0.85	6.21	6.21	0.00
72	71	CONTRABOVEDA	474.68	2.35	4.29	-0.85	6.21	6.21	0.00
72	72	CONTRABOVEDA	474.68	2.35	4.29	-0.85	6.21	6.21	0.00
73	72	CONTRABOVEDA	474.68	2.35	4.29	-0.85	6.21	6.21	0.00
73	73	CONTRABOVEDA	474.68	2.35	4.29	-0.85	6.21	6.21	0.00
74	73	CONTRABOVEDA	474.68	2.35	4.29	-0.85	6.21	6.21	0.00
74	74	CONTRABOVEDA	470.19	1.89	4.29	-0.70	6.15	6.15	0.00
75	74	CONTRABOVEDA	470.19	1.89	4.29	-0.70	6.15	6.15	0.00
75	75	CONTRABOVEDA	480.02	6.21	8.87	-0.70	10.52	10.52	0.00
76	75	CONTRABOVEDA	480.02	6.21	8.87	-0.70	10.52	10.52	0.00
76	76	CONTRABOVEDA	480.02	6.21	8.87	-0.70	10.52	10.52	0.00
77	76	CONTRABOVEDA	469.93	6.43	8.87	-0.76	6.14	6.14	0.00
77	77	CONTRABOVEDA	469.93	6.43	8.87	-0.76	6.14	6.14	0.00
78	77	CONTRABOVEDA	469.93	6.43	8.87	-0.76	6.14	6.14	0.00
78	78	CONTRABOVEDA	469.93	6.43	8.87	-0.76	6.14	6.14	0.00
79	78	CONTRABOVEDA	469.93	6.43	8.87	-0.76	6.14	6.14	0.00
79	79	CONTRABOVEDA	469.93	6.43	8.87	-0.76	6.14	6.14	0.00
80	79	CONTRABOVEDA	455.40	6.88	8.87	-0.63	5.95	5.95	0.00
80	80	CONTRABOVEDA	455.40	6.88	8.87	-0.63	5.95	5.95	0.00
81	80	HASTIAL	474.74	3.28	13.86	-0.63	6.21	6.21	0.00
81	81	HASTIAL	474.74	3.28	13.86	-0.63	6.21	6.21	0.00
82	81	HASTIAL	474.74	3.28	13.86	-0.63	6.21	6.21	0.00
82	82	HASTIAL	474.74	3.28	13.86	-0.63	6.21	6.21	0.00
83	82	HASTIAL	471.37	2.90	13.86	-0.34	6.16	6.16	0.00
83	83	HASTIAL	471.37	2.90	13.86	-0.34	6.16	6.16	0.00
84	83	HASTIAL	471.37	2.90	13.86	-0.34	6.16	6.16	0.00
84	84	HASTIAL	471.37	2.90	13.86	-0.34	6.16	6.16	0.00
85	84	HASTIAL	471.37	2.90	13.86	-0.34	6.16	6.16	0.00
85	85	HASTIAL	471.37	2.90	13.86	-0.34	6.16	6.16	0.00
86	85	HASTIAL	462.68	2.68	13.86	-0.21	6.05	6.05	0.00
86	86	HASTIAL	462.68	2.68	13.86	-0.21	6.05	6.05	0.00
87	86	HASTIAL	487.93	60.02	0.00	-25.82	6.38	6.38	0.00
87	87	HASTIAL	487.93	60.02	0.00	-25.82	6.38	6.38	0.00
88	87	HASTIAL	487.93	60.02	0.00	-25.82	6.38	6.38	0.00
88	88	HASTIAL	479.01	60.23	0.00	-25.70	6.26	6.26	0.00
89	88	HASTIAL	479.01	60.23	0.00	-25.70	6.26	6.26	0.00
89	89	HASTIAL	479.01	60.23	0.00	-25.70	6.26	6.26	0.00
90	89	HASTIAL	479.01	60.23	0.00	-25.70	6.26	6.26	0.00



CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AVE. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO DIANA CASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



[239]

602  
[Signature]

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
90	90	HASTIAL	479.01	60.23	0.00	-25.70	6.26	6.26	0.00
91	90	HASTIAL	479.01	60.23	0.00	-25.70	6.26	6.26	0.00
91	91	HASTIAL	465.29	60.23	0.09	-25.61	6.08	6.08	0.00
92	91	HASTIAL	465.29	60.23	0.09	-25.61	6.08	6.08	0.00
92	92	HASTIAL	465.29	60.23	0.09	-25.61	6.08	6.08	0.00
93	92	HASTIAL	465.29	60.23	0.09	-25.61	6.08	6.08	0.00
93	93	HASTIAL	465.29	60.23	0.09	-25.61	6.08	6.08	0.00
94	93	HASTIAL	465.29	60.23	0.09	-25.61	6.08	6.08	0.00
94	94	HASTIAL	456.39	60.03	0.21	-25.61	5.97	5.97	0.00
95	94	HASTIAL	456.39	60.03	0.21	-25.61	5.97	5.97	0.00
95	95	BOVEDA	447.02	30.50	0.21	-23.30	5.85	5.85	0.00
96	95	BOVEDA	447.02	30.50	0.21	-23.30	5.85	5.85	0.00
96	96	BOVEDA	447.02	30.50	0.21	-23.30	5.85	5.85	0.00
97	96	BOVEDA	438.36	30.73	0.34	-23.30	5.73	5.73	0.00
97	97	BOVEDA	438.36	30.73	0.34	-23.30	5.73	5.73	0.00
98	97	BOVEDA	438.36	30.73	0.34	-23.30	5.73	5.73	0.00
98	98	BOVEDA	438.36	30.73	0.34	-23.30	5.73	5.73	0.00
99	98	BOVEDA	438.36	30.73	0.34	-23.30	5.73	5.73	0.00
99	99	BOVEDA	438.36	30.73	0.34	-23.30	5.73	5.73	0.00
100	99	BOVEDA	435.01	31.08	0.64	-23.30	5.69	5.69	0.00
100	100	BOVEDA	435.01	31.08	0.64	-23.30	5.69	5.69	0.00
101	100	BOVEDA	435.01	31.08	0.64	-23.30	5.69	5.69	0.00
101	101	BOVEDA	435.01	31.08	0.64	-23.30	5.69	5.69	0.00
102	101	BOVEDA	435.01	31.08	0.64	-23.30	5.69	5.69	0.00
102	102	BOVEDA	435.01	31.08	0.64	-23.30	5.69	5.69	0.00
103	102	BOVEDA	420.54	30.65	0.76	-23.30	5.50	5.50	0.00
103	103	BOVEDA	420.54	30.65	0.76	-23.30	5.50	5.50	0.00
104	103	BOVEDA	420.54	30.65	0.76	-23.30	5.50	5.50	0.00
104	104	BOVEDA	420.54	30.65	0.76	-23.30	5.50	5.50	0.00
105	104	BOVEDA	420.54	30.65	0.76	-23.30	5.50	5.50	0.00
105	105	BOVEDA	420.54	30.65	0.76	-23.30	5.50	5.50	0.00
106	105	BOVEDA	410.40	30.43	0.70	-23.30	5.37	5.37	0.00
106	106	BOVEDA	410.40	30.43	0.70	-23.30	5.37	5.37	0.00
107	106	BOVEDA	410.40	30.43	0.70	-23.30	5.37	5.37	0.00
107	107	BOVEDA	406.22	8.24	9.75	0.00	5.31	5.31	0.00
108	107	BOVEDA	406.22	8.24	9.75	0.00	5.31	5.31	0.00
108	108	BOVEDA	401.70	8.69	9.90	0.00	5.25	5.25	0.00
109	108	BOVEDA	401.70	8.69	9.90	0.00	5.25	5.25	0.00
109	109	BOVEDA	401.70	8.69	9.90	0.00	5.25	5.25	0.00
110	109	BOVEDA	401.70	8.69	9.90	0.00	5.25	5.25	0.00
110	110	BOVEDA	401.70	8.69	9.90	0.00	5.25	5.25	0.00
111	110	BOVEDA	401.70	8.69	9.90	0.00	5.25	5.25	0.00
111	111	BOVEDA	402.30	8.98	10.27	0.00	5.26	5.26	0.00
112	111	BOVEDA	402.30	8.98	10.27	0.00	5.26	5.26	0.00
112	112	BOVEDA	402.30	8.98	10.27	0.00	5.26	5.26	0.00
113	112	BOVEDA	402.30	8.98	10.27	0.00	5.26	5.26	0.00
113	113	BOVEDA	402.30	8.98	10.27	0.00	5.26	5.26	0.00
114	113	BOVEDA	402.30	8.98	10.27	0.00	5.26	5.26	0.00
114	114	BOVEDA	391.41	8.92	10.28	0.00	5.12	5.12	0.00
115	114	BOVEDA	391.41	8.92	10.28	0.00	5.12	5.12	0.00
115	115	BOVEDA	391.41	8.92	10.28	0.00	5.12	5.12	0.00
116	115	BOVEDA	391.41	8.92	10.28	0.00	5.12	5.12	0.00
116	116	BOVEDA	391.41	8.92	10.28	0.00	5.12	5.12	0.00
117	116	BOVEDA	382.09	8.30	10.11	0.00	5.00	5.00	0.00
117	117	BOVEDA	382.09	8.30	10.11	0.00	5.00	5.00	0.00
118	117	BOVEDA	382.09	8.30	10.11	0.00	5.00	5.00	0.00
118	118	BOVEDA	382.09	8.30	10.11	0.00	5.00	5.00	0.00
119	118	BOVEDA	373.24	0.65	1.07	0.00	4.88	4.88	0.00
119	119	BOVEDA	373.24	0.65	1.07	0.00	4.88	4.88	0.00
120	119	BOVEDA	373.52	0.89	1.20	0.00	4.88	4.88	0.00
120	120	BOVEDA	373.52	0.89	1.20	0.00	4.88	4.88	0.00
121	120	BOVEDA	373.52	0.89	1.20	0.00	4.88	4.88	0.00
121	121	BOVEDA	373.52	0.89	1.20	0.00	4.88	4.88	0.00
122	121	BOVEDA	373.52	0.89	1.20	0.00	4.88	4.88	0.00
122	122	BOVEDA	373.52	0.89	1.20	0.00	4.88	4.88	0.00
123	122	BOVEDA	374.82	1.25	1.51	0.00	4.90	4.90	0.00
123	123	BOVEDA	374.82	1.25	1.51	0.00	4.90	4.90	0.00
124	123	BOVEDA	374.82	1.25	1.51	0.00	4.90	4.90	0.00
124	124	BOVEDA	374.82	1.25	1.51	0.00	4.90	4.90	0.00
125	124	BOVEDA	374.82	1.25	1.51	0.00	4.90	4.90	0.00
125	125	BOVEDA	374.82	1.25	1.51	0.00	4.90	4.90	0.00
126	125	BOVEDA	373.62	1.62	1.40	0.00	4.89	4.89	0.00



A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
126	126	BOVEDA	373.62	1.62	1.40	0.00	4.89	4.89	0.00
127	126	BOVEDA	373.62	1.62	1.40	0.00	4.89	4.89	0.00
127	127	BOVEDA	373.62	1.62	1.40	0.00	4.89	4.89	0.00
128	127	BOVEDA	373.62	1.62	1.40	0.00	4.89	4.89	0.00
128	128	BOVEDA	371.15	0.72	1.14	0.00	4.85	4.85	0.00
129	128	BOVEDA	371.15	0.72	1.14	0.00	4.85	4.85	0.00
129	129	BOVEDA	371.15	0.72	1.14	0.00	4.85	4.85	0.00
130	129	BOVEDA	371.15	0.72	1.14	0.00	4.85	4.85	0.00
130	130	BOVEDA	371.15	0.72	1.14	0.00	4.85	4.85	0.00
131	130	BOVEDA	368.95	0.30	1.63	0.00	4.82	4.82	0.00
131	131	BOVEDA	369.27	0.40	1.75	0.00	4.83	4.83	0.00
132	131	BOVEDA	369.27	0.40	1.75	0.00	4.83	4.83	0.00
132	132	BOVEDA	369.27	0.40	1.75	0.00	4.83	4.83	0.00
133	132	BOVEDA	369.27	0.40	1.75	0.00	4.83	4.83	0.00
133	133	BOVEDA	369.27	0.40	1.75	0.00	4.83	4.83	0.00
134	133	BOVEDA	369.27	0.40	1.75	0.00	4.83	4.83	0.00
134	134	BOVEDA	374.54	0.61	1.97	0.00	4.90	4.90	0.00
135	134	BOVEDA	374.54	0.61	1.97	0.00	4.90	4.90	0.00
135	135	BOVEDA	374.54	0.61	1.97	0.00	4.90	4.90	0.00
136	135	BOVEDA	374.54	0.61	1.97	0.00	4.90	4.90	0.00
136	136	BOVEDA	374.54	0.61	1.97	0.00	4.90	4.90	0.00
137	136	BOVEDA	374.54	0.61	1.97	0.00	4.90	4.90	0.00
137	137	BOVEDA	380.50	1.28	1.78	0.00	4.98	4.98	0.00
138	137	BOVEDA	380.50	1.28	1.78	0.00	4.98	4.98	0.00
138	138	BOVEDA	380.50	1.28	1.78	0.00	4.98	4.98	0.00
139	138	BOVEDA	380.50	1.28	1.78	0.00	4.98	4.98	0.00
139	139	BOVEDA	380.50	1.28	1.78	0.00	4.98	4.98	0.00
140	139	BOVEDA	382.05	0.16	1.46	0.00	5.00	5.00	0.00
140	140	BOVEDA	382.05	0.16	1.46	0.00	5.00	5.00	0.00
141	140	BOVEDA	382.05	0.16	1.46	0.00	5.00	5.00	0.00
141	141	BOVEDA	382.05	0.16	1.46	0.00	5.00	5.00	0.00
142	141	BOVEDA	382.05	0.16	1.46	0.00	5.00	5.00	0.00
142	142	BOVEDA	382.05	0.16	1.46	0.00	5.00	5.00	0.00
143	142	BOVEDA	387.30	0.34	1.03	0.00	5.06	5.06	0.00
143	143	BOVEDA	387.30	0.34	1.03	0.00	5.06	5.06	0.00
144	143	BOVEDA	387.30	0.34	1.03	0.00	5.06	5.06	0.00
144	144	BOVEDA	387.30	0.34	1.03	0.00	5.06	5.06	0.00
145	144	BOVEDA	387.30	0.34	1.03	0.00	5.06	5.06	0.00
145	145	BOVEDA	387.30	0.34	1.03	0.00	5.06	5.06	0.00
146	145	BOVEDA	395.02	0.44	1.11	0.00	5.17	5.17	0.00
146	146	BOVEDA	395.02	0.44	1.11	0.00	5.17	5.17	0.00
147	146	BOVEDA	395.02	0.44	1.11	0.00	5.17	5.17	0.00
147	147	BOVEDA	395.02	0.44	1.11	0.00	5.17	5.17	0.00
148	147	BOVEDA	395.02	0.44	1.11	0.00	5.17	5.17	0.00
148	148	BOVEDA	406.42	1.18	0.89	0.00	5.31	5.31	0.00
149	148	BOVEDA	406.42	1.18	0.89	0.00	5.31	5.31	0.00
149	149	BOVEDA	406.42	1.18	0.89	0.00	5.31	5.31	0.00
150	149	BOVEDA	406.42	1.18	0.89	0.00	5.31	5.31	0.00
150	150	BOVEDA	406.42	1.18	0.89	0.00	5.31	5.31	0.00
151	150	BOVEDA	406.42	1.18	0.89	0.00	5.31	5.31	0.00
151	151	BOVEDA	411.74	0.30	0.62	0.00	5.38	5.38	0.00
152	151	BOVEDA	411.74	0.30	0.62	0.00	5.38	5.38	0.00
152	152	BOVEDA	411.74	0.30	0.62	0.00	5.38	5.38	0.00
153	152	BOVEDA	411.74	0.30	0.62	0.00	5.38	5.38	0.00
153	153	BOVEDA	411.74	0.30	0.62	0.00	5.38	5.38	0.00
154	153	BOVEDA	411.74	0.30	0.62	0.00	5.38	5.38	0.00
154	154	BOVEDA	418.25	0.38	0.62	0.00	5.47	5.47	0.00
155	154	BOVEDA	418.25	0.38	0.62	0.00	5.47	5.47	0.00
155	155	BOVEDA	418.25	0.38	0.62	0.00	5.47	5.47	0.00
156	155	BOVEDA	418.25	0.38	0.62	0.00	5.47	5.47	0.00
156	156	BOVEDA	418.25	0.38	0.62	0.00	5.47	5.47	0.00
157	156	BOVEDA	418.25	0.38	0.62	0.00	5.47	5.47	0.00
157	157	BOVEDA	426.58	0.47	0.54	0.00	5.58	5.58	0.00
158	157	BOVEDA	426.58	0.47	0.54	0.00	5.58	5.58	0.00
158	158	BOVEDA	426.58	0.47	0.54	0.00	5.58	5.58	0.00
159	158	BOVEDA	426.58	0.47	0.54	0.00	5.58	5.58	0.00
159	159	BOVEDA	426.58	0.47	0.54	0.00	5.58	5.58	0.00
160	159	BOVEDA	440.68	0.80	0.34	0.00	5.76	5.76	0.00
160	160	BOVEDA	440.68	0.80	0.34	0.00	5.76	5.76	0.00
161	160	BOVEDA	440.68	0.80	0.34	0.00	5.76	5.76	0.00
161	161	BOVEDA	440.68	0.80	0.34	0.00	5.76	5.76	0.00
162	161	BOVEDA	440.68	0.80	0.34	0.00	5.76	5.76	0.00



