



***Sectorización Geomecánica y Comportamiento
Dinámico Nuevo Túnel El Melón II.***

Memoria de título para optar a título en geología por:

Felipe Andrés Sánchez Torres

Profesor guía: Andrés Antonio Tapia Pardo

30 de marzo 2021, Viña del Mar, Chile

Índice

1. Introducción	1
2. Base técnica.....	4
3. Resumen ejecutivo	6
4. Objetivo general	7
5. Objetivos Específicos	7
6. Alcances	7
7. Ubicación del Túnel	8
8. Geología del Proyecto	9
8.1. Geología Regional.....	9
8.2. Geología Distrital	11
8.3. Geología Local	13
8.4 Geología estructural	18
9. Características constructivas del proyecto	22
9.1. Metodología de excavación.....	22
9.2. Ciclos Constructivos	23
9.3. Fortificación definida por clase de roca	33
9.4. Resistencias de los elementos de fortificación	40
9.5 Ensayos de laboratorio	41
10. Sistema de clasificación geotécnica del proyecto	42
10.1. Características de los parámetros del NGI-Q	42
10.2. Ábaco de clasificación de fortificación.....	49
10.3. Clases geotécnicas de ingeniería de detalles	51
11. Sectorización geomecánica en etapa de construcción.	53
11.1. Identificación litológica.....	54
11.2. Identificación de dominios estructurales.....	55
11.3. Clasificación de unidades geomecánicas del proyecto.....	55
11.4 Calibración y comparación de métodos geotécnicos en Conexión peatonal N°2.	60
11.5. Comparación de unidades geomecánicas de ingeniería v/s constructivas.....	62
12. Modelamiento numérico de unidades geomecánicas	65
12.1. Modelamiento determinístico para comportamiento de unidades geomecánicas en corto plazo	68
12.2. Modelamiento probabilístico para comportamiento de unidades geomecánicas al largo plazo	69
13. Conclusiones	70

14. Recomendaciones constructivas.....	74
15. Acciones presentes y futuras	75
16. Referencias.....	76

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación, Túnel El Melón II. Línea roja trazado del TEMII, ubicado al norte de la Localidad de El Melón.	8
Figura 2 Mapa Geológico 1:250.000, Quillota-Portillo	10
Figura 3 Perfil geológico geomorfológico del 32 a 33° S, carta Geológica 1:250.000, hoja Quillota – Portillo, Rivano S, 1993, Servicio Nacional de Geología y minería, Chile.	10
Figura 4 Comunas que rodean a localidad El Melón, Oeste: Quintero, Puchuncaví; Central: Calera, La Ligua; Este: Hijuelas, Catemu.	12
Figura 5 Mapa distrital 1:10.000, Localidad El Melón. carta Geológica 1:250.000, hoja Quillota – Portillo, Rivano S, 1993, Servicio Nacional de Geología y minería, Chile.	12
Figura 6 Mapa 1:1.000, Sector Cuesta El Melón. carta Geológica 1:250.000, hoja Quillota – Portillo, Rivano S, 1993, Servicio Nacional de Geología y minería, Chile	13
Figura 7 Sistema de fallas regionales, zona occidental Fallas NNW- NW; zona central fallas NNW- NW, NNE-NE; zona oriental fallas N-S.	19
Figura 8 En imagen a la izquierda Fallas preferenciales en TEMII y a la derecha su orientación Preferencial TEMII	20
Figura 9 Imagen Izquierda, dique andesítico afanítico; imagen central concentración de planos en TEMII; imagen derecha orientación preferencial de diques en TEMII.	21
Figura 10 Imagen izquierda orientación preferencial diaclasas NNW-SSE; Imagen derecha concentración de polos con cuatro orientaciones preferenciales de diaclasas. TEMII.	21
Figura 11 Perforación del frente con Jumbo y diagrama de disparo, TEMII.....	22
Figura 12 diagrama de flujo de ciclo constructivo, TEMII.....	23
Figura 13 Etapas del ciclo constructivo y su porcentaje, TEMII	32
Figura 14 Fortificación definida roca clase I o R1, TEMII.....	33
Figura 15 Fortificación definida para roca tipo II o R2, TEMII	34
Figura 16 Fortificación definida para roca tipo III o R3, TEMII	35
Figura 17 Fortificación definida para roca tipo IV o R4, TEMII.....	36
Figura 18 Fortificación definida para roca tipo V o R5, TEMII	37
Figura 19 Fortificación definida para bahía de estacionamiento roca tipo I o R1, TEMII	38
Figura 20 Fortificación definida para bahía de estacionamientos roca tipo II o R2, TEMII.....	39
Figura 21 Fortificación definida para bahía estacionamiento roca tipo III o R3, TEMII.....	40
Figura 22 Ábaco de fortificación NGI-Q, NGI 2013.	50
Figura 23 Gráfico comportamiento NGI-Q, TEMII.....	52
Figura 24 Sectorización geomecánica del proyecto	59
Figura 25 Ubicación conexión peatonal N°2	60
Figura 26 Modelamiento de CP2, Imagen de la izquierda sobreexcavación; imagen central correcta fortificación en etapa constructiva; imagen de la derecha comportamiento de fortificación luego de 25 años	61