Page  
*[Signature]*

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
162	162	BOVEDA	440.68	0.80	0.34	0.00	5.76	5.76	0.00
163	162	BOVEDA	448.41	0.49	0.14	0.00	5.86	5.86	0.00
163	163	BOVEDA	448.41	0.49	0.14	0.00	5.86	5.86	0.00
164	163	BOVEDA	448.41	0.49	0.14	0.00	5.86	5.86	0.00
164	164	BOVEDA	448.41	0.49	0.14	0.00	5.86	5.86	0.00
165	164	BOVEDA	448.41	0.49	0.14	0.00	5.86	5.86	0.00
165	165	BOVEDA	448.41	0.49	0.14	0.00	5.86	5.86	0.00
166	165	BOVEDA	456.25	0.68	0.09	-0.11	5.97	5.97	0.00
166	166	BOVEDA	459.26	1.01	0.00	-0.53	6.01	6.01	0.00
167	166	BOVEDA	459.26	1.01	0.00	-0.53	6.01	6.01	0.00
167	167	BOVEDA	459.26	1.01	0.00	-0.53	6.01	6.01	0.00
168	167	BOVEDA	459.26	1.01	0.00	-0.53	6.01	6.01	0.00
168	168	BOVEDA	465.33	1.21	0.00	-0.81	6.08	6.08	0.00
169	168	BOVEDA	465.33	1.21	0.00	-0.81	6.08	6.08	0.00
169	169	BOVEDA	465.33	1.21	0.00	-0.81	6.08	6.08	0.00
170	169	BOVEDA	465.33	1.21	0.00	-0.81	6.08	6.08	0.00
170	170	BOVEDA	465.33	1.21	0.00	-0.81	6.08	6.08	0.00
171	170	BOVEDA	465.33	1.21	0.00	-0.81	6.08	6.08	0.00
171	171	BOVEDA	479.64	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
172	171	BOVEDA	479.64	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
172	172	BOVEDA	479.64	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
173	172	BOVEDA	479.64	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
173	173	BOVEDA	479.64	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
174	173	BOVEDA	479.64	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
174	174	BOVEDA	487.46	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
175	174	BOVEDA	487.46	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
175	175	BOVEDA	487.46	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
176	175	BOVEDA	487.46	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
176	176	BOVEDA	487.46	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
177	176	BOVEDA	487.46	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
177	177	BOVEDA	494.46	2.20	0.00	-1.94	10.52	10.52	0.00
178	177	BOVEDA	490.78	2.47	0.02	-1.53	10.52	10.52	0.00
178	178	BOVEDA	490.78	2.47	0.02	-1.53	10.52	10.52	0.00
179	178	BOVEDA	490.78	2.47	0.02	-1.53	10.52	10.52	0.00
179	179	BOVEDA	490.78	2.47	0.02	-1.53	10.52	10.52	0.00
180	179	BOVEDA	476.32	2.21	0.02	-2.36	6.23	6.23	0.00
180	180	BOVEDA	476.32	2.21	0.02	-2.36	6.23	6.23	0.00
181	180	BOVEDA	476.32	2.21	0.02	-2.36	6.23	6.23	0.00
181	181	BOVEDA	476.32	2.21	0.02	-2.36	6.23	6.23	0.00
182	181	BOVEDA	476.32	2.21	0.02	-2.36	6.23	6.23	0.00
182	182	BOVEDA	471.19	7.79	0.02	-3.69	6.16	6.16	0.00
183	182	BOVEDA	471.19	7.79	0.02	-3.69	6.16	6.16	0.00
183	183	BOVEDA	507.83	8.16	0.02	-3.64	10.52	10.52	0.00
184	183	BOVEDA	507.83	8.16	0.02	-3.64	10.52	10.52	0.00
184	184	BOVEDA	507.83	8.16	0.02	-3.64	10.52	10.52	0.00
185	184	BOVEDA	511.50	1.56	0.02	-2.54	10.52	10.52	0.00
185	185	BOVEDA	511.50	1.56	0.02	-2.54	10.52	10.52	0.00
186	185	BOVEDA	511.50	1.56	0.02	-2.54	10.52	10.52	0.00
186	186	BOVEDA	510.79	1.56	0.02	-2.35	10.52	10.52	0.00
187	186	BOVEDA	510.79	1.56	0.02	-2.35	10.52	10.52	0.00
187	187	BOVEDA	510.79	1.56	0.02	-2.35	10.52	10.52	0.00
188	187	BOVEDA	509.96	2.44	0.02	-2.05	10.52	10.52	0.00
188	188	BOVEDA	509.96	2.44	0.02	-2.05	10.52	10.52	0.00
189	188	BOVEDA	509.96	2.44	0.02	-2.05	10.52	10.52	0.00
189	189	BOVEDA	511.95	2.15	0.02	-1.66	10.52	10.52	0.00
190	189	BOVEDA	511.31	2.09	0.08	-1.66	10.52	10.52	0.00
190	190	BOVEDA	510.80	1.85	0.08	-1.34	10.52	10.52	0.00
191	190	BOVEDA	510.80	1.85	0.08	-1.34	10.52	10.52	0.00
191	191	BOVEDA	510.80	1.85	0.08	-1.34	10.52	10.52	0.00
192	191	BOVEDA	509.12	1.05	0.08	-1.23	10.52	10.52	0.00
192	192	BOVEDA	509.12	1.05	0.08	-1.23	10.52	10.52	0.00
193	192	BOVEDA	509.12	1.05	0.08	-1.23	10.52	10.52	0.00
193	193	BOVEDA	507.36	2.04	0.08	-1.09	10.52	10.52	0.00
194	193	BOVEDA	507.36	2.04	0.08	-1.09	10.52	10.52	0.00
194	194	BOVEDA	507.36	2.04	0.08	-1.09	10.52	10.52	0.00
195	194	BOVEDA	507.32	1.36	0.08	-0.85	10.52	10.52	0.00
195	195	BOVEDA	507.32	1.36	0.08	-0.85	10.52	10.52	0.00
196	195	BOVEDA	505.81	1.37	0.08	-0.71	10.52	10.52	0.00
196	196	BOVEDA	505.81	1.37	0.08	-0.71	10.52	10.52	0.00
197	196	BOVEDA	505.81	1.37	0.08	-0.71	10.52	10.52	0.00
197	197	BOVEDA	503.66	1.28	0.08	-0.70	10.52	10.52	0.00
198	197	BOVEDA	503.66	1.28	0.08	-0.70	10.52	10.52	0.00



*(Handwritten signature)*

A.C.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINTE (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
198	198	BOVEDA	503.66	1.28	0.08	-0.70	10.52	10.52	0.00
199	198	BOVEDA	501.34	1.73	0.08	-0.63	10.52	10.52	0.00
199	199	BOVEDA	501.34	1.73	0.08	-0.63	10.52	10.52	0.00
200	199	BOVEDA	501.34	1.73	0.08	-0.63	10.52	10.52	0.00
200	200	BOVEDA	500.10	1.02	0.08	-0.48	10.52	10.52	0.00
201	200	BOVEDA	500.10	1.02	0.08	-0.48	10.52	10.52	0.00
201	201	BOVEDA	500.10	1.02	0.08	-0.48	10.52	10.52	0.00
202	201	BOVEDA	502.41	0.69	0.00	-1.02	10.52	10.52	0.00
202	202	BOVEDA	502.41	0.69	0.00	-1.02	10.52	10.52	0.00
203	202	BOVEDA	499.87	0.85	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
203	203	BOVEDA	499.87	0.85	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
204	203	BOVEDA	499.87	0.85	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
204	204	BOVEDA	497.10	1.09	0.00	-1.01	10.52	10.52	0.00
205	204	BOVEDA	497.10	1.09	0.00	-1.01	10.52	10.52	0.00
205	205	BOVEDA	497.10	1.09	0.00	-1.01	10.52	10.52	0.00
206	205	BOVEDA	495.16	0.45	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
206	206	BOVEDA	495.16	0.45	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
207	206	BOVEDA	495.16	0.45	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
207	207	BOVEDA	492.65	0.55	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
208	207	BOVEDA	492.65	0.55	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
208	208	BOVEDA	492.65	0.55	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
209	208	BOVEDA	489.81	0.74	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
209	209	BOVEDA	489.81	0.74	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
210	209	BOVEDA	486.61	0.93	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
210	210	BOVEDA	486.61	0.93	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
211	210	BOVEDA	486.61	0.93	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
211	211	BOVEDA	484.24	0.40	0.00	-0.81	10.52	10.52	0.00
212	211	BOVEDA	484.24	0.40	0.00	-0.81	10.52	10.52	0.00
212	212	BOVEDA	484.24	0.40	0.00	-0.81	10.52	10.52	0.00
213	212	BOVEDA	481.42	0.52	0.00	-0.79	10.52	10.52	0.00
213	213	BOVEDA	479.29	0.17	0.07	-0.18	10.52	10.52	0.00
214	213	BOVEDA	479.29	0.17	0.07	-0.18	10.52	10.52	0.00
214	214	BOVEDA	476.27	0.26	0.07	-0.20	6.23	6.23	0.00
215	214	BOVEDA	476.27	0.26	0.07	-0.20	6.23	6.23	0.00
215	215	BOVEDA	472.78	0.44	0.07	-0.17	6.18	6.18	0.00
216	215	BOVEDA	472.78	0.44	0.07	-0.17	6.18	6.18	0.00
216	216	BOVEDA	472.78	0.44	0.07	-0.17	6.18	6.18	0.00
217	216	BOVEDA	470.06	0.06	0.07	-0.11	6.15	6.15	0.00
217	217	BOVEDA	470.06	0.06	0.07	-0.11	6.15	6.15	0.00
218	217	BOVEDA	470.06	0.06	0.07	-0.11	6.15	6.15	0.00
218	218	BOVEDA	467.11	0.12	0.07	-0.10	6.11	6.11	0.00
219	218	BOVEDA	467.11	0.12	0.07	-0.10	6.11	6.11	0.00
219	219	BOVEDA	467.11	0.12	0.07	-0.10	6.11	6.11	0.00
220	219	BOVEDA	464.05	0.11	0.07	-0.10	6.07	6.07	0.00
220	220	BOVEDA	464.05	0.11	0.07	-0.10	6.07	6.07	0.00
221	220	BOVEDA	464.05	0.11	0.07	-0.10	6.07	6.07	0.00
221	221	BOVEDA	460.37	0.29	0.07	-0.07	6.02	6.02	0.00
222	221	BOVEDA	460.37	0.29	0.07	-0.07	6.02	6.02	0.00
222	222	BOVEDA	457.47	0.06	0.07	-0.04	5.98	5.98	0.00
223	222	BOVEDA	457.47	0.06	0.07	-0.04	5.98	5.98	0.00
223	223	BOVEDA	457.47	0.06	0.07	-0.04	5.98	5.98	0.00
224	223	BOVEDA	454.54	0.05	0.07	-0.03	5.94	5.94	0.00
224	224	BOVEDA	454.54	0.05	0.07	-0.03	5.94	5.94	0.00
225	224	BOVEDA	454.54	0.05	0.07	-0.03	5.94	5.94	0.00
225	225	BOVEDA	450.56	0.16	0.19	-0.02	5.89	5.89	0.00
226	225	BOVEDA	450.56	0.16	0.19	-0.02	5.89	5.89	0.00
226	226	BOVEDA	450.56	0.16	0.19	-0.02	5.89	5.89	0.00
227	226	BOVEDA	446.79	0.17	0.20	0.00	5.84	5.84	0.00
227	227	BOVEDA	446.79	0.17	0.20	0.00	5.84	5.84	0.00
228	227	BOVEDA	443.67	0.07	0.22	0.00	5.80	5.80	0.00
228	228	BOVEDA	443.67	0.07	0.22	0.00	5.80	5.80	0.00
229	228	BOVEDA	443.67	0.07	0.22	0.00	5.80	5.80	0.00
229	229	BOVEDA	440.73	0.08	0.22	0.00	5.76	5.76	0.00
230	229	BOVEDA	440.73	0.08	0.22	0.00	5.76	5.76	0.00
230	230	BOVEDA	440.73	0.08	0.22	0.00	5.76	5.76	0.00
231	230	BOVEDA	437.82	0.31	0.26	0.00	5.72	5.72	0.00
231	231	BOVEDA	437.82	0.31	0.26	0.00	5.72	5.72	0.00
232	231	BOVEDA	437.82	0.31	0.26	0.00	5.72	5.72	0.00
232	232	BOVEDA	434.14	0.12	0.29	0.00	5.68	5.68	0.00
233	232	BOVEDA	434.14	0.12	0.29	0.00	5.68	5.68	0.00
233	233	BOVEDA	434.14	0.12	0.29	0.00	5.68	5.68	0.00
234	233	BOVEDA	431.08	0.14	0.29	0.00	5.64	5.64	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las  
Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
234	234	BOVEDA	431.08	0.14	0.29	0.00	5.64	5.64	0.00
235	234	BOVEDA	428.12	0.08	0.30	0.00	5.60	5.60	0.00
235	235	BOVEDA	428.12	0.08	0.30	0.00	5.60	5.60	0.00
236	235	BOVEDA	428.12	0.08	0.30	0.00	5.60	5.60	0.00
236	236	BOVEDA	425.40	0.46	0.36	0.00	5.56	5.56	0.00
237	236	BOVEDA	425.97	0.69	0.77	0.00	5.57	5.57	0.00
237	237	BOVEDA	425.97	0.69	0.77	0.00	5.57	5.57	0.00
238	237	BOVEDA	422.47	0.52	0.80	0.00	5.52	5.52	0.00
238	238	BOVEDA	422.47	0.52	0.80	0.00	5.52	5.52	0.00
239	238	BOVEDA	422.47	0.52	0.80	0.00	5.52	5.52	0.00
239	239	BOVEDA	419.45	0.42	0.78	0.00	5.48	5.48	0.00
240	239	BOVEDA	419.45	0.42	0.78	0.00	5.48	5.48	0.00
240	240	BOVEDA	419.45	0.42	0.78	0.00	5.48	5.48	0.00
241	240	BOVEDA	416.63	0.31	0.80	0.00	5.45	5.45	0.00
241	241	BOVEDA	416.63	0.31	0.80	0.00	5.45	5.45	0.00
242	241	BOVEDA	414.26	0.84	0.87	0.00	5.42	5.42	0.00
242	242	BOVEDA	414.26	0.84	0.87	0.00	5.42	5.42	0.00
243	242	BOVEDA	414.26	0.84	0.87	0.00	5.42	5.42	0.00
243	243	BOVEDA	411.05	0.64	0.90	0.00	5.37	5.37	0.00
244	243	BOVEDA	411.05	0.64	0.90	0.00	5.37	5.37	0.00
244	244	BOVEDA	411.05	0.64	0.90	0.00	5.37	5.37	0.00
245	244	BOVEDA	408.21	0.45	0.87	0.00	5.34	5.34	0.00
245	245	BOVEDA	408.21	0.45	0.87	0.00	5.34	5.34	0.00
246	245	BOVEDA	408.21	0.45	0.87	0.00	5.34	5.34	0.00
246	246	BOVEDA	405.69	0.35	0.90	0.00	5.30	5.30	0.00
247	246	BOVEDA	405.69	0.35	0.90	0.00	5.30	5.30	0.00
247	247	BOVEDA	403.75	0.99	1.01	0.00	5.28	5.28	0.00
248	247	BOVEDA	403.75	0.99	1.01	0.00	5.28	5.28	0.00
248	248	BOVEDA	403.75	0.99	1.01	0.00	5.28	5.28	0.00
249	248	BOVEDA	401.11	1.26	0.45	0.00	5.24	5.24	0.00
249	249	BOVEDA	401.11	1.26	0.45	0.00	5.24	5.24	0.00
250	249	BOVEDA	401.11	1.26	0.45	0.00	5.24	5.24	0.00
250	250	BOVEDA	398.56	1.10	0.42	0.00	5.21	5.21	0.00
251	250	BOVEDA	398.56	1.10	0.42	0.00	5.21	5.21	0.00
251	251	BOVEDA	398.56	1.10	0.42	0.00	5.21	5.21	0.00
252	251	BOVEDA	396.39	0.97	0.49	0.00	5.18	5.18	0.00
252	252	BOVEDA	396.39	0.97	0.49	0.00	5.18	5.18	0.00
253	252	BOVEDA	396.39	0.97	0.49	0.00	5.18	5.18	0.00
253	253	BOVEDA	395.16	1.67	0.64	0.00	5.17	5.17	0.00
254	253	BOVEDA	395.16	1.67	0.64	0.00	5.17	5.17	0.00
254	254	BOVEDA	392.89	1.25	0.69	0.00	5.14	5.14	0.00
255	254	BOVEDA	392.89	1.25	0.69	0.00	5.14	5.14	0.00
255	255	BOVEDA	392.89	1.25	0.69	0.00	5.14	5.14	0.00
256	255	BOVEDA	390.73	1.34	0.71	0.00	5.11	5.11	0.00
256	256	BOVEDA	390.73	1.34	0.71	0.00	5.11	5.11	0.00
257	256	BOVEDA	390.73	1.34	0.71	0.00	5.11	5.11	0.00
257	257	BOVEDA	389.20	1.32	0.85	0.00	5.09	5.09	0.00
258	257	BOVEDA	389.20	1.32	0.85	0.00	5.09	5.09	0.00
258	258	BOVEDA	389.20	1.32	0.85	0.00	5.09	5.09	0.00
259	258	BOVEDA	389.17	1.99	1.09	0.00	5.09	5.09	0.00
259	259	BOVEDA	389.17	1.99	1.09	0.00	5.09	5.09	0.00
260	259	BOVEDA	387.42	1.00	1.23	0.00	5.07	5.07	0.00
260	260	BOVEDA	387.42	1.00	1.23	0.00	5.07	5.07	0.00
261	260	BOVEDA	396.58	8.31	9.86	0.00	5.19	5.19	0.00
261	261	BOVEDA	394.86	9.11	9.97	0.00	5.16	5.16	0.00
262	261	BOVEDA	394.86	9.11	9.97	0.00	5.16	5.16	0.00
262	262	BOVEDA	394.86	9.11	9.97	0.00	5.16	5.16	0.00
263	262	BOVEDA	394.34	9.35	10.28	0.00	5.16	5.16	0.00
263	263	BOVEDA	394.34	9.35	10.28	0.00	5.16	5.16	0.00
264	263	BOVEDA	394.34	9.35	10.28	0.00	5.16	5.16	0.00
264	264	BOVEDA	396.31	9.63	10.67	0.00	5.18	5.18	0.00
265	264	BOVEDA	396.31	9.63	10.67	0.00	5.18	5.18	0.00
265	265	BOVEDA	396.31	9.63	10.67	0.00	5.18	5.18	0.00
266	265	BOVEDA	395.51	8.79	10.97	0.00	5.17	5.17	0.00
266	266	BOVEDA	395.51	8.79	10.97	0.00	5.17	5.17	0.00
267	266	BOVEDA	394.77	8.78	11.16	0.00	5.16	5.16	0.00
267	267	BOVEDA	394.77	8.78	11.16	0.00	5.16	5.16	0.00
268	267	BOVEDA	394.77	8.78	11.16	0.00	5.16	5.16	0.00
268	268	HASTIAL	398.44	15.40	12.27	0.00	5.21	5.21	0.00
269	268	HASTIAL	398.44	15.40	12.27	0.00	5.21	5.21	0.00
269	269	HASTIAL	398.44	15.40	12.27	0.00	5.21	5.21	0.00
270	269	HASTIAL	435.07	15.02	12.32	0.00	5.69	5.69	0.00

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
270	270	HASTIAL	435.07	15.02	12.32	0.00	5.69	5.69	0.00
271	270	HASTIAL	435.07	15.02	12.32	0.00	5.69	5.69	0.00
271	271	HASTIAL	435.07	15.02	12.32	0.00	5.69	5.69	0.00
272	271	HASTIAL	435.07	15.02	12.32	0.00	5.69	5.69	0.00
272	272	HASTIAL	437.04	36.56	3.69	-22.83	5.71	5.71	0.00
273	272	HASTIAL	437.04	36.56	3.69	-22.83	5.71	5.71	0.00

4.1.3.4 Hipótesis 4

BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
1	1	HASTIAL	566.49	60.11	2.36	-24.82	7.41	7.41	0.00
2	1	HASTIAL	566.49	60.11	2.36	-24.82	7.41	7.41	0.00
2	2	HASTIAL	566.49	60.11	2.36	-24.82	7.41	7.41	0.00
3	2	HASTIAL	552.00	60.37	1.53	-24.82	7.22	7.22	0.00
3	3	HASTIAL	552.00	60.37	1.53	-24.82	7.22	7.22	0.00
4	3	HASTIAL	552.00	60.37	1.53	-24.82	7.22	7.22	0.00
4	4	HASTIAL	552.00	60.37	1.53	-24.82	7.22	7.22	0.00
5	4	HASTIAL	552.00	60.37	1.53	-24.82	7.22	7.22	0.00
5	5	HASTIAL	559.02	59.45	0.90	-24.82	7.31	7.31	0.00
6	5	HASTIAL	559.02	59.45	0.90	-24.82	7.31	7.31	0.00
6	6	HASTIAL	559.02	59.45	0.90	-24.82	7.31	7.31	0.00
7	6	CONTRABOVEDA	529.43	3.61	14.49	0.00	10.52	10.52	0.00
7	7	CONTRABOVEDA	529.43	3.61	14.49	0.00	10.52	10.52	0.00
8	7	CONTRABOVEDA	529.43	3.61	14.49	0.00	10.52	10.52	0.00
8	8	CONTRABOVEDA	537.27	3.22	14.23	0.00	10.52	10.52	0.00
9	8	CONTRABOVEDA	537.27	3.22	14.23	0.00	10.52	10.52	0.00
9	9	CONTRABOVEDA	537.27	3.22	14.23	0.00	10.52	10.52	0.00
10	9	CONTRABOVEDA	537.27	3.22	14.23	0.00	10.52	10.52	0.00
10	10	CONTRABOVEDA	537.27	3.22	14.23	0.00	10.52	10.52	0.00
11	10	CONTRABOVEDA	537.27	3.22	14.23	0.00	10.52	10.52	0.00
11	11	CONTRABOVEDA	551.65	3.56	13.98	0.00	10.52	10.52	0.00
12	11	CONTRABOVEDA	551.65	3.56	13.98	0.00	10.52	10.52	0.00
12	12	CONTRABOVEDA	551.65	3.56	13.98	0.00	10.52	10.52	0.00
13	12	CONTRABOVEDA	522.99	6.68	8.82	0.00	10.52	10.52	0.00
13	13	CONTRABOVEDA	522.99	6.68	8.82	0.00	10.52	10.52	0.00
14	13	CONTRABOVEDA	529.03	6.47	8.54	0.00	10.52	10.52	0.00
14	14	CONTRABOVEDA	529.03	6.47	8.54	0.00	10.52	10.52	0.00
15	14	CONTRABOVEDA	529.03	6.47	8.54	0.00	10.52	10.52	0.00
15	15	CONTRABOVEDA	529.03	6.47	8.54	0.00	10.52	10.52	0.00
16	15	CONTRABOVEDA	529.03	6.47	8.54	0.00	10.52	10.52	0.00
16	16	CONTRABOVEDA	529.03	6.47	8.54	0.00	10.52	10.52	0.00
17	16	CONTRABOVEDA	536.87	6.28	8.44	-0.06	10.52	10.52	0.00
17	17	CONTRABOVEDA	536.87	6.28	8.44	-0.06	10.52	10.52	0.00
18	17	CONTRABOVEDA	536.87	6.28	8.44	-0.06	10.52	10.52	0.00
18	18	CONTRABOVEDA	520.30	1.65	4.14	-0.06	10.52	10.52	0.00
19	18	CONTRABOVEDA	520.30	1.65	4.14	-0.06	10.52	10.52	0.00
19	19	CONTRABOVEDA	520.30	1.65	4.14	-0.06	10.52	10.52	0.00
20	19	CONTRABOVEDA	528.03	1.97	4.14	-0.26	10.52	10.52	0.00
20	20	CONTRABOVEDA	528.03	1.97	4.14	-0.26	10.52	10.52	0.00
21	20	CONTRABOVEDA	528.03	1.97	4.14	-0.26	10.52	10.52	0.00
21	21	CONTRABOVEDA	528.03	1.97	4.14	-0.26	10.52	10.52	0.00
22	21	CONTRABOVEDA	528.03	1.97	4.14	-0.26	10.52	10.52	0.00
22	22	CONTRABOVEDA	528.03	1.97	4.14	-0.26	10.52	10.52	0.00
23	22	CONTRABOVEDA	542.17	1.64	4.14	-0.46	10.52	10.52	0.00
23	23	CONTRABOVEDA	542.17	1.64	4.14	-0.46	10.52	10.52	0.00
24	23	CONTRABOVEDA	537.97	1.07	2.80	-0.46	10.52	10.52	0.00
24	24	CONTRABOVEDA	537.97	1.07	2.80	-0.46	10.52	10.52	0.00
25	24	CONTRABOVEDA	537.97	1.07	2.80	-0.46	10.52	10.52	0.00
25	25	CONTRABOVEDA	546.31	0.96	2.80	-0.53	10.52	10.52	0.00
26	25	CONTRABOVEDA	546.31	0.96	2.80	-0.53	10.52	10.52	0.00
26	26	CONTRABOVEDA	546.31	0.96	2.80	-0.53	10.52	10.52	0.00
27	26	CONTRABOVEDA	546.31	0.96	2.80	-0.53	10.52	10.52	0.00
27	27	CONTRABOVEDA	546.31	0.96	2.80	-0.53	10.52	10.52	0.00
28	27	CONTRABOVEDA	546.31	0.96	2.80	-0.53	10.52	10.52	0.00
28	28	CONTRABOVEDA	553.12	0.95	2.80	-0.57	10.52	10.52	0.00
29	28	CONTRABOVEDA	553.12	0.95	2.80	-0.57	10.52	10.52	0.00
29	29	CONTRABOVEDA	553.12	0.95	2.80	-0.57	10.52	10.52	0.00
30	29	CONTRABOVEDA	552.56	0.59	1.99	-0.57	10.52	10.52	0.00
30	30	CONTRABOVEDA	552.56	0.59	1.99	-0.57	10.52	10.52	0.00



Handwritten signature and date.