Índice de fotografías

Fotografía 1 Andesita silicificada, TEMII	14
Fotografía 2 Toba de ceniza con líticos y vesículas, TEMII.....	15
Fotografía 3 Corneana conpátinasde limonita y pirolusita, TEMII.....	16
Fotografía 4 Lutita, conpátinasde epidota y piritita, TEMII.....	17
Fotografía 5 Perforación y equipo jumbo Sandvick, TEMII.....	24
Fotografía 6 Equipo para lechada de pernos, TEMII	24
Fotografía 7 Instalación de marcos, TEMII	25
Fotografía 8 Carguío de explosivos en el frente de avance, TEMII.....	26
Fotografía 9 ventilación y extracción de gases, TEMII	27
Fotografía 10 Extracción de marina, camión tolva Mercedes Benz 20 M ³ y cargador frontal articulado JCB	28
Fotografía 11 Acuñaadura mecánica con excavadora Dossan 30 ton y manu con barretillal, TEMII 28	
Fotografía 12 izquierda mapeo geológico de el frente de avance, derecha levantamiento topográfico, TEMII.....	29
Fotografía 13 Proyección de shotcrete y equipo roboshot Pulzmeister SPM, TEMII	30
Fotografía 14 Marcación topográfica y equipo Manitou MTX 1030.....	31
Fotografía 15 sondaje exploratorio y extracción de chips, TEMII.....	32
Fotografía 16 Pernos A630-420H, 4 metros, diámetros 25 milímetros, TEMII	41

Índice de tablas

Tabla 1 Principales Obras a Realizar en la Etapa de Construcción, Bases de licitacion, Relicitación concesión Túnel El Melón, MOP.....	4
Tabla 2 Valores de RQD	43
Tabla 3 valores de Jn.....	44
Tabla 4 valores de Jr	45
Tabla 5 valores de Ja	46
Tabla 6 valores Jw.....	47
Tabla 7 valores de SRF	48
Tabla 8 valores de ESR.....	49
Tabla 9 Calidad geotécnica, Etapa ingeniería de detalles	51
Tabla 10 Metros y porcentaje de Roca, TEMII.....	53
Tabla 11 litologías y porcentajes, TEMII.....	54
Tabla 12 orientaciones de las estructuras en etapas de ingeniería de detalles y construcción	63
Tabla 13 Valores caudales (l/s) en etapas de ingeniería de detalles y construcción	63
Tabla 14 Porcentaje de Clases de roca en etapas de ingeniería de detalle y construcción.....	64
Tabla 15 Valores promedio de Modelamiento numérico y probabilístico, TEMII.....	66
Tabla 16 Solicitud máxima requerida para pernos y shotcrete, TEMII	66
Tabla 17 Compilación de datos para la sectorización y modelamiento numérico y probabilístico, TEMII.....	67

Anexos

Anexos A. Tabla de datos obtenidos, de los mapeos geológicos TEMII.

Anexos B. Resultados de modelos de Phase2

Glosario

- 1- geomecánica/(o): El término hace referencia a la disciplina que estudia las características mecánicas de los materiales geológicos, basándose en conceptos y teorías de mecánica de roca y suelo.
- 2- Relicitación: El término hace referencia a la licitación que se adjudicaron las empresas para la concesión Túnel El Melón.
- 3- Discontinuidades o juntas: El término hace referencia a cualquier corte, ya sea fisura o grieta con una cierta dirección en el macizo rocoso.
- 4- Fortificación: Según la RAE, hace referencia a entregar vigor y fuerza material, para este trabajo también es entregar una resistencia adicional a una estructura o excavación.
- 5- Alteración: El término hace referencia a un conjunto de modificaciones de las propiedades fisicoquímicas de los minerales y rocas.
- 6- Parámetros geológicos: El término hace referencia a todos los parámetros obtenidos a través de los mapeos geológicos, que describen las condiciones geológicas del macizo rocoso, su litología, alteración, minerales presentes y estructuras.
- 7- Parámetros geotécnicos: El término hace referencia a todos los parámetros obtenidos a través de los mapeos geológicos, que describen las condiciones y características geotécnicas o geomecánicas del cuerpo rocoso, como son la resistencia de la roca, cantidad de fracturas o diaclasas, orientación de estructuras o diaclasas, presencia de agua medida en caudal, grado de alteración y meteorización.
- 8- Roca intacta: El término hace referencia a es un trozo o bloque de roca, que no posee fracturas o diaclasas.
- 9- Geomorfología: Según la RAE, es el estudio de las características propias de la corteza terrestre.
- 10- Estratificación: Según la RAE, es la disposición de las capas o estratos de un terreno.
- 11- Volcanoclástica: El término hace referencia a rocas que están formadas por clastos o trozos de material que fue expulsado en la erupción volcánica.
- 12- Sedimentaria: El término hace referencia a roca conformada por trozos o clastos, de otras rocas preexistentes.
- 13- Intrusivo: El término es un cuerpo de roca que ha cristalizado lentamente a partir de magma en una parte superficial de la corteza terrestre.
- 14- Volcanosedimentario: El término hace referencia a materiales cuya génesis está relacionada con procesos volcánicos y cuyo transporte y sedimentación, tiene relación con las rocas sedimentarias.
- 15- Depósito aluvial: El término hace referencia a lugar en donde se deposita sedimento arrastrado por las lluvias o las corrientes.
- 16- Depósito coluvial: El término hace referencia a lugar en donde se deposita el material a lo largo de una ladera, conformado por masas heterogéneas de grava, lodos y bloques.