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm <sup>2</sup> )	AEXT (cm <sup>2</sup> )	AST (cm <sup>2</sup> /m)
31	30	CONTRABOVEDA	552.56	0.59	1.99	-0.57	10.52	10.52	0.00
31	31	CONTRABOVEDA	557.82	1.45	1.99	-0.85	10.52	10.52	0.00
32	31	CONTRABOVEDA	557.82	1.45	1.99	-0.85	10.52	10.52	0.00
32	32	CONTRABOVEDA	557.82	1.45	1.99	-0.85	10.52	10.52	0.00
33	32	CONTRABOVEDA	557.82	1.45	1.99	-0.85	10.52	10.52	0.00
33	33	CONTRABOVEDA	557.82	1.45	1.99	-0.85	10.52	10.52	0.00
34	33	CONTRABOVEDA	557.82	1.45	1.99	-0.85	10.52	10.52	0.00
34	34	CONTRABOVEDA	569.20	0.70	1.99	-1.06	10.52	10.52	0.00
35	34	CONTRABOVEDA	569.20	0.70	1.99	-1.06	10.52	10.52	0.00
35	35	CONTRABOVEDA	568.07	0.44	1.54	-1.06	10.52	10.52	0.00
36	35	CONTRABOVEDA	568.07	0.44	1.54	-1.06	10.52	10.52	0.00
36	36	CONTRABOVEDA	568.07	0.44	1.54	-1.06	10.52	10.52	0.00
37	36	CONTRABOVEDA	575.84	0.34	1.54	-0.99	10.52	10.52	0.00
37	37	CONTRABOVEDA	575.84	0.34	1.54	-0.99	10.52	10.52	0.00
38	37	CONTRABOVEDA	575.84	0.34	1.54	-0.99	10.52	10.52	0.00
38	38	CONTRABOVEDA	575.84	0.34	1.54	-0.99	10.52	10.52	0.00
39	38	CONTRABOVEDA	575.84	0.34	1.54	-0.99	10.52	10.52	0.00
39	39	CONTRABOVEDA	575.84	0.34	1.54	-0.99	10.52	10.52	0.00
40	39	CONTRABOVEDA	579.96	0.31	1.54	-0.96	10.52	10.52	0.00
40	40	CONTRABOVEDA	579.96	0.31	1.54	-0.96	10.52	10.52	0.00
41	40	CONTRABOVEDA	579.96	0.31	1.54	-0.96	10.52	10.52	0.00
41	41	CONTRABOVEDA	578.82	0.34	1.56	-0.96	10.52	10.52	0.00
42	41	CONTRABOVEDA	578.82	0.34	1.56	-0.96	10.52	10.52	0.00
42	42	CONTRABOVEDA	578.82	0.34	1.56	-0.96	10.52	10.52	0.00
43	42	CONTRABOVEDA	580.40	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
43	43	CONTRABOVEDA	580.40	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
44	43	CONTRABOVEDA	580.40	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
44	44	CONTRABOVEDA	580.40	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
45	44	CONTRABOVEDA	580.40	1.44	1.56	-1.27	10.52	10.52	0.00
45	45	CONTRABOVEDA	586.32	0.79	1.56	-1.46	10.52	10.52	0.00
46	45	CONTRABOVEDA	586.32	0.79	1.56	-1.46	10.52	10.52	0.00
46	46	CONTRABOVEDA	586.32	0.79	1.56	-1.46	10.52	10.52	0.00
47	46	CONTRABOVEDA	586.38	0.80	1.55	-1.46	10.52	10.52	0.00
47	47	CONTRABOVEDA	586.38	0.80	1.55	-1.46	10.52	10.52	0.00
48	47	CONTRABOVEDA	586.38	0.80	1.55	-1.46	10.52	10.52	0.00
48	48	CONTRABOVEDA	591.65	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
49	48	CONTRABOVEDA	591.65	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
49	49	CONTRABOVEDA	591.65	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
50	49	CONTRABOVEDA	591.65	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
50	50	CONTRABOVEDA	591.65	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
51	50	CONTRABOVEDA	591.65	0.59	1.55	-1.24	10.52	10.52	0.00
51	51	CONTRABOVEDA	591.94	0.49	1.55	-1.11	10.52	10.52	0.00
52	51	CONTRABOVEDA	591.94	0.49	1.55	-1.11	10.52	10.52	0.00
52	52	CONTRABOVEDA	592.10	0.68	1.65	-1.11	10.52	10.52	0.00
53	52	CONTRABOVEDA	592.10	0.68	1.65	-1.11	10.52	10.52	0.00
53	53	CONTRABOVEDA	592.10	0.68	1.65	-1.11	10.52	10.52	0.00
54	53	CONTRABOVEDA	592.10	0.68	1.65	-1.11	10.52	10.52	0.00
54	54	CONTRABOVEDA	589.59	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
55	54	CONTRABOVEDA	589.59	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
55	55	CONTRABOVEDA	589.59	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
56	55	CONTRABOVEDA	589.59	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
56	56	CONTRABOVEDA	589.59	1.59	1.65	-1.38	10.52	10.52	0.00
57	56	CONTRABOVEDA	588.36	1.21	1.65	-1.48	10.52	10.52	0.00
57	57	CONTRABOVEDA	588.36	1.21	1.65	-1.48	10.52	10.52	0.00
58	57	CONTRABOVEDA	588.36	1.21	1.65	-1.48	10.52	10.52	0.00
58	58	CONTRABOVEDA	589.25	0.81	2.00	-1.48	10.52	10.52	0.00
59	58	CONTRABOVEDA	589.25	0.81	2.00	-1.48	10.52	10.52	0.00
59	59	CONTRABOVEDA	589.25	0.81	2.00	-1.48	10.52	10.52	0.00
60	59	CONTRABOVEDA	590.51	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
60	60	CONTRABOVEDA	590.51	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
61	60	CONTRABOVEDA	590.51	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
61	61	CONTRABOVEDA	590.51	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
62	61	CONTRABOVEDA	590.51	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
62	62	CONTRABOVEDA	590.51	0.46	2.00	-1.18	10.52	10.52	0.00
63	62	CONTRABOVEDA	590.76	0.21	2.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
63	63	CONTRABOVEDA	590.76	0.21	2.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
64	63	CONTRABOVEDA	592.73	1.14	2.65	-1.05	10.52	10.52	0.00
64	64	CONTRABOVEDA	592.73	1.14	2.65	-1.05	10.52	10.52	0.00
65	64	CONTRABOVEDA	592.73	1.14	2.65	-1.05	10.52	10.52	0.00
65	65	CONTRABOVEDA	583.37	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
66	65	CONTRABOVEDA	583.37	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
66	66	CONTRABOVEDA	583.37	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00

Handwritten signature and initials.



A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
67	66	CONTRABOVEDA	583.37	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
67	67	CONTRABOVEDA	583.37	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
68	67	CONTRABOVEDA	583.37	1.75	2.65	-1.23	10.52	10.52	0.00
68	68	CONTRABOVEDA	572.45	1.80	2.65	-1.21	10.52	10.52	0.00
69	68	CONTRABOVEDA	572.45	1.80	2.65	-1.21	10.52	10.52	0.00
69	69	CONTRABOVEDA	572.45	1.80	2.65	-1.21	10.52	10.52	0.00
70	69	CONTRABOVEDA	578.55	2.62	4.29	-1.21	10.52	10.52	0.00
70	70	CONTRABOVEDA	578.55	2.62	4.29	-1.21	10.52	10.52	0.00
71	70	CONTRABOVEDA	578.55	2.62	4.29	-1.21	10.52	10.52	0.00
71	71	CONTRABOVEDA	579.14	2.35	4.29	-0.85	10.52	10.52	0.00
72	71	CONTRABOVEDA	579.14	2.35	4.29	-0.85	10.52	10.52	0.00
72	72	CONTRABOVEDA	579.14	2.35	4.29	-0.85	10.52	10.52	0.00
73	72	CONTRABOVEDA	579.14	2.35	4.29	-0.85	10.52	10.52	0.00
73	73	CONTRABOVEDA	579.14	2.35	4.29	-0.85	10.52	10.52	0.00
74	73	CONTRABOVEDA	579.14	2.35	4.29	-0.85	10.52	10.52	0.00
74	74	CONTRABOVEDA	574.65	1.89	4.29	-0.70	10.52	10.52	0.00
75	74	CONTRABOVEDA	574.65	1.89	4.29	-0.70	10.52	10.52	0.00
75	75	CONTRABOVEDA	586.94	6.21	8.87	-0.70	10.52	10.52	0.00
76	75	CONTRABOVEDA	586.94	6.21	8.87	-0.70	10.52	10.52	0.00
76	76	CONTRABOVEDA	586.94	6.21	8.87	-0.70	10.52	10.52	0.00
77	76	CONTRABOVEDA	576.84	6.43	8.87	-0.76	10.52	10.52	0.00
77	77	CONTRABOVEDA	576.84	6.43	8.87	-0.76	10.52	10.52	0.00
78	77	CONTRABOVEDA	576.84	6.43	8.87	-0.76	10.52	10.52	0.00
78	78	CONTRABOVEDA	576.84	6.43	8.87	-0.76	10.52	10.52	0.00
79	78	CONTRABOVEDA	576.84	6.43	8.87	-0.76	10.52	10.52	0.00
79	79	CONTRABOVEDA	576.84	6.43	8.87	-0.76	10.52	10.52	0.00
80	79	CONTRABOVEDA	562.31	6.88	8.87	-0.63	10.52	10.52	0.00
80	80	CONTRABOVEDA	562.31	6.88	8.87	-0.63	10.52	10.52	0.00
81	80	HASTIAL	586.49	3.28	13.86	-0.63	7.67	7.67	0.00
81	81	HASTIAL	586.49	3.28	13.86	-0.63	7.67	7.67	0.00
82	81	HASTIAL	586.49	3.28	13.86	-0.63	7.67	7.67	0.00
82	82	HASTIAL	586.49	3.28	13.86	-0.63	7.67	7.67	0.00
83	82	HASTIAL	583.12	2.90	13.86	-0.34	7.62	7.62	0.00
83	83	HASTIAL	583.12	2.90	13.86	-0.34	7.62	7.62	0.00
84	83	HASTIAL	583.12	2.90	13.86	-0.34	7.62	7.62	0.00
84	84	HASTIAL	583.12	2.90	13.86	-0.34	7.62	7.62	0.00
85	84	HASTIAL	583.12	2.90	13.86	-0.34	7.62	7.62	0.00
85	85	HASTIAL	583.12	2.90	13.86	-0.34	7.62	7.62	0.00
86	85	HASTIAL	574.43	2.68	13.86	-0.21	7.51	7.51	0.00
86	86	HASTIAL	574.43	2.68	13.86	-0.21	7.51	7.51	0.00
87	86	HASTIAL	605.99	60.02	0.00	-25.82	13.37	13.37	0.00
87	87	HASTIAL	605.99	60.02	0.00	-25.82	13.37	13.37	0.00
88	87	HASTIAL	605.99	60.02	0.00	-25.82	13.37	13.37	0.00
88	88	HASTIAL	597.08	60.23	0.00	-25.70	7.81	7.81	0.00
89	88	HASTIAL	597.08	60.23	0.00	-25.70	7.81	7.81	0.00
89	89	HASTIAL	597.08	60.23	0.00	-25.70	7.81	7.81	0.00
90	89	HASTIAL	597.08	60.23	0.00	-25.70	7.81	7.81	0.00
90	90	HASTIAL	597.08	60.23	0.00	-25.70	7.81	7.81	0.00
91	90	HASTIAL	597.08	60.23	0.00	-25.70	7.81	7.81	0.00
91	91	HASTIAL	583.35	60.23	0.09	-25.61	7.63	7.63	0.00
92	91	HASTIAL	583.35	60.23	0.09	-25.61	7.63	7.63	0.00
92	92	HASTIAL	583.35	60.23	0.09	-25.61	7.63	7.63	0.00
93	92	HASTIAL	583.35	60.23	0.09	-25.61	7.63	7.63	0.00
93	93	HASTIAL	583.35	60.23	0.09	-25.61	7.63	7.63	0.00
94	93	HASTIAL	583.35	60.23	0.09	-25.61	7.63	7.63	0.00
94	94	HASTIAL	574.46	60.03	0.21	-25.61	7.51	7.51	0.00
95	94	HASTIAL	574.46	60.03	0.21	-25.61	7.51	7.51	0.00
95	95	BOVEDA	562.74	30.50	0.21	-23.30	10.52	10.52	0.00
96	95	BOVEDA	562.74	30.50	0.21	-23.30	10.52	10.52	0.00
96	96	BOVEDA	562.74	30.50	0.21	-23.30	10.52	10.52	0.00
97	96	BOVEDA	554.08	30.73	0.34	-23.30	10.52	10.52	0.00
97	97	BOVEDA	554.08	30.73	0.34	-23.30	10.52	10.52	0.00
98	97	BOVEDA	554.08	30.73	0.34	-23.30	10.52	10.52	0.00
98	98	BOVEDA	554.08	30.73	0.34	-23.30	10.52	10.52	0.00
99	98	BOVEDA	554.08	30.73	0.34	-23.30	10.52	10.52	0.00
99	99	BOVEDA	554.08	30.73	0.34	-23.30	10.52	10.52	0.00
100	99	BOVEDA	550.73	31.08	0.64	-23.30	10.52	10.52	0.00
100	100	BOVEDA	550.73	31.08	0.64	-23.30	10.52	10.52	0.00
101	100	BOVEDA	550.73	31.08	0.64	-23.30	10.52	10.52	0.00
101	101	BOVEDA	550.73	31.08	0.64	-23.30	10.52	10.52	0.00
102	101	BOVEDA	550.73	31.08	0.64	-23.30	10.52	10.52	0.00
102	102	BOVEDA	550.73	31.08	0.64	-23.30	10.52	10.52	0.00



Handwritten signature and initials.



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
103	102	BOVEDA	536.26	30.65	0.76	-23.30	10.52	10.52	0.00
103	103	BOVEDA	536.26	30.65	0.76	-23.30	10.52	10.52	0.00
104	103	BOVEDA	536.26	30.65	0.76	-23.30	10.52	10.52	0.00
104	104	BOVEDA	536.26	30.65	0.76	-23.30	10.52	10.52	0.00
105	104	BOVEDA	536.26	30.65	0.76	-23.30	10.52	10.52	0.00
105	105	BOVEDA	536.26	30.65	0.76	-23.30	10.52	10.52	0.00
106	105	BOVEDA	526.12	30.43	0.70	-23.30	10.52	10.52	0.00
106	106	BOVEDA	526.12	30.43	0.70	-23.30	10.52	10.52	0.00
107	106	BOVEDA	526.12	30.43	0.70	-23.30	10.52	10.52	0.00
107	107	BOVEDA	520.90	8.24	9.75	0.00	10.52	10.52	0.00
108	107	BOVEDA	520.90	8.24	9.75	0.00	10.52	10.52	0.00
108	108	BOVEDA	516.38	8.69	9.90	0.00	10.52	10.52	0.00
109	108	BOVEDA	516.38	8.69	9.90	0.00	10.52	10.52	0.00
109	109	BOVEDA	516.38	8.69	9.90	0.00	10.52	10.52	0.00
110	109	BOVEDA	516.38	8.69	9.90	0.00	10.52	10.52	0.00
110	110	BOVEDA	516.38	8.69	9.90	0.00	10.52	10.52	0.00
111	110	BOVEDA	516.38	8.69	9.90	0.00	10.52	10.52	0.00
111	111	BOVEDA	516.98	8.98	10.27	0.00	10.52	10.52	0.00
112	111	BOVEDA	516.98	8.98	10.27	0.00	10.52	10.52	0.00
112	112	BOVEDA	516.98	8.98	10.27	0.00	10.52	10.52	0.00
113	112	BOVEDA	516.98	8.98	10.27	0.00	10.52	10.52	0.00
113	113	BOVEDA	516.98	8.98	10.27	0.00	10.52	10.52	0.00
114	113	BOVEDA	516.98	8.98	10.27	0.00	10.52	10.52	0.00
114	114	BOVEDA	506.08	8.92	10.28	0.00	10.52	10.52	0.00
115	114	BOVEDA	506.08	8.92	10.28	0.00	10.52	10.52	0.00
115	115	BOVEDA	506.08	8.92	10.28	0.00	10.52	10.52	0.00
116	115	BOVEDA	506.08	8.92	10.28	0.00	10.52	10.52	0.00
116	116	BOVEDA	506.08	8.92	10.28	0.00	10.52	10.52	0.00
117	116	BOVEDA	496.77	8.30	10.11	0.00	10.52	10.52	0.00
117	117	BOVEDA	496.77	8.30	10.11	0.00	10.52	10.52	0.00
118	117	BOVEDA	496.77	8.30	10.11	0.00	10.52	10.52	0.00
118	118	BOVEDA	496.77	8.30	10.11	0.00	10.52	10.52	0.00
119	118	BOVEDA	485.70	0.65	1.07	0.00	10.52	10.52	0.00
119	119	BOVEDA	485.70	0.65	1.07	0.00	10.52	10.52	0.00
120	119	BOVEDA	485.98	0.89	1.20	0.00	10.52	10.52	0.00
120	120	BOVEDA	485.98	0.89	1.20	0.00	10.52	10.52	0.00
121	120	BOVEDA	485.98	0.89	1.20	0.00	10.52	10.52	0.00
121	121	BOVEDA	485.98	0.89	1.20	0.00	10.52	10.52	0.00
122	121	BOVEDA	485.98	0.89	1.20	0.00	10.52	10.52	0.00
122	122	BOVEDA	485.98	0.89	1.20	0.00	10.52	10.52	0.00
123	122	BOVEDA	487.28	1.25	1.51	0.00	10.52	10.52	0.00
123	123	BOVEDA	487.28	1.25	1.51	0.00	10.52	10.52	0.00
124	123	BOVEDA	487.28	1.25	1.51	0.00	10.52	10.52	0.00
124	124	BOVEDA	487.28	1.25	1.51	0.00	10.52	10.52	0.00
125	124	BOVEDA	487.28	1.25	1.51	0.00	10.52	10.52	0.00
125	125	BOVEDA	487.20	1.25	1.51	0.00	10.52	10.52	0.00
126	125	BOVEDA	486.08	1.62	1.40	0.00	10.52	10.52	0.00
126	126	BOVEDA	486.08	1.62	1.40	0.00	10.52	10.52	0.00
127	126	BOVEDA	486.08	1.62	1.40	0.00	10.52	10.52	0.00
127	127	BOVEDA	486.08	1.62	1.40	0.00	10.52	10.52	0.00
128	127	BOVEDA	486.08	1.62	1.40	0.00	10.52	10.52	0.00
128	128	BOVEDA	483.61	0.72	1.14	0.00	10.52	10.52	0.00
129	128	BOVEDA	483.61	0.72	1.14	0.00	10.52	10.52	0.00
129	129	BOVEDA	483.61	0.72	1.14	0.00	10.52	10.52	0.00
130	129	BOVEDA	483.61	0.72	1.14	0.00	10.52	10.52	0.00
130	130	BOVEDA	483.61	0.72	1.14	0.00	10.52	10.52	0.00
131	130	BOVEDA	480.86	0.30	1.63	0.00	10.52	10.52	0.00
131	131	BOVEDA	481.19	0.40	1.75	0.00	10.52	10.52	0.00
132	131	BOVEDA	481.19	0.40	1.75	0.00	10.52	10.52	0.00
132	132	BOVEDA	481.19	0.40	1.75	0.00	10.52	10.52	0.00
133	132	BOVEDA	481.19	0.40	1.75	0.00	10.52	10.52	0.00
133	133	BOVEDA	481.19	0.40	1.75	0.00	10.52	10.52	0.00
134	133	BOVEDA	481.19	0.40	1.75	0.00	10.52	10.52	0.00
134	134	BOVEDA	486.45	0.61	1.97	0.00	10.52	10.52	0.00
135	134	BOVEDA	486.45	0.61	1.97	0.00	10.52	10.52	0.00
135	135	BOVEDA	486.45	0.61	1.97	0.00	10.52	10.52	0.00
136	135	BOVEDA	486.45	0.61	1.97	0.00	10.52	10.52	0.00
136	136	BOVEDA	486.45	0.61	1.97	0.00	10.52	10.52	0.00
137	136	BOVEDA	486.45	0.61	1.97	0.00	10.52	10.52	0.00
137	137	BOVEDA	492.42	1.28	1.78	0.00	10.52	10.52	0.00
138	137	BOVEDA	492.42	1.28	1.78	0.00	10.52	10.52	0.00
138	138	BOVEDA	492.42	1.28	1.78	0.00	10.52	10.52	0.00



Handwritten signature and initials.

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

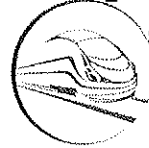


BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
139	138	BOVEDA	492.42	1.28	1.78	0.00	10.52	10.52	0.00
139	139	BOVEDA	492.42	1.28	1.78	0.00	10.52	10.52	0.00
140	139	BOVEDA	493.96	0.16	1.46	0.00	10.52	10.52	0.00
140	140	BOVEDA	493.96	0.16	1.46	0.00	10.52	10.52	0.00
141	140	BOVEDA	493.96	0.16	1.46	0.00	10.52	10.52	0.00
141	141	BOVEDA	493.96	0.16	1.46	0.00	10.52	10.52	0.00
142	141	BOVEDA	493.96	0.16	1.46	0.00	10.52	10.52	0.00
142	142	BOVEDA	493.96	0.16	1.46	0.00	10.52	10.52	0.00
143	142	BOVEDA	499.51	0.34	1.03	0.00	10.52	10.52	0.00
143	143	BOVEDA	499.51	0.34	1.03	0.00	10.52	10.52	0.00
144	143	BOVEDA	499.51	0.34	1.03	0.00	10.52	10.52	0.00
144	144	BOVEDA	499.51	0.34	1.03	0.00	10.52	10.52	0.00
145	144	BOVEDA	499.51	0.34	1.03	0.00	10.52	10.52	0.00
145	145	BOVEDA	499.51	0.34	1.03	0.00	10.52	10.52	0.00
146	145	BOVEDA	507.23	0.44	1.11	0.00	10.52	10.52	0.00
146	146	BOVEDA	507.23	0.44	1.11	0.00	10.52	10.52	0.00
147	146	BOVEDA	507.23	0.44	1.11	0.00	10.52	10.52	0.00
147	147	BOVEDA	507.23	0.44	1.11	0.00	10.52	10.52	0.00
148	147	BOVEDA	507.23	0.44	1.11	0.00	10.52	10.52	0.00
148	148	BOVEDA	518.63	1.18	0.89	0.00	10.52	10.52	0.00
149	148	BOVEDA	518.63	1.18	0.89	0.00	10.52	10.52	0.00
149	149	BOVEDA	518.63	1.18	0.89	0.00	10.52	10.52	0.00
150	149	BOVEDA	518.63	1.18	0.89	0.00	10.52	10.52	0.00
150	150	BOVEDA	518.63	1.18	0.89	0.00	10.52	10.52	0.00
151	150	BOVEDA	518.63	1.18	0.89	0.00	10.52	10.52	0.00
151	151	BOVEDA	523.96	0.30	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
152	151	BOVEDA	523.96	0.30	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
152	152	BOVEDA	523.96	0.30	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
153	152	BOVEDA	523.96	0.30	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
153	153	BOVEDA	523.96	0.30	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
154	153	BOVEDA	523.96	0.30	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
154	154	BOVEDA	530.39	0.38	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
155	154	BOVEDA	530.39	0.38	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
155	155	BOVEDA	530.39	0.38	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
156	155	BOVEDA	530.39	0.38	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
156	156	BOVEDA	530.39	0.38	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
157	156	BOVEDA	530.39	0.38	0.62	0.00	10.52	10.52	0.00
157	157	BOVEDA	538.71	0.47	0.54	0.00	10.52	10.52	0.00
158	157	BOVEDA	538.71	0.47	0.54	0.00	10.52	10.52	0.00
158	158	BOVEDA	538.71	0.47	0.54	0.00	10.52	10.52	0.00
159	158	BOVEDA	538.71	0.47	0.54	0.00	10.52	10.52	0.00
159	159	BOVEDA	538.71	0.47	0.54	0.00	10.52	10.52	0.00
160	159	BOVEDA	552.81	0.80	0.34	0.00	10.52	10.52	0.00
160	160	BOVEDA	552.81	0.80	0.34	0.00	10.52	10.52	0.00
161	160	BOVEDA	552.81	0.80	0.34	0.00	10.52	10.52	0.00
161	161	BOVEDA	552.81	0.80	0.34	0.00	10.52	10.52	0.00
162	161	BOVEDA	552.81	0.80	0.34	0.00	10.52	10.52	0.00
162	162	BOVEDA	552.81	0.80	0.34	0.00	10.52	10.52	0.00
163	162	BOVEDA	560.54	0.49	0.14	0.00	10.52	10.52	0.00
163	163	BOVEDA	560.54	0.49	0.14	0.00	10.52	10.52	0.00
164	163	BOVEDA	560.54	0.49	0.14	0.00	10.52	10.52	0.00
164	164	BOVEDA	560.54	0.49	0.14	0.00	10.52	10.52	0.00
165	164	BOVEDA	560.54	0.49	0.14	0.00	10.52	10.52	0.00
165	165	BOVEDA	560.54	0.49	0.14	0.00	10.52	10.52	0.00
166	165	BOVEDA	568.38	0.68	0.09	-0.11	10.52	10.52	0.00
166	166	BOVEDA	572.15	1.01	0.00	-0.53	10.52	10.52	0.00
167	166	BOVEDA	572.15	1.01	0.00	-0.53	10.52	10.52	0.00
167	167	BOVEDA	572.15	1.01	0.00	-0.53	10.52	10.52	0.00
168	167	BOVEDA	572.15	1.01	0.00	-0.53	10.52	10.52	0.00
168	168	BOVEDA	578.22	1.21	0.00	-0.81	10.52	10.52	0.00
169	168	BOVEDA	578.22	1.21	0.00	-0.81	10.52	10.52	0.00
169	169	BOVEDA	578.22	1.21	0.00	-0.81	10.52	10.52	0.00
170	169	BOVEDA	578.22	1.21	0.00	-0.81	10.52	10.52	0.00
170	170	BOVEDA	578.22	1.21	0.00	-0.81	10.52	10.52	0.00
171	170	BOVEDA	578.22	1.21	0.00	-0.81	10.52	10.52	0.00
171	171	BOVEDA	592.52	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
172	171	BOVEDA	592.52	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
172	172	BOVEDA	592.52	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
173	172	BOVEDA	592.52	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
173	173	BOVEDA	592.52	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
174	173	BOVEDA	592.52	0.88	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
174	174	BOVEDA	600.35	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00

Handwritten signature and date: 2012

A.6.4. Memoria de Cálculo de las Estructuras Permanentes

CONSORCIO  
NUEVO METRO DE LIMA



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
175	174	BOVEDA	600.35	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
175	175	BOVEDA	600.35	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
176	175	BOVEDA	600.35	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
176	176	BOVEDA	600.35	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
177	176	BOVEDA	600.35	1.28	0.00	-1.31	10.52	10.52	0.00
177	177	BOVEDA	607.34	2.20	0.00	-1.94	10.52	10.52	0.00
178	177	BOVEDA	602.74	2.47	0.02	-1.53	10.52	10.52	0.00
178	178	BOVEDA	602.74	2.47	0.02	-1.53	10.52	10.52	0.00
179	178	BOVEDA	602.74	2.47	0.02	-1.53	10.52	10.52	0.00
179	179	BOVEDA	602.74	2.47	0.02	-1.53	10.52	10.52	0.00
180	179	BOVEDA	588.29	2.21	0.02	-2.36	10.52	10.52	0.00
180	180	BOVEDA	588.29	2.21	0.02	-2.36	10.52	10.52	0.00
181	180	BOVEDA	588.29	2.21	0.02	-2.36	10.52	10.52	0.00
181	181	BOVEDA	588.29	2.21	0.02	-2.36	10.52	10.52	0.00
182	181	BOVEDA	588.29	2.21	0.02	-2.36	10.52	10.52	0.00
182	182	BOVEDA	583.16	7.79	0.02	-3.69	10.52	10.52	0.00
183	182	BOVEDA	583.16	7.79	0.02	-3.69	10.52	10.52	0.00
183	183	BOVEDA	619.80	8.16	0.02	-3.64	10.52	10.52	0.00
184	183	BOVEDA	619.80	8.16	0.02	-3.64	10.52	10.52	0.00
184	184	BOVEDA	619.80	8.16	0.02	-3.64	10.52	10.52	0.00
185	184	BOVEDA	623.47	1.56	0.02	-2.54	10.52	10.52	0.00
185	185	BOVEDA	623.47	1.56	0.02	-2.54	10.52	10.52	0.00
186	185	BOVEDA	623.47	1.56	0.02	-2.54	10.52	10.52	0.00
186	186	BOVEDA	622.76	1.56	0.02	-2.35	10.52	10.52	0.00
187	186	BOVEDA	622.76	1.56	0.02	-2.35	10.52	10.52	0.00
187	187	BOVEDA	622.76	1.56	0.02	-2.35	10.52	10.52	0.00
188	187	BOVEDA	621.93	2.44	0.02	-2.05	10.52	10.52	0.00
188	188	BOVEDA	621.93	2.44	0.02	-2.05	10.52	10.52	0.00
189	188	BOVEDA	621.93	2.44	0.02	-2.05	10.52	10.52	0.00
189	189	BOVEDA	623.92	2.15	0.02	-1.66	10.52	10.52	0.00
190	189	BOVEDA	623.12	2.09	0.08	-1.66	10.52	10.52	0.00
190	190	BOVEDA	622.61	1.85	0.08	-1.34	10.52	10.52	0.00
191	190	BOVEDA	622.61	1.85	0.08	-1.34	10.52	10.52	0.00
191	191	BOVEDA	622.61	1.85	0.08	-1.34	10.52	10.52	0.00
192	191	BOVEDA	620.93	1.05	0.08	-1.23	10.52	10.52	0.00
192	192	BOVEDA	620.93	1.05	0.08	-1.23	10.52	10.52	0.00
193	192	BOVEDA	620.93	1.05	0.08	-1.23	10.52	10.52	0.00
193	193	BOVEDA	619.17	2.04	0.08	-1.09	10.52	10.52	0.00
194	193	BOVEDA	619.17	2.04	0.08	-1.09	10.52	10.52	0.00
194	194	BOVEDA	619.17	2.04	0.08	-1.09	10.52	10.52	0.00
195	194	BOVEDA	619.12	1.36	0.08	-0.85	10.52	10.52	0.00
195	195	BOVEDA	619.12	1.36	0.08	-0.85	10.52	10.52	0.00
196	195	BOVEDA	617.62	1.37	0.08	-0.71	10.52	10.52	0.00
196	196	BOVEDA	617.62	1.37	0.08	-0.71	10.52	10.52	0.00
197	196	BOVEDA	617.62	1.37	0.08	-0.71	10.52	10.52	0.00
197	197	BOVEDA	615.46	1.28	0.08	-0.70	10.52	10.52	0.00
198	197	BOVEDA	615.46	1.28	0.08	-0.70	10.52	10.52	0.00
198	198	BOVEDA	615.46	1.28	0.08	-0.70	10.52	10.52	0.00
199	198	BOVEDA	613.15	1.73	0.08	-0.63	10.52	10.52	0.00
199	199	BOVEDA	613.15	1.73	0.08	-0.63	10.52	10.52	0.00
200	199	BOVEDA	613.15	1.73	0.08	-0.63	10.52	10.52	0.00
200	200	BOVEDA	611.91	1.02	0.08	-0.48	10.52	10.52	0.00
201	200	BOVEDA	611.91	1.02	0.08	-0.48	10.52	10.52	0.00
201	201	BOVEDA	611.91	1.02	0.08	-0.48	10.52	10.52	0.00
202	201	BOVEDA	615.34	0.69	0.00	-1.02	10.52	10.52	0.00
202	202	BOVEDA	615.34	0.69	0.00	-1.02	10.52	10.52	0.00
203	202	BOVEDA	612.79	0.85	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
203	203	BOVEDA	612.79	0.85	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
204	203	BOVEDA	612.79	0.85	0.00	-1.05	10.52	10.52	0.00
204	204	BOVEDA	610.02	1.09	0.00	-1.01	10.52	10.52	0.00
205	204	BOVEDA	610.02	1.09	0.00	-1.01	10.52	10.52	0.00
205	205	BOVEDA	610.02	1.09	0.00	-1.01	10.52	10.52	0.00
206	205	BOVEDA	608.09	0.45	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
206	206	BOVEDA	608.09	0.45	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
207	206	BOVEDA	608.09	0.45	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
207	207	BOVEDA	605.57	0.55	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
208	207	BOVEDA	605.57	0.55	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
208	208	BOVEDA	605.57	0.55	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
209	208	BOVEDA	602.73	0.74	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
209	209	BOVEDA	602.73	0.74	0.00	-0.91	10.52	10.52	0.00
210	209	BOVEDA	599.54	0.93	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00
210	210	BOVEDA	599.54	0.93	0.00	-0.88	10.52	10.52	0.00