- 17- Arenisca: El término hace referencia a roca sedimentaria, conformada por otros clastos o trozos de roca de tamaño arena.
- 18- Arcillolita: El término hace referencia a roca sedimentaria conformada por otros clastos o trozos de roca tamaño arcilla.
- 19- Limolitas: El término hace referencia a roca sedimentaria conformada por otros clastos o trozos de roca tamaño limo.
- 20- Diorita: Según la RAE, es una roca eruptiva, granosa, formada por feldespatos y un elemento oscuro, que puede ser piroxeno, anfíbol o mica negra.
- 21- Monzodiorita: El término hace referencia a una roca intrusiva, con baja presencia de cuarzo, y una alta concentración de plagioclasas.
- 22- Gabro: El término hace referencia a una roca intrusiva, compuesta principalmente por plagioclasa cálcica y piroxeno.
- 23- Granodiorita: El término hace referencia a una roca intrusiva, compuesta por una concentración heterogénea de cuarzo, plagioclasas y feldespatos.
- 24- Roca Piroclástica: El término hace referencia a una roca formada por procesos de compactación o cementación de fragmentos pequeños expulsados en una erupción volcánica.
- 25- Sobreyace: El término hace referencia a estar sobre algo preexistente.
- 26- Porfídica: El término hace referencia a una textura o conformación de roca en la que se pueden apreciar dos tamaños de cristales, uno muy pequeño y el otro relativamente mayor.
- 27- Calcárea: Según la RAE, que tiene cal.
- 28- Diamictitas: El término hace referencia a rocas sedimentarias mal clasificadas y sin estratificación.
- 29- Intruido: El término hace referencia a una roca ígnea que ha cristalizado a partir de magma fundido y que se aloja en fisuras o grietas de una roca preexistente.
- 30- Infrayace: El término hace referencia a que se ubica de forma extensa por debajo.
- 31- Pelitas: El término hace referencia a roca sedimentaria de grano muy fino que también se le conoce como fangolita.
- 32- Propilítica: El término hace referencia a tipo de alteración hidrotermal, caracterizada por la presencia de minerales como clorita, epidota, calcita y plagioclasa albitizada.
- 33- Argílica: El término hace referencia a tipo de alteración hidrotermal, caracterizada por la presencia de arcillas.
- 34- Silicificación: El término hace referencia a un tipo de alteración hidrotermal, caracterizada por la destrucción total de la mineralogía original. La roca queda convertida en una masa silíceas.
- 35- Textura brechosa: El término hace referencia a una textura en la cual existen clastos angulosos en una matriz de grano más fino.
- 36- Monomíctica: El término hace referencia cuando en una brecha, todos sus clastos son de una sola fuente o procedencia.

- 37- Xeromórfica: El término hace referencia a granos con forma irregular, también se le llama anhedral.
- 38- Equigranular: El término hace referencia cuando todos los cristales de una roca son aproximadamente del mismo tamaño.
- 39- Fílica: El término hace referencia a un tipo de alteración hidrotermal, caracterizada por la presencia de cuarzo – sericita.
- 40- Metamorfismo: Según la RAE, transformación natural ocurrida en un mineral o en una roca después de su consolidación primitiva.
- 41- Textura clástica: El término hace referencia a textura propia de las rocas sedimentarias, conformado por clastos o fragmentos de rocas preexistentes.
- 42- Fallas: Según la RAE, fractura de la corteza terrestre acompañada de deslizamiento de uno de los bloques.
- 43- Vergencia: El término hace referencia la inclinación del plano axial, de alguna estructura geológica como fallas o pliegues.
- 44- Sinistral: El término hace referencia al movimiento aparente de una falla de desgarre, en este caso hacia la izquierda.
- 45- Dique: Según la RAE, en minería, filón estéril que asoma a la superficie del terreno, formando a manera de muro.
- 46- Flexotracción: Según la Real Academia de Ingeniería, son la aplicación de dos cargas iguales y simétricas sobre un elemento estructural o probeta, si se trata de un ensayo.
- 47- Marina: El término hace referencia a material (mineral o roca) resultante de una tronadura.
- 48- Mordaza: Según la RAE, pieza desplazable del freno de tambor que sirve de soporte a los elementos de fricción.
- 49- Abrasividad: Según la RAE, dicho de un producto: que sirve para desgastar o pulir, por fricción, sustancias duras como metales, vidrios, etc.
- 50- Difracción: Según la RAE, desviación de una onda al chocar con el borde de un cuerpo opaco o al atravesar una abertura.

Agradecimientos

Quisiera dedicar este trabajo a todas las personas que me ayudaron en la realización de este documento.

En primer lugar, quisiera agradecer al geólogo Senior, M. Sc geomecánica ^[1] Don Andrés Tapia Pardo Profesor guía y encargado del área de geología, en relicitación ^[2] concesión Túnel El Melón, quien me apoyó, instruyó y colaboró con sus conocimientos en el presente trabajo.

Se agradece a la empresa Desarrollo Minero Aura Spa, en especial al MBA y gerente general en Aura Ingeniería Perú Don Alfonso Farias Ferrari, por entregar su apoyo y disposición para poder realizar mi memoria en las dependencias de la obra.

Al igual que al M. Sc en educación superior e inspector fiscal en coordinación de concesiones de obras públicas, Actual inspector fiscal en la relicitación concesión túnel El Melón, Don Víctor Raymondi Eldan, por el conocimiento e impulsarme a ser un mejor profesional.

Una mención, al Geólogo Francisco Eggers Reuss, que se desempeñó como geólogo para el ministerio de obras públicas, ayudándome en el conocimiento y comprensión de aspectos geotécnicos sobre la excavación y a Don Carlo Rubio Ochoa, quien confió en mi para poder desempeñarme primeramente como practicante y luego como memorista en la obra, relicitación concesión Túnel El Melón.

Además, un reconocimiento al equipo del departamento de geología de la concesión Túnel El Melón, al Geólogo de la Universidad Santo Tomás Javier Farias Estay, al Geólogo de la Universidad de Chile Pedro Santis Sepúlveda, a la Geóloga de la Universidad Santo Tomás Andrea Rojas Cornejo y la Geóloga de la Universidad de Venezuela Jessica Belandria, todos ellos me ayudaron y enseñaron durante mi estadía en la obra Túnel El Melón II.

Deseo agradecer a todos los miembros de la concesionaria, como a los profesionales de Belfi, Compax, y Zañartu ingeniería, que me acompañaron y aconsejaron durante mis instancias en la obra, siempre entregándome una ayuda y palabras de autosuperación.

1. Introducción

De acuerdo con la Real Academia de la Lengua Española, un túnel vial se define como una vía subterránea abierta artificialmente para el tránsito de personas y vehículos. El ser humano ha realizado estas obras de ingeniería desde hace más de 5.000 años, produciéndose un aumento exponencial de las técnicas de construcción en los últimos 200 años. En la actualidad, el uso de maquinaria especializada junto con el correcto reconocimiento del comportamiento del macizo rocoso, han hecho posible la construcción de túneles viales de gran envergadura, siguiendo estrictos protocolos de seguridad tanto para sus trabajadores como para sus usuarios finales.

En la antigüedad la realización de excavaciones para la minería generaba gran cantidad de muertos por colapsos de roca, debido a que solo se sostenían por pilotes de madera o metal. El estudio de los esfuerzos tensionales que son las fuerzas que actúan de forma paralela, pero en una dirección opuesta en las rocas y que pueden generar un desplazamiento o deformación, fue el primer paso para comprender la naturaleza de una excavación y como se debían fortificar para obtener construcciones que no colapsarán y que fueran permanentes.

El primero en estudiar estos conceptos fue el ingeniero civil y geólogo Karl Von Terzaghi, que en 1946 propuso la primera clasificación del terreno, con el fin de la construcción de túneles. Fue el primero en presentar el concepto de carga de roca que hace referencia a las fuerzas que ejerce el macizo rocoso sobre una excavación, y propuso que esta carga de roca depende de la altura de la columna de roca, con eso logro calcular un factor de carga de la roca realizando una relación entre el ancho y altura de una excavación. Además, considero las discontinuidades^[3] estructurales del macizo rocoso, con esto propuso una clasificación cualitativa, generando nueve categorías para el cuerpo rocoso, cada una de estas con una fortificación^[4] basado en arcos de acero y pilotes de madera.

Luego en 1958, Lauffer propuso nuevos conceptos como son el tiempo de estabilidad de excavaciones, realizando una relación entre la longitud libre que es el largo máximo de una excavación que puede estar sin sostenimiento, en función del tiempo, pero esto no se basan en datos geotécnicos, sino que se realiza a través de conocimientos previos de otras obras.

Posteriormente Deere, en 1964 define el índice de calidad de roca RQD, dándole una importancia a la cantidad de discontinuidades en un metro de sondaje, entregando cinco categorías de roca.

En 1973, el ingeniero geotécnico polaco Z.T. Bieniawski, desarrollo el sistema de clasificación de roca RMR, se basó en experiencias en túneles con poca profundidad y en rocas sedimentarias. Este método tuvo múltiples modificaciones a lo largo del tiempo, en 1989 se establece el actual método RMR, el cual se basa en seis parámetros: resistencia del

material rocoso intacto; calidad de la roca (RQD); espaciado de las discontinuidades; condición o estado de las discontinuidades; estado del agua subterránea y ajuste en relación de la orientación de las discontinuidades. Con estos parámetros se llegan a valores cuantitativos de la roca y se clasifica en cinco categorías, además se le agrega una fortificación a cada una de estas categorías.

Barton, Lien y Lunde, en 1974 en el Instituto geotécnico noruego (NGI), propusieron el sistema Q de clasificación de macizos rocosos. Este método también ha sufrido modificaciones, en el 2013 se realiza la última actualización al sistema Q. Esta se basa en seis parámetros: RQD; número de familias de discontinuidades; rugosidad de las discontinuidades; alteración^[5] y relleno de las discontinuidades; factor asociado al agua en las discontinuidades y el factor asociado al estado tensional. Este sistema de clasificación, entrega valores cuantitativos, de la calidad del macizo rocoso, ponderando nueve clases de roca, además de un sostenimiento detallado para cada una de estas clases.

Cabe destacar que se pueden comparar los sistemas RMR y el sistema Q, puesto que cada uno de ellos posee categoría de rocas, en la que se califica la calidad geotécnica de los cuerpos rocosos. Pero para la clasificación de excavaciones subterráneas, el sistema Q es más completo y exacto, ya que se basa en los esfuerzos tensionales y además genera cocientes entre los parámetros que pueden describir características, propias del cuerpo rocoso, como son el tamaño de bloque, resistencia al corte entre bloques y esfuerzo activo en la excavación. Además de contar con una escala numérica logarítmica más precisa y más clases de roca, cada una de ellas con su respectiva fortificación.

El presente documento corresponde a la memoria de título requerido por la universidad Andrés Bello, Viña Del Mar, para optar al título de geólogo. Este estudio consiste en analizar la información geológicos y geotécnicos de la excavación, para establecer mediante estos, las características de la estabilidad geomecánica y la inclusión de posibles sostenimientos, complementarios para la estabilidad y seguridad en la etapa de operación del Túnel El Melón II (TEM II).