BARRA	NUDO	SECCION	ND (t)	QD (t)	MD+ (m·t)	MD- (m·t)	AINT (cm2)	AEXT (cm2)	AST (cm2/m)
247	246	BOVEDA	518.02	0.35	0.90	0.00	10.52	10.52	0.00
247	247	BOVEDA	516.08	0.99	1.01	0.00	10.52	10.52	0.00
248	247	BOVEDA	516.08	0.99	1.01	0.00	10.52	10.52	0.00
248	248	BOVEDA	516.08	0.99	1.01	0.00	10.52	10.52	0.00
249	248	BOVEDA	513.47	1.26	0.45	0.00	10.52	10.52	0.00
249	249	BOVEDA	513.47	1.26	0.45	0.00	10.52	10.52	0.00
250	249	BOVEDA	513.47	1.26	0.45	0.00	10.52	10.52	0.00
250	250	BOVEDA	510.92	1.10	0.42	0.00	10.52	10.52	0.00
251	250	BOVEDA	510.92	1.10	0.42	0.00	10.52	10.52	0.00
251	251	BOVEDA	510.92	1.10	0.42	0.00	10.52	10.52	0.00
252	251	BOVEDA	508.74	0.97	0.49	0.00	10.52	10.52	0.00
252	252	BOVEDA	508.74	0.97	0.49	0.00	10.52	10.52	0.00
253	252	BOVEDA	508.74	0.97	0.49	0.00	10.52	10.52	0.00
253	253	BOVEDA	507.52	1.67	0.64	0.00	10.52	10.52	0.00
254	253	BOVEDA	507.52	1.67	0.64	0.00	10.52	10.52	0.00
254	254	BOVEDA	505.25	1.25	0.69	0.00	10.52	10.52	0.00
255	254	BOVEDA	505.25	1.25	0.69	0.00	10.52	10.52	0.00
255	255	BOVEDA	505.25	1.25	0.69	0.00	10.52	10.52	0.00
256	255	BOVEDA	503.09	1.34	0.71	0.00	10.52	10.52	0.00
256	256	BOVEDA	503.09	1.34	0.71	0.00	10.52	10.52	0.00
257	256	BOVEDA	503.09	1.34	0.71	0.00	10.52	10.52	0.00
257	257	BOVEDA	501.56	1.32	0.85	0.00	10.52	10.52	0.00
258	257	BOVEDA	501.56	1.32	0.85	0.00	10.52	10.52	0.00
258	258	BOVEDA	501.56	1.32	0.85	0.00	10.52	10.52	0.00
259	258	BOVEDA	501.52	1.99	1.09	0.00	10.52	10.52	0.00
259	259	BOVEDA	501.52	1.99	1.09	0.00	10.52	10.52	0.00
260	259	BOVEDA	499.77	1.00	1.23	0.00	10.52	10.52	0.00
260	260	BOVEDA	499.77	1.00	1.23	0.00	10.52	10.52	0.00
261	260	BOVEDA	511.22	8.31	9.86	0.00	10.52	10.52	0.00
261	261	BOVEDA	509.51	9.11	9.97	0.00	10.52	10.52	0.00
262	261	BOVEDA	509.51	9.11	9.97	0.00	10.52	10.52	0.00
262	262	BOVEDA	509.51	9.11	9.97	0.00	10.52	10.52	0.00
263	262	BOVEDA	508.98	9.35	10.28	0.00	10.52	10.52	0.00
263	263	BOVEDA	508.98	9.35	10.28	0.00	10.52	10.52	0.00
264	263	BOVEDA	508.98	9.35	10.28	0.00	10.52	10.52	0.00
264	264	BOVEDA	510.96	9.63	10.67	0.00	10.52	10.52	0.00
265	264	BOVEDA	510.96	9.63	10.67	0.00	10.52	10.52	0.00
265	265	BOVEDA	510.96	9.63	10.67	0.00	10.52	10.52	0.00
266	265	BOVEDA	510.15	8.79	10.97	0.00	10.52	10.52	0.00
266	266	BOVEDA	510.15	8.79	10.97	0.00	10.52	10.52	0.00
267	266	BOVEDA	509.41	8.78	11.16	0.00	10.52	10.52	0.00
267	267	BOVEDA	509.41	8.78	11.16	0.00	10.52	10.52	0.00
268	267	BOVEDA	509.41	8.78	11.16	0.00	10.52	10.52	0.00
268	268	HASTIAL	513.08	15.40	12.27	0.00	6.71	6.71	0.00
269	268	HASTIAL	513.08	15.40	12.27	0.00	6.71	6.71	0.00
269	269	HASTIAL	513.08	15.40	12.27	0.00	6.71	6.71	0.00
270	269	HASTIAL	549.72	15.02	12.32	0.00	7.19	7.19	0.00
270	270	HASTIAL	549.72	15.02	12.32	0.00	7.19	7.19	0.00
271	270	HASTIAL	549.72	15.02	12.32	0.00	7.19	7.19	0.00
271	271	HASTIAL	549.72	15.02	12.32	0.00	7.19	7.19	0.00
272	271	HASTIAL	549.72	15.02	12.32	0.00	7.19	7.19	0.00
272	272	HASTIAL	552.18	36.56	3.69	-22.83	7.22	7.22	0.00
273	272	HASTIAL	552.18	36.56	3.69	-22.83	7.22	7.22	0.00

#### 4.1.3.5 Resumen

Los resultados de los esfuerzos obtenidos por dovela en el dimensionamiento, son los siguientes:

	A <sub>INT</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	A <sub>EXT</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	A <sub>ST</sub> (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
BOVEDA	18,93	18,93	0,00
HASTIAL	13,37	13,37	0,00
SOLERA	18,25	14,54	0,00



A.6.5. Nº DOCUMENTO	A) DISEÑO DE INGENIERÍA TIPO DE DOCUMENTO
------------------------	--

CONCESIÓN DEL PROYECTO "LÍNEA 2 Y RAMAL AV. FAUCETT - AV. GAMBETTA DE LA RED BÁSICA DEL METRO DE LIMA Y CALLAO"


## A.6.5. SELECCIÓN DE TBM



002436

## ÍNDICE



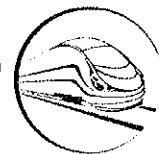
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 



1	INTRODUCCIÓN .....	4
2	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS TUNELADORAS PARA SUELOS.....	4
3	POSIBLES CONDICIONES DE FRENTE MIXTO Y PRESENCIA DE AGUA.....	9
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	9
5	DESCRIPCION DE TUNELADORA TIPO EPB .....	10
6	DESCRIPCION DE TUNELADORA TIPO EPB MODIFICADA CON "SLURRY BOX" ....	13



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL 



## 1 INTRODUCCIÓN

En el presente Punto se realiza una exposición de los criterios geotécnicos para la selección del tipo de tuneladora más adecuado, las condiciones hidrogeológicas del tramo en estudio y las recomendaciones correspondientes.

## 2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS TUNELADORAS PARA SUELOS

Como es conocido los escudos de presión de tierras mantienen el frente estable aplicando presión al material excavado y mezclado con agua y aditivos en la cámara de amasado. El material es desalojado de la cámara de excavación mediante un tornillo de Arquímedes. El campo general de aplicación de estas máquinas es el de los suelos cohesivos, si bien a aplicación de polímeros o incluso finos ha permitido ampliar cada vez más su rango de aplicación. Este tipo de tuneladora se adecúa a la mayoría del trazado.

Cuando la carga freática por encima de la clave del túnel es importante, es conveniente un control preciso de la presión de trabajo en el frente. Por ello se propone para los tramos con mayor carga freática una EPB modificada con "slurry box".

En la **Tabla 1** se resumen ventajas e inconvenientes de ambos tipos de equipos según los diferentes criterios de selección habituales.

El primer criterio de decisión es la granulometría de los materiales a perforar, que de modo general ya se ha comentado anteriormente. En la **Tabla 2** se recogen recomendaciones en base a la descripción general de los materiales.

Por su parte, las **Figuras 1 y 2** se muestran los rangos de aplicación en función del huso granulométrico comúnmente considerados.

Tal y como se observa, las gravas de Lima quedarían, a priori, en el límite del campo de aplicación de los E.P.B. a pesar de que el progreso en el tratamiento del frente ha permitido en los años recientes ampliar el rango de aplicación de estos equipos casi hasta el de los hidroescudos tal y como se recoge en la **Figura 3**.

Atendiendo a las recomendaciones de Thewes específicas para hidroescudos resumidas en la **Figura 4**, las gravas de Lima quedarían, en principio, en el límite de aplicación de los hidroescudos atendiendo al huso medio granulométrico, e incluso fuera atendiendo al rango granulométrico global. En cualquier caso, al tratarse de materiales muy gruesos, se requeriría del empleo de fillers para taponar los importantes poros existentes en el material, así como el empleo de bentonitas de alta densidad. Por ello, la elección final es emplear una EPB convencional en los tramos sin o con poca afección del nivel freático y una EPB modificada para asegurar un control exhaustivo de la presión en el frente.





002438

Tabla 1: Secciones Tipo de Revestimiento Primario

Criterio	Escudos de presión de tierras (E.P.B.)	Escudos de presión de lodo
Control de asientos	Menos preciso, la ley de presión aplicada puede presentar fluctuaciones y no se consigue la linealidad	Muy preciso, es posible definir una distribución líneas de la presión aplicada
Bolos	Mayor desgaste de cortadores, el tornillo puede bloquearse	Menos desgaste en cortadores de disco, se puede incorporar una trituradora
Frente mixto suelo/roca	Mayor riesgo de inestabilidad y desgaste	Mejor control de la presión en el frente y del desgaste
Alto contenido de finos	Ideal para suelos con alto contenido en finos	Gran esfuerzo de separación, riesgo de clogging
Suelos gruesos con carga de agua	Más desgaste, aire comprimido sin medidas adicionales no posible	Mejor control del frente, menos desgaste, intervenciones con aire comprimido más sencillas
Materiales muy abrasivos	Mayor desgaste	Menor desgaste
Accesibilidad al frente en condiciones adversas	Mayor tiempo de preparación, más complicadas las actuaciones con aire comprimido, mayor temperatura debida a la fricción	Vaciado más rápido de la cámara, actuaciones con aire comprimido más sencillas, baja temperatura
Control del frente durante periodos prolongados	Segregación de la espuma y el suelo en la cámara de excavación	Aplicación de la presión de manera continua e ininterrumpida
Suelo con gases	Posible exposición	No hay exposición
Suelo contaminado	Hay exposición, pero el volumen de lodo para tratamiento es menor	No hay exposición, mayor cantidad de lodo para tratamiento especial
Vertido/acopio del lodo	Es posible el vertido directo, menor coste	No es posible el vertido directo, mayor coste
Complejidad de instalación	Menos complejidad	Más complejo
Complejidad de las operaciones	Más complejo cuando el acondicionamiento del frente ha de ser más sofisticado y para controlar la presión en el frente	Menos complejo en condiciones estándar de trabajo pero se complica cuando se requieren circuitos de lodos adicionales
Ocupación de las instalaciones	Menor	Mayor por las dimensiones de la planta de separación



Tabla 2: Criterios para selección de sistema de excavación. Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (1996).

Tipo de máquina	Suelo	E.P.B.				Slurry
		N	S.P.T.	Sin aditivos	Con aditivos	
Aluvial cohesivo	Limo y arcilla	0-2		Sí	Sí	Sí
	Arena limosa y arena arcillosa	0-5		Sí	Sí	Sí
		5-10		Sí	Sí	Sí
Pleistoceno cohesivo	Marga y arcilla	10-20		No	Sí	Sí
	Arena margosa, arcilla arenosa	15-25		No	Sí	Sí
		>25		No	Sí	Sí
Suelos arenosos	Arena y arcilla limosa	10-15		Sí	Sí	Sí
	Arena suelta	10-30		No	Sí	Sí
	Arena consolidada	>30		No	Sí	Sí
Gravas con bolos	Grava suelta	10-40		No	Sí	Sí
	Grava consolidada	>40		No	Sí	Sí
	Grava con bolos	-		No	Sí	No
	Cantos, bolos y gravas	-		No	No	No

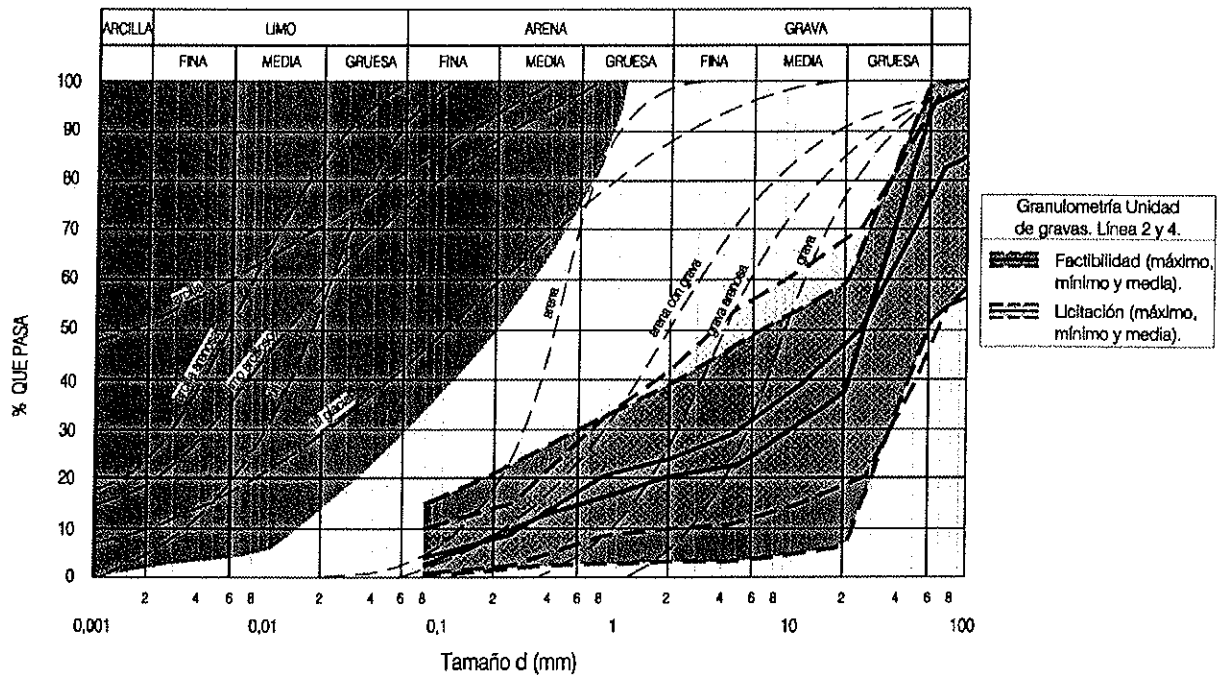


Figura 1: Zona óptima de utilización de las EPB.



002440

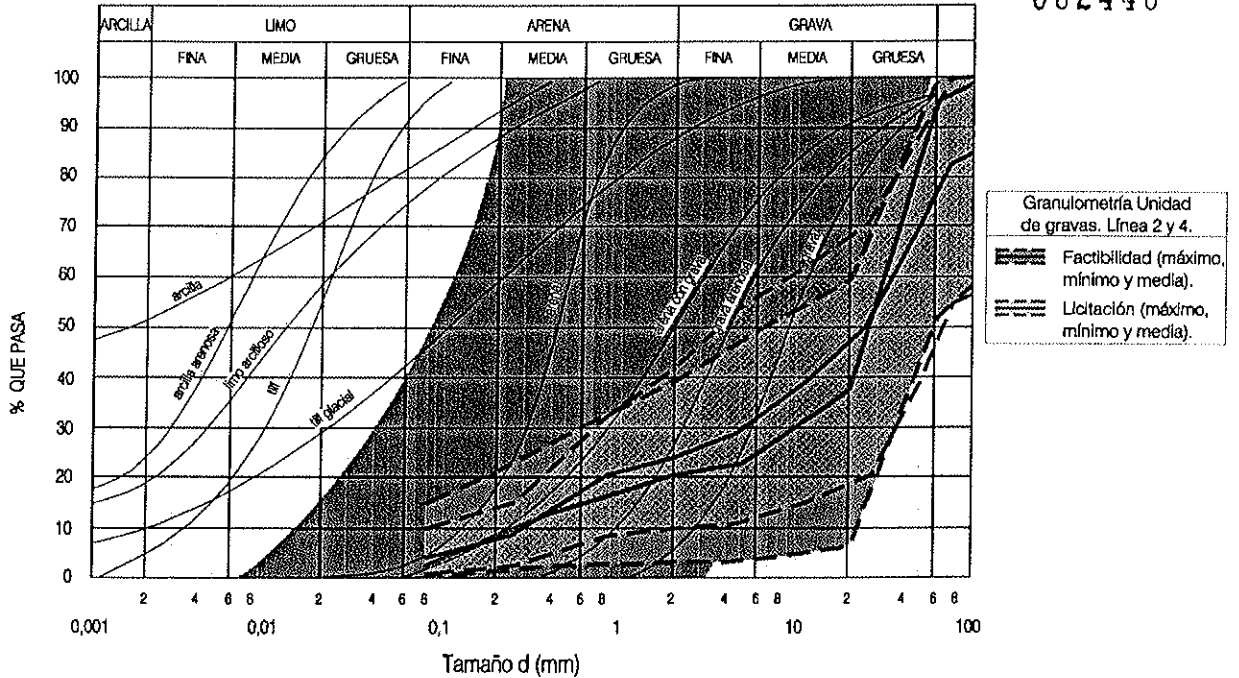


Figura 2: Zona óptima de utilización de los hidroescudos.