El contrato “Relicitación Concesión Túnel El Melón” fue adjudicado por la Dirección General de Concesiones del Ministerio de obras públicas (MOP), a un consorcio formado por tres empresas dedicadas a la excavación, construcción, fortificación y desarrollo de obra civil. La cuales son Desarrollos Mineros AURA spa, BELFI Y CONPAX, reunidas en el consorcio Nuevo Túnel El Melón II. Esta obra vial, se ubica de forma paralela al actual Túnel El Melón, en la región de Valparaíso, Chile, entre las provincias de Quillota y Petorca, siendo parte de la panamericana 5 Norte.

El proyecto contempla la materialización de un nuevo túnel aledaño al actual con sus respectivos accesos Norte y Sur, de manera tal, de considerar unidireccionalidad en cada uno de los túneles, por consiguiente, considera dos pistas a lo largo de todo su trazado, aumentando la velocidad de diseño en gran parte del trazado, el objetivo de la relicitación

considera principalmente el mejoramiento de la Concesión Actual Túnel El Melón y la construcción de una nueva obra vial, para aumentar la capacidad vial de la carretera panamericana 5 Norte.

Este bien público consiste en la construcción de un segundo túnel vial, que posee 2.905 metros de largo, 11,76 metros de ancho y 7,98 metros de alto, además cuenta con cuatro conexiones peatonales y una vehicular, que conectaran el nuevo Túnel El Melón II, con el túnel existente El Melón. Construido mediante la metodología drill&blast, con definición de tipos de fortificación con la filosofía noruega de construcción de túneles, donde la clasificación geológica- geotécnica de cada uno de los avances realizados, posee un papel fundamental en el desarrollo del proyecto.

Los parámetros geológicos^[6], y los valores geotécnicos^[7] consisten en la información usado en la etapa de construcción, para establecer las distintas categorías de roca que dan origen a diferentes tipos de fortificación de la excavación, a través de la clasificación NGI-Q (NGI, 2013). Con la información anterior, se realizará una sectorización del túnel mediante un modelamiento numérico que da lugar, a diferentes unidades geomecánicas al interior de la excavación, utilizando la suite de softwares de la empresa RocScience, Phase2 V8.0 2012, Dips V6.0 2016 y RocData V3.0 2004.

En esta obra vial, se lograron identificar, siete litologías, tres tipos de alteraciones, además se estudiaron los caudales de agua al interior de la excavación, estructuras del macizo rocoso, como fallas, diques y diaclasas, las clases de roca según el estudio del sistema NGI-Q (NGI,2013) y a estas clases a su vez tenían definida una fortificación. Con todo esto se logró sectorizar geomecánicamente la excavación y generar modelos numéricos y probabilísticos de la estabilidad del TEMII, tanto en el corto como en el largo plazo.

2. Base técnica

El proyecto de relicitación concesión Túnel el Melón, ha sido incluido por el ministerio de obras públicas, para proyectos viales realizados mediante concesiones de obras públicas buscando mejorar la infraestructura vial de la región de Valparaíso, además de disminuir los niveles de congestión para la carretera panamericana 5 Norte.

Este proyecto se puede separar en dos grandes tópicos, primeramente, el mejoramiento del actual túnel El Melón y la construcción de un nuevo túnel, y la conexión entre ambos. En tabla 1 se aprecia los detalles principales para el proyecto TEMII.

Tipos de Obras	Detalle Principales Obras a Ejecutar
Obras de Mejoramiento de la Infraestructura Preexistente (Concesión Actual)	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento del Túnel Existente; <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento de Gálibo Vertical ✓ Pavimento nuevo al interior del túnel ✓ Construcción de Galerías de Conexión Peatonal y Vehicular ✓ Construcción de Bahías de Estacionamiento ✓ Mejoramiento del Equipamiento Electromecánico (Iluminación, Ventilación, Detección de Incendios, Teléfonos SOS, CCTV, etc.) ✓ Mejoramiento del Sistema de Gestión de Tráfico ✓ Mejoramiento Señalización y Seguridad Vial • Mejoramiento de los Accesos Norte y Sur del Túnel existente; <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento de la Velocidad de Diseño a 100 km/hr en el Acceso Sur y a 80 km/hr en el Acceso norte ✓ Mejoramiento de Señalización y Seguridad Vial ✓ Mejoramiento de Iluminación ✓ Drenaje y Saneamiento ✓ Teléfonos SOS ✓ Regularización de Mediana, al menos a 6 m, entre Calzada Oriente y Calzada Poniente con excepción de empalmes con la concesión Santiago Los Vilos
Nuevas Obras de la Concesión (Construcción Nuevo Túnel y sus Accesos sur y norte)	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de Nuevo Túnel <ul style="list-style-type: none"> ✓ Galerías de Conexión Peatonal y Vehicular ✓ Bahías de Estacionamiento ✓ Equipamiento Electromecánico (Iluminación, Ventilación, Detección de Incendios, Teléfonos SOS, CCTV, etc.) ✓ Sistema de Gestión de Tráfico ✓ Señalización y Seguridad Vial • Construcción de Accesos Norte y Sur del Túnel <ul style="list-style-type: none"> ✓ Accesos Norte y Sur a Nuevo Túnel Velocidad de Diseño de 100 km/hr ✓ Señalización y Seguridad Vial ✓ Iluminación ✓ Drenaje y Saneamiento ✓ Teléfonos SOS • Ampliación de Edificio de Administración y Control • Construcción de Dos Áreas de Atención de Emergencias • Implementación de Sistema de Cobro Free-Flow.

Tabla 1 Principales Obras a Realizar en la Etapa de Construcción, Bases de licitación, Relicitación concesión Túnel El Melón, MOP.

En cuanto a los aspectos geológicos y geotécnicos del nuevo túnel, la sociedad concesionaria debe realizar levantamientos geológicos y perfiles geotécnicos detallando la evaluación y clasificación las clases de roca, la distribución de la calidad de roca y un soporte asociado a

ella, fallas, riesgos geológicos y toda condición geotécnica adversa. Además, esta información debe ser corroborada en estudios de gabinete, y ensayos de laboratorio.

Además, las concesiones, en particular el departamento de geología deberá hacer estudios de mecánica de suelo y su respectiva fortificación, que incorporen los accesos, diseño de pavimentos, fundaciones de puentes y estructuras y la estabilidad de taludes. Los estudios para realizar deben responder a los parámetros de suelos como son: resistencia y fortificación, permeabilidad, alterabilidad, expansibilidad, erosionabilidad y comportamiento geológico. Además, cabe destacar que este proyecto se basa en normativas vigentes, en la que destacan las normativas:

- Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del MOP. Volúmenes 2 al 9, en su última versión, y sus respectivos complementos si los hubiere, con las excepciones de su uso que se indican en las presentes Bases de Licitación.
- Normas Chilenas del Instituto Nacional de Normalización (INN).
- Para el diseño de Puentes y Estructuras Afines, regirán los Estándares y Normas indicadas en el capítulo 3.1000 del Manual de Carreteras, Volumen 3 y las disposiciones de AASHTO LRFD *Bridges Design Specifications*.
- Nuevos Criterios Sísmicos Para el Diseño de Puentes en Chile, elaborado por el Departamento de Proyectos de Estructuras, División de Ingeniería, Dirección de Vialidad.
- FHWA (2009). Design and Construction of Road Tunnels: Civil Elements. Technical Manual, Publication n° FHWA-NHI-09-010, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, New York, NY, USA.
- Comité de la Unión Europea – Directiva del Parlamento Europeo y del Comité de Requerimientos Mínimos de Seguridad para Túneles en la Red de Caminos Trans-Europea, Versión del 29 de Abril del 2004; (Aplicable a túneles de más de 500 m de longitud).
- Ministerio Público para Transporte Innovación y Tecnología – Sociedad Austriaca
- Tránsito Vehicular y Ferroviario (2009) - Recomendación RVS 09.01.24
- Oficina federal Alemana de Ferrocarriles (2001) – Recomendación y Requerimientos de Protección Contra Incendio y Catástrofes para la Construcción y uso de Túneles Ferroviarios. (Eisenbahnbundesamt – Richtlinie Anforderung des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln).
- Recomendación Austríaca para el diseño geotécnico de obras subterráneas de excavación cíclica (convencional) emitido por la Asociación Austríaca de Geomecánica (ÖGGRichtlinie für die geomechanische Planung von Untertagearbeiten mit zyklischem Vortrieb).
- NGI - Norwegian Geotechnical Institute [1997]. Practical use of the Q-method, rep no.592046-4. Oslo, Norway.
- Norwegian Public Roads Administration (2004). Standard Road Tunnels (2004).

3. Resumen ejecutivo

El Nuevo Túnel El Melón es la construcción de un túnel, que mejorara la conectividad vial de la carretera panamericana 5 norte, entre las comunas de Nogales y Zapallar.

Este proyecto elevará la tasa de circulación y generar un tránsito más expedito, ya que constará con dos ejes de tránsito Sur-Norte. Esta obra vial se llevó a cabo a través de metodología de perforación y tronadura, en la que los mapeos geológicos tienen un papel central en la caracterización y fortificación de la excavación.

La realización de un estudio geomecánico de toda la excavación y su comportamiento a través del tiempo es fundamental para comprender su estabilidad. Para eso se analizaron los datos geológicos y geotécnicos de la etapa de construcción, para desarrollar una sectorización geomecánica y un posterior análisis numérico tanto a corto como a largo plazo. Para la realización de este estudio se debieron analizar 719 mapeos geológicos, modelamientos de estructuras, y análisis numéricos a través de software de la plataforma RocScience, como Phase2 V8.0, dedicado a análisis numéricos de excavaciones y posibles sostenimientos, complementándose con el programa RocData 3.0 2004, para establecer las propiedades de roca, además con el software Dips 6.0, en el cual se realizó el ploteo de datos estructurales en notación Dip/DipDirection.

Este estudio logró categorizar 17 sectores en la excavación del túnel vial, con diferentes características geomecánicas, los cuales se modelaron utilizando una calibración con los datos geomecánicos de una conexión peatonal, permitiendo analizar directamente el estado de la roca en el Túnel El Melón I.

Esta investigación establece preliminarmente que los primeros metros del acceso Norte como Sur, serán los más afectados por los esfuerzos tensionales debido a la exposición a la meteorización y poca cobertura ^[6]. Los resultados entregados a través del modelamiento establecen que el Túnel el Melón II, permanecerá estable tanto a corto como largo plazo, los rangos de deformación son de 1,3 a 50,4 mm de desplazamiento.

La fortificación instalada en la etapa de construcción cumple con las necesidades que se impusieron y cumplirá con los estándares de resistencia luego de 25 años, sobrepasando el factor de seguridad de 1,3, establecido para este proyecto, llegando a un valor de seguridad evaluado de 1,6.