Otro aspecto, el de la macrogranulometría, resulta fundamental para ambos tipos de máquinas. En el caso de los hidroescudos por la incidencia en la permeabilidad y el tamaño de bolo o fragmento para el eficaz funcionamiento de la machacadora. En el caso de los escudos de presión de tierras, existe una limitación del tamaño máximo que puede circular por el tornillo sin fin que, de no ser asumible, deberá llevar a la toma de medidas como la instalación de grillbars en las aberturas de la cabeza de corte.

Como se ha mencionado anteriormente, los tamaños máximos de bolo que se esperan con cierta frecuencia en la obra son de 35 cm, o incluso 40 cm. Bloques mayores resultan posibles pero, realmente, poco frecuentes. El número de partículas de tamaño superior a 20 cm será elevado tal y como se ha explicado en el Punto A.4 Geología y Geotecnia del Proyecto.

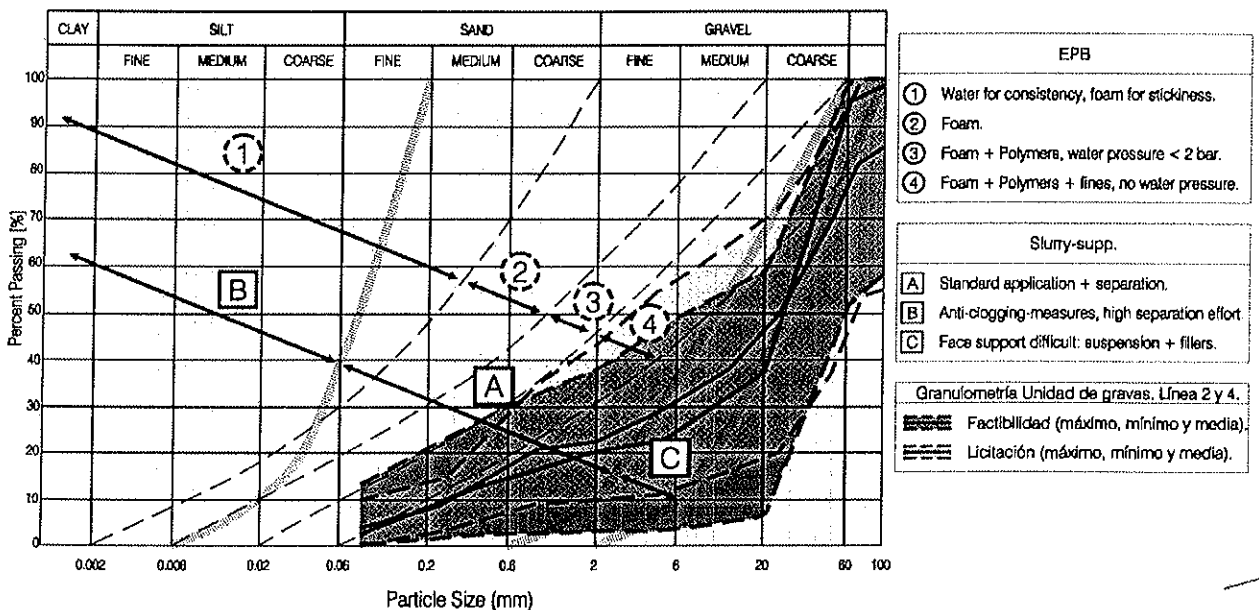




Figura 3: Rangos de aplicación de equipos según Thewes, ITA WTC Praga 2007. 002441

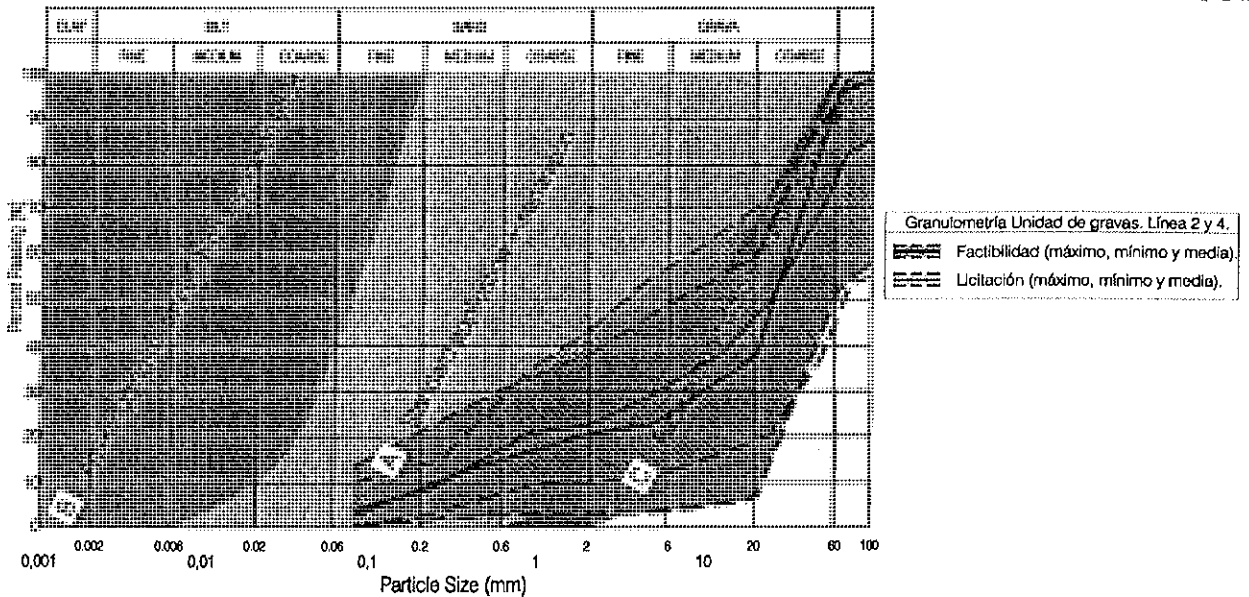


Figura 4: Rango de aplicación de hidroescudos (Thewes, 2007).

De igual modo, es necesario para evaluar la eficacia de los lodos (o cualquier otro tratamiento) a aplicar en el frente, evaluar con precisión la permeabilidad de los materiales. De acuerdo con los resultados de la campaña geotécnica, las permeabilidades obtenidas no hacen esperar penetraciones excesivas de eventuales lodos bentoníticos o espumas acondicionadoras en el frente.

Indicar, adicionalmente, que los escasos finos presentes en las gravas de Lima son no plásticos o de muy baja plasticidad por lo que no son de esperar problemas de 'clogging'. En cualquier caso la fracción fina, como se ha podido ver, resulta muy limitada.

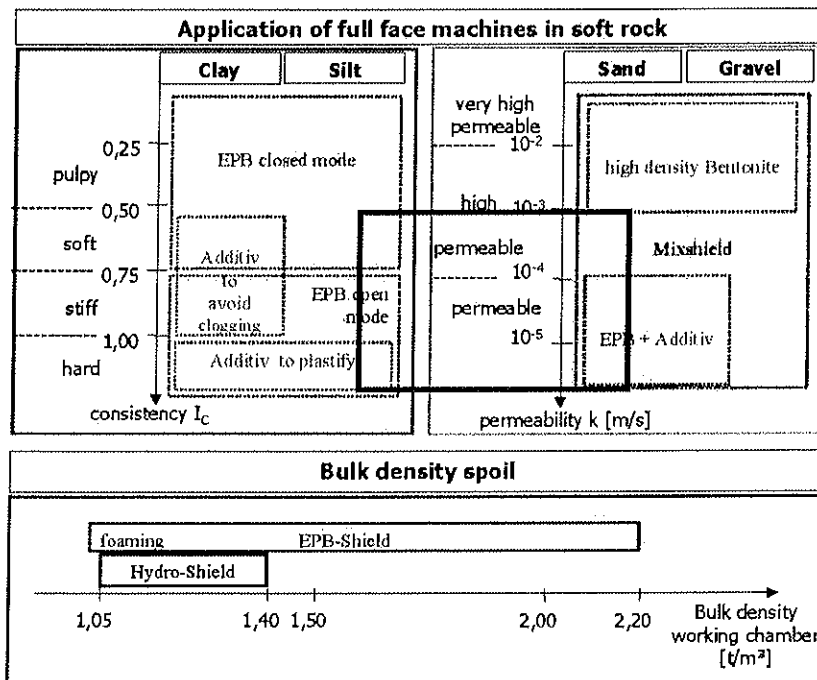


Figura 5: Criterios de selección de tuneladoras. Permeabilidad y plasticidad.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL

### 3 POSIBLES CONDICIONES DE FRENTE MIXTO Y PRESENCIA DE AGUA

002442

Eventuales condiciones de frente mixto quedan descartadas de acuerdo con la campaña geotécnica llevada a cabo. Éstas sólo serían esperables en el sector que está previsto ejecutar con medios convencionales.

Respecto a la presencia de agua, ésta estará presente en prácticamente toda la longitud de Línea 4 y, en Línea 2, desde el Callao hasta la estación de Carmen de La Legua. El sector previsto perforar mediante tuneladora comprendido (L2) entre Carmen de La Legua en adelante no presentará afección por presencia del nivel freático.

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados anteriormente expuestos se puede concluir:

- El tamaño máximo más representativo de la grava de Lima sería el de 35 cm, resultando las partículas de este tamaño bastante frecuentes y siendo superadas, en principio de forma excepcional u ocasional.
- Se trata de materiales de una alta abrasividad que obligarán a intensas labores de cambio de cortadores o de picas y supondrán también elevados desgastes del sinfín y, en general, de las piezas o conducciones en contacto con las gravas.
- Respecto a la estabilidad del frente durante la excavación mediante tuneladora, se recomienda la aplicación de una presión en clave de **2,5 bares para el caso de la Línea 4 y de 1,5 bares para el caso de la Línea 2.**
- Elección de tuneladoras acordes a las recomendaciones:
  - Se determina el empleo de una tuneladora tipo EPB convencional, escudo de frente en presión de tierras, en los tramos donde el nivel freático no supera los 4-5 metros por encima de la clave del túnel (correspondiente a los tramos de paso bajo el río Rimac y anterior a Carmen de la Legua de la línea 4) y en el resto del trazado sin afección freática. Se adapta el diseño de la tuneladora EPB a las exigencias del trazado a realizar.
  - En los tramos de túnel donde la carga freática es importante (Línea 2 entre Puerto del Callao y Carmen de la Legua. Línea 4 entre Gambetta y El Quilca), con una EPB convencional se plantea el problema de controlar la presión transmitida por un terreno con cierta permeabilidad. El no conseguir un material debidamente tratado en la cámara y el deficiente desalojo por sinfín pueden ocasionar desequilibrios en las presiones de trabajo. Además el desescombro por cintas de un material deficientemente tratado ocasionaría mermas en la producción. Para solventar este inconveniente se opta por una tuneladora tipo EPB modificada con circuitos de lodos.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



Línea 2				Presión en la CLAVE (KPa)				
P.K. de estudio	Material presente en el frente de excavación	Cobertera respecto a rasante (m)	Altura de la lámina de agua respecto a rasante (m)	Hidroescudo con presión de lodos		Tuneladora EPB		
				Método de cálculo de Horn & Terzaghi	Método de cálculo de G. Anagnostou & K. Kovári	$K_a \cdot p'_v + p_w + 20$	Método de S.Kanayasu	Método de cálculo de G. Anagnostou & K. Kovári
0+450	GPS-s/GPS-f	18,19	16,09	150	110	145	125	70
2+100	GPS-f	19,83	12,61	135	75	126	106	55
6+150	GPS-f	25,33	0	-	-	111	91	40
12+575	GPS-f	27,05	0	-	-	120	100	40

Línea 4				Presión en la CLAVE (KPa)				
P.K. de estudio	Material presente en el frente de excavación	Cobertera respecto a rasante (m)	Altura de la lámina de agua respecto a rasante (m)	Hidroescudo con presión de lodos		Tuneladora EPB		
				Método de cálculo de Horn & Terzaghi	Método de cálculo de G. Anagnostou & K. Kovári	$K_a \cdot p'_v + p_w + 20$	Método de S.Kanayasu	Método de cálculo de G. Anagnostou & K. Kovári
7+350	GPS-f	41,96	29,25	380	241	365	345	190

Tabla 3: Resumen de los resultados obtenidos para las distintas metodologías aplicadas.

**5 DESCRIPCION DE TUNELADORA TIPO EPB**

Del análisis geotécnico de los tramos de túnel proyectados, se realiza una tramificación para ejecutar mediante tuneladora acorde a la magnitud de la carga freática y a la naturaleza del frente a cota de excavación. Se determina el empleo de una tuneladora tipo EPB convencional, escudo de frente en presión de tierras, en los tramos donde el nivel freático no supera los 4-5 metros por encima de la clave del túnel (correspondiente a los tramos de paso bajo el río Rimac y anterior a Carmen de la Legua de la línea 4) y en el resto del trazado sin afección freática. La granulometría media en el trazado, deducida de los múltiples sondeos a lo largo de la traza proyectada, prevé la presencia de un material granular de tamaño variable, con una matriz de finos.

Se adapta el diseño de la tuneladora EPB a las exigencias del trazado a realizar. La rueda de corte va provista en un primer plano de ataque de discos cortadores de 17" repartidos en toda la superficie para tener una huella de 100mm entre cortadores. Esa herramienta es la que ataca en primer lugar el frente rompiendo los elementos más duros. En un plano retrasado unos 35mm respecto al plano de los cortadores se disponen las picas que arañan el material más blando. En la periferia de la rueda de corte se disponen cortadores y rastreles que aseguran el diámetro exterior de la excavación. Además se cuenta con indicadores de desgaste para la herramienta de corte. El porcentaje de huecos de la rueda de corte es de un



002444

30% mínimo considerado óptimo para este tipo de terreno. En las ventanas de entrada de material a la cámara de amasado se disponen transversalmente unas barras (grill bar) para limitar el tamaño de entrada de bloques. Los cortadores son los que reducirán el tamaño de los mayores bloques hasta poder pasar a la cámara de amasado. La tuneladora va provista de un sinfín de accionamiento hidráulico para el desalojo controlado del escombros tratado. El tamaño máximo de bolo admitido es de 350mm pero se dota el sinfín de una potencia suficiente para evitar posibles bloqueos. Para asegurar el control de la presión de trabajo en la cámara de amasado se distribuyen en todo el perímetro unos sensores de presión calibrados a la décima de bar.