4. Objetivo general

Realizar un análisis geomecánico, de la estabilidad del macizo rocoso y del diseño de fortificación del túnel El Melón II, además del tipo de comportamiento en relación con los esfuerzos en el mediano y el largo plazo.

5. Objetivos Específicos

- Definir las propiedades de la roca intacta ^[8] y realizar un análisis estructural del macizo rocoso.
- Generar e identificar las unidades geomecánicas a través de la realización de un modelo numérico combinado, que incluye las características litológicas, estructurales y de parámetros geotécnicos.
- Optimizar el soporte instalado en la etapa constructiva.
- Verificar el funcionamiento del diseño en el largo plazo.

6. Alcances

- Análisis del soporte en el TEMII, a través de los datos de construcción.
- Evaluar la existencia de sectores que requieran distinta fortificación a lo definido por las bases del TEMII, en la etapa constructiva.
 - Establecer si el macizo rocoso, junto con la fortificación instalada, cumplieran con el factor de seguridad proyectado para el mediano y largo plazo.
- Corroborar las clasificaciones geotécnicas en la etapa de construcción, frente a la expuesta en la etapa de ingeniería de detalle.

7. Ubicación del Túnel

El Nuevo Túnel El Melón, se encuentra ubicado en la región de Valparaíso, Chile, entre las provincias de Quillota y Petorca y conecta las comunas de Nogales con Zapallar. Se localiza entre el Km 129.455 y Km 132.253 de la carretera panamericana 5 Norte, como se logra apreciar en la figura 1 de Google Earth.

Este Nuevo proyecto Vial, constará con dos ejes de tránsito Sur-Norte, elevando la tasa de circulación y un tránsito más expedito. Además, constará con medidas complementarias de seguridad como la construcción de dos bahías de estacionamientos, cuatro conexiones peatonales y una vehicular que conectarán el TEMII, con el actual Túnel el Melón.

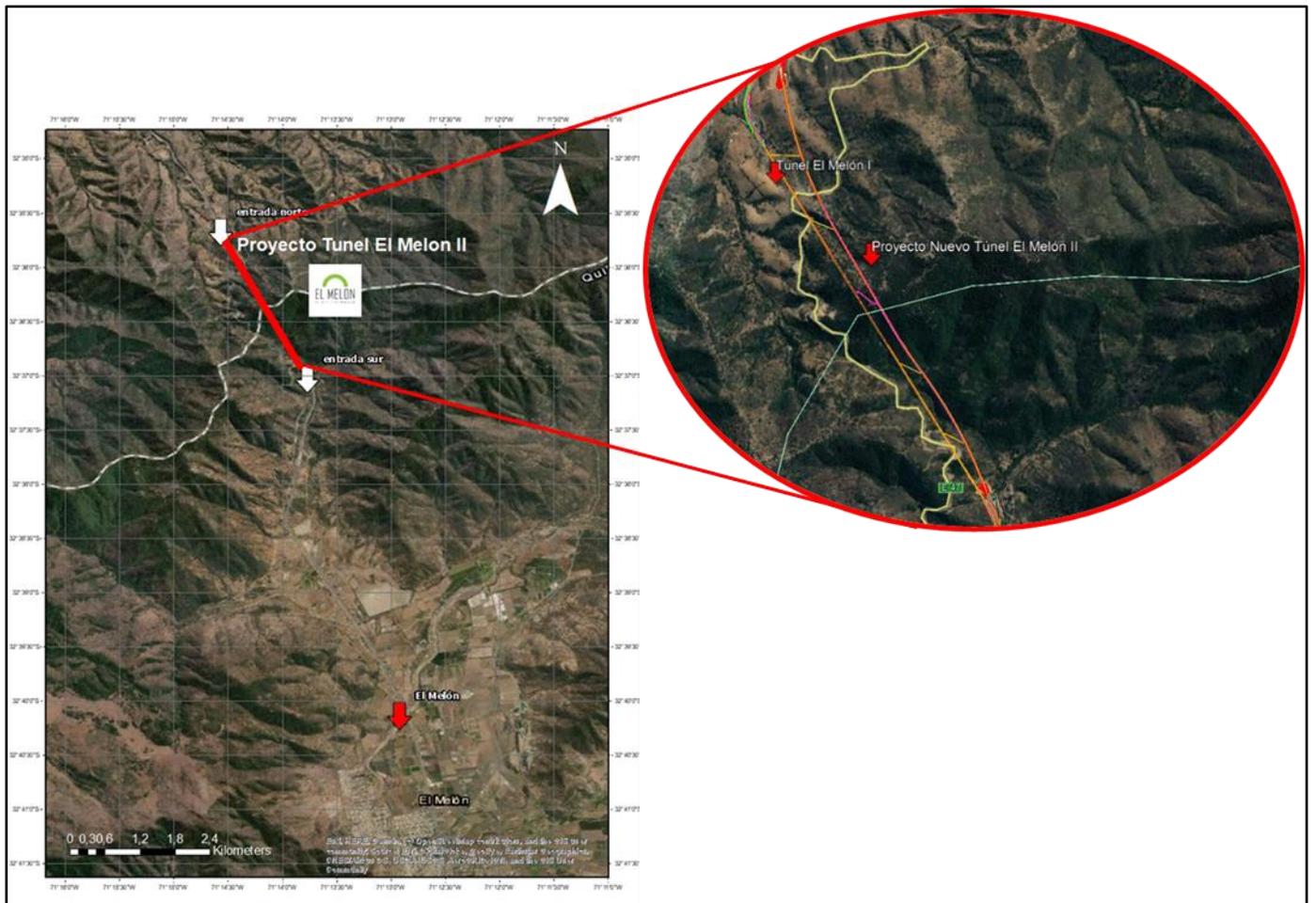


Figura 1 Mapa de ubicación, Túnel El Melón II. Línea roja trazado del TEMII, ubicado al norte de la Localidad de El Melón.