El equipo de inyección de aditivos para acondicionar el terreno permite inyectarlos directamente al frente, en la cámara de amasado o en el sinfín en las proporciones que se definan, el piloto de la tuneladora controla todos los parámetros de la inyección desde la cabina de pilotaje.

Para la inyección de mortero en el trasdós de la dovelas se opta por un mortero de tipo bicomponente, amasado en una planta en las instalaciones del pozo de ataque. Se mezcla por un lado agua con conglomerantes en una determinada proporción (componente A) y se traslada por tubería hasta la TBM. Por otra tubería se trasiega el reactivo (componente B) normalmente silicato sódico. Se mezclan los dos componentes a la salida del escudo de cola, reaccionando y fraguando en un tiempo controlado según la cantidad de reactivo aportado en la mezcla.

La tuneladora va provista de un equipo de perforación que se acopla al erector de dovelas para realizar paraguas de tratamiento del terreno a través del escudo.

El desescombro se plantea por cinta transportadora desde la TBM hasta el foso de desescombro ubicado en la superficie del pozo de ataque.

Para el diseño de la tuneladora EPB se han fijado unos parámetros mínimos acordados con diferentes fabricantes y ajustados a los requerimientos técnicos de la obra a realizar (geometría del túnel de línea, naturaleza de los terrenos atravesados, carga freática, durabilidad).

#### Características principales TBM tipo EPB:

##### Rueda de corte:

- Diámetro excavación: 10.200mm.
- % apertura: >30%.
- Giro bidireccional.
- Herramienta de corte: discos cortadores Ø17". Huella=100mm.
- Copy cutter para sobrecorte.
- Detectores de desgaste de herramientas.

##### Accionamiento principal:

- Accionamiento de tipo eléctrico.
- Desplazamiento longitudinal: 400mm.
- Potencia instalada: min. 3.000kW.
- Velocidad de giro: Variable 0-3,2 rpm.
- Par nominal: 20.000kN.m.
- Par de desbloqueo: 26.000 kN.m.
- Vida útil del rodamiento: >10.000h. s/ Norma DIN ISO 281.

##### Empuje:

- Nº cilindros de propulsión: 38 uds.
- Potencia instalada: 200kW.
- Máximo empuje: 100.000 kN.
- Carrera de los cilindros: 2.500 mm.

CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



## A.6.5. Selección de TBM



- Máxima velocidad de avance: 80mm/min c/38 cilindros.
- Sistema anti rolling.

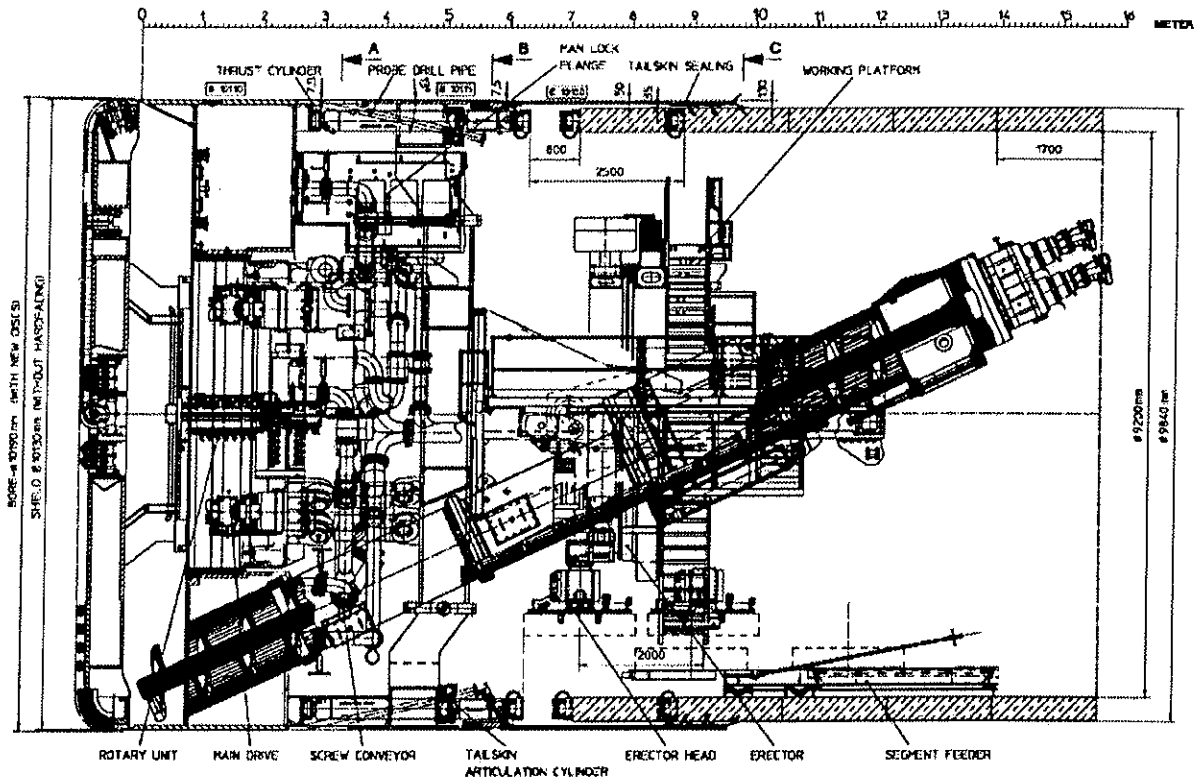
002445

Sinfin:

- Diámetro paso de hélice: 800mm.
- Rendimiento: 900m<sup>3</sup>/h.
- Diámetro máximo de bloques: 350mm.

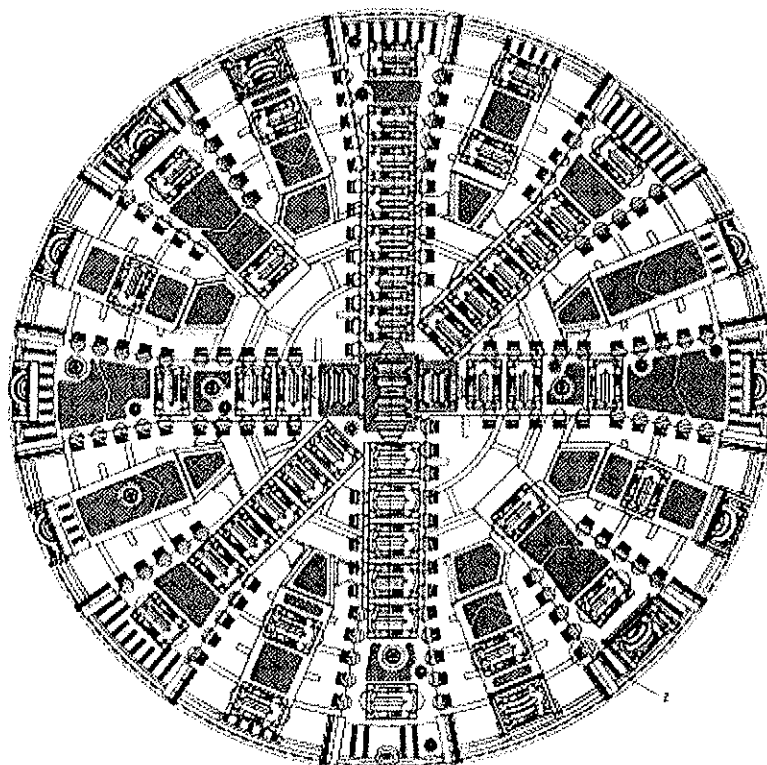
Sistema eléctrico:

- Potencia total instalada en TBM: 5.000kW



Sección Escudo tipo EPB






Vista frontal rueda de corte EPB

**6 DESCRIPCION DE TUNELADORA TIPO EPB MODIFICADA CON "SLURRY BOX"**

En los tramos de túnel donde la carga freática es importante (Línea 2 entre Puerto del Callao y Carmen de la Legua, Línea 4 entre Gambetta y El Quilca), con una EPB convencional se plantea el problema de controlar la presión transmitida por un terreno con cierta permeabilidad. El no conseguir un material debidamente tratado en la cámara y el deficiente desalojo por sinfín pueden ocasionar desequilibrios en las presiones de trabajo. Además el desescombro por cintas de un material deficientemente tratado ocasionaría mermas en la producción.

Las condiciones parecen idóneas para la elección de un hidroescudo si no es por el tamaño máximo de bolos más representativo dentro de la grava de Lima (diámetro de 30-35cms). El desgaste y averías previstos para la machacadora montada en todos los hidroescudos en la cámara de amasado previo al bombeo hacen inviable esta opción.

Para solventar este inconveniente se opta por una tuneladora tipo EPB modificada con circuitos de lodos. La descripción de la EPB es similar a la primera presentada con la salvedad de que en la descarga del sinfín lleva acoplado un equipo denominado "slurry box" y que va equipada con un equipo para operar con inyección de bentonita o espumas, según se dé el caso. La "slurry box" consiste en un recinto estanco que monta en primer lugar una machacadora de rodillos que tritura los bolos procedentes del sinfín para permitir su bombeo junto al resto del material de la excavación por tubería hasta el pozo de ataque. En esta TBM también se dota la rueda de corte de "grill bars" para limitar el tamaño de los bloques que pueden acceder a la cámara de amasado. Además la tuneladora va equipada con un equipo que permite la estabilización del frente con lodo bentonítico, inyectando bentonita en cámara y controlando la presión de trabajo a través de una burbuja de aire comprimido que absorbe las fluctuaciones debidas al bombeo de bentonita y al desescombro. El circuito de bentonita permite su inyección en la cámara de amasado, en varios puntos del sinfín y en la "slurry box" para facilitar el bombeo del material desalojado por el sinfín. El tamaño máximo de bolos será

  
 CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
 ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
 REPRESENTANTE LEGAL



Pag

### A.6.5. Selección de TBM



el que pase a través del sinfín y el mantenimiento de la machacadora, montada en el interior del escudo, es más práctico y permite mantener la presión en cámara cerrando las compuertas que asilan el sinfín del mamparo. En la superficie del pozo de ataque se instala una planta para tratamiento y recirculación del lodo procedente de la TBM.

002447

Características principales TBM tipo EPB modificada con "slurry box":

Rueda de corte:

- Diámetro excavación: 10.200mm.
- % apertura: >30%.
- Giro bidireccional.
- Herramienta de corte: discos cortadores Ø17". Huella=100mm.
- Copy cutter para sobrecorte.
- Detectores de desgaste de herramientas.

Accionamiento principal:

- Accionamiento de tipo eléctrico.
- Desplazamiento longitudinal: 400mm.
- Potencia instalada: min. 3.000kW.
- Velocidad de giro: Variable 0-3,2 rpm.
- Par nominal: 20.000kN.m.
- Par de desbloqueo: 26.000 kN.m.
- Vida útil del rodamiento: >10.000h. s/ Norma DIN ISO 281.

Empuje:

- Nº cilindros de propulsión: 38 uds.
- Potencia instalada: 200kW.
- Máximo empuje: 100.000 kN.
- Carrera de los cilindros: 2.500 mm.
- Máxima velocidad de avance: 80mm/min c/38 cilindros.
- Sistema anti rolling.

Sinfín:

- Diámetro paso de hélice: 800mm.
- Rendimiento: 900m³/h.
- Diámetro máximo de bloques: 350mm.

Circuito de lodo:

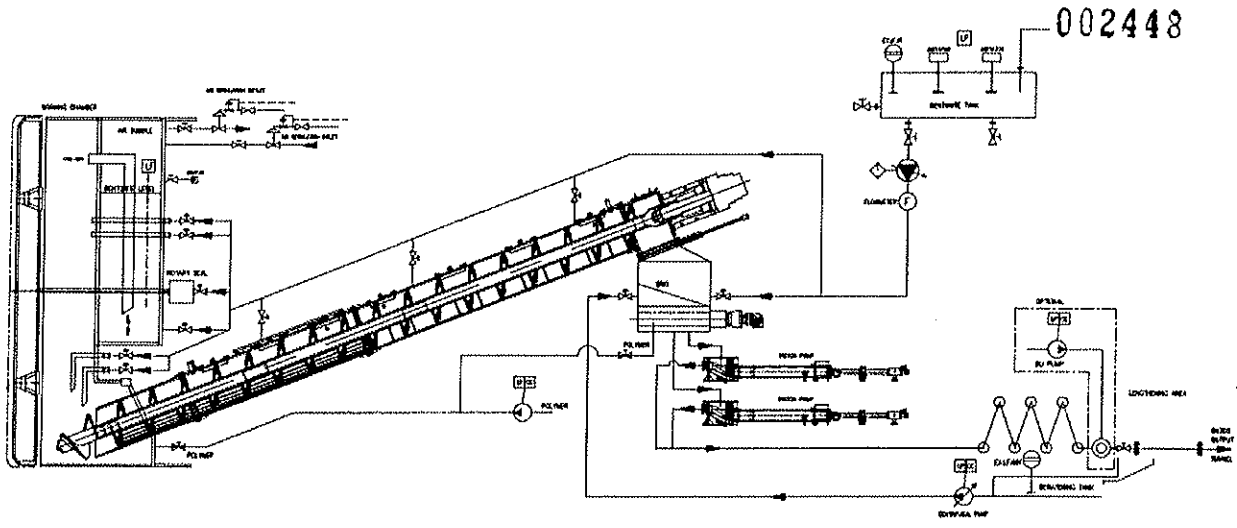
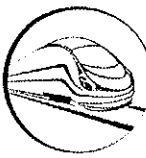
- Caudal de inyección en modo excavación: 1.440m³/h.
- Caudal de bombeo de extracción en modo excavación: 1.700m³/h.
- Diámetro de conducción inyección/extracción de lodos: 16".

Sistema eléctrico:

- Potencia total instalada en TBM: 5.000kW

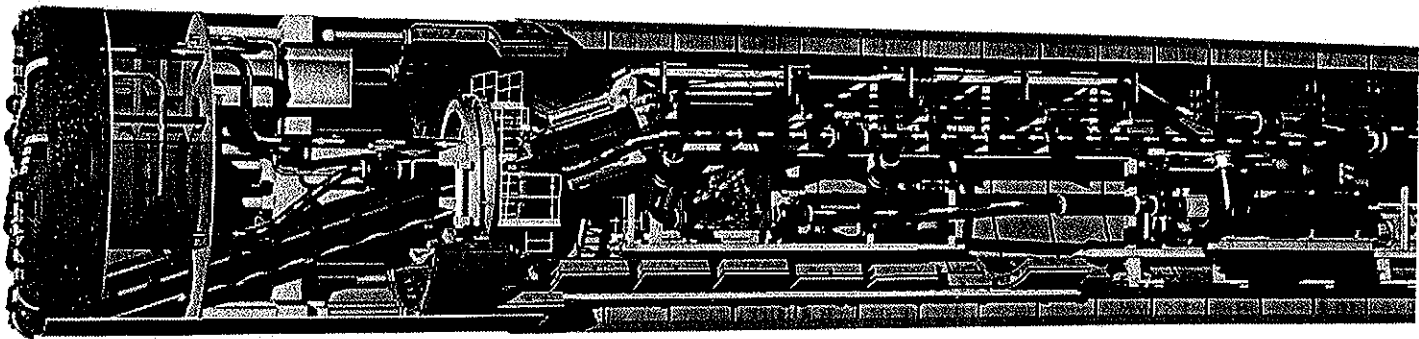
CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN DASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL





Esquema EPB modificada con slurry box

Sección EPB modificada



CONSORCIO NUEVO METRO DE LIMA  
ALFONSO JUAN BASABE GARCIA  
REPRESENTANTE LEGAL



*[Handwritten signature]*