8. Geología del Proyecto

8.1. Geología Regional

En la región que abarca desde los 32° y 33° S, afloran diversas clases de rocas como se aprecia en la figura 2 del mapa geológico Quillota- Portillo, de acuerdo con Rivano (Rivano S, 1993), la geología regional se puede separar en 4 grandes dominios geomorfológicos ^[9] que se observan ilustrados en la figura 3 y que se describen a continuación:

8.1.1. Planicies litorales

Correspondiente a las terrazas de abrasión marinas, situadas sobre terrenos Triásicos-Jurásicos, además de intrusivos o rocas estratificadas ^[10] Jurásicas, junto con depósitos costeros y aluviales del terciario a la actualidad. Su zona de influencia promedio es de 0 a 10 km de Oeste a Este y las terrazas poseen alturas promedio entre los 70 a 120 metros sobre el nivel del mar. (m.s.n.m).

8.1.2 Cordillera de la costa

Correspondiente a rocas estratificadas volcánicas, volcanoclasticas ^[11] y sedimentarias ^[12] de edad Triásico- Jurásico, cortadas por intrusivos ^[13] jurásicos y/o Cretácico. Su zona de influencia promedio es de unos 20 a 25 km y con alturas promedios entre los 1.500 y 2.300 m.s.n.m.

8.1.3 La mediana montaña

Correspondiente a rocas estratificadas, sedimentarias, piroclásticas ^[14], volcánicas e intrusivos Cretácicos. En esta zona se aprecian, cordones de cerros de orientación Noreste – Sureste, que se forman en la cordillera principal y terminan en la cordillera de la costa, esto cordones montañosos son cortados por valles, los cuales fueron formados por ríos con orientaciones Suroeste. Su zona de influencia promedio es de unos 25 a 30 km y alturas promedios entre 1.500 y 3.000 m.s.n.m.

8.1.4 Cordillera principal

Correspondiente a rocas volcanosedimentarias ^[14] y volcánicas del Cretácico y del Paleógeno Neógeno, con la intrusión de plutones ^[15] Cenozoicos. Este dominio corresponde a la unidad geomorfológica principal y es el cordón fronterizo hacia Argentina. Su zona de influencia en promedio es de 35 km y con alturas entre 3.000 y 4.500 msnm.

8.2. Geología Distrital

La Geología distrital, se centrará en la localidad de El Melón, y las comunas que lo rodean, Quintero, Puchuncaví, La Calera, La Ligua, Hijuelas y Catemu, como se aprecia en la figura 4, extraída de Google Earth. Con un área de influencia de 300 km², identificado en un mapa 1:10.000, correspondiente a la figura 5.

En el sector Oeste del área, entre las comunas de Quintero y Puchuncaví, según Rivano (Rivano S, 1993) se aprecian depósitos cuaternarios, en los que destacan sedimentos eólicos antiguos (paleodunas) (PQd). También sedimentos aluviales^[15] y coluviales^[16], depósitos de relleno de valles (Qac) y litorales en depósitos de playas (Qel). Además de dos Formaciones del Neógeno como son la Caleta Horcón, conformado por arenisca^[17], arcillolitas^[18] y limolitas^[19] poco consolidadas, con presencia de fósiles y la Formación Confluencia conformada por conglomerados^[20], areniscas, brechas y limolitas poco consolidadas. Se detallan unos cuerpos intrusivos del Jurásico medio-superior, correspondientes a las Unidad Puerto Oscuro (Jmi4) compuesta por Dioritas^[20], Monzodioritas^[21] y Gabros^[22] y la Unidad Cavilolén (Jmi2) compuesta por Granodioritas^[23] y Tonalitas^[24].

En el sector central entre las localidades de El Melón, La Calera y La Ligua, se aprecian rocas estratificadas volcánicas y sedimentarias que van desde el Jurásico inferior al superior. Dentro de las que se establecen, la Formación Ajial (Ja), correspondiente a lavas y depósitos piroclásticos^[24] ácidos a intermedios, La Formación Cerro Calera (Jlc/Jlr), con predominancias de areniscas y calizas y la Formación Horqueta (Jh) compuesta por lavas y depósitos piroclásticos ácidos a intermedios. Hacia el sector del El Melón y La Ligua aflora un intrusivos de la Unidad Cavilolén (Jmi2).

Al Este de El Melón, entre la comuna de Hijuelas y Catemu, se detallan rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias marinas, correspondientes al Cretácico inferior. Entre las que se identifican la Formación Lo Prado, con lavas andesíticas y brechas volcánicas e intercalaciones de niveles sedimentarios marinos. A esta formación la sobreyace^[25] la Formación Veta Negra, con lavas porfídicas^[26] andesíticas, con intercalaciones de volcarenita, además de brechas con intercalaciones calcáreas^[27]. Finalmente se aprecia la Formación las Chilcas, conformada por brechas, conglomerados, diamicitas^[28], volcarenitas, tobas y niveles de lava andesítica.

Desde Oeste a Este, se logran identificar desde depósitos sedimentarios, tanto consolidados como no consolidados del Cuaternario – Neógeno, seguido de secuencias volcánicas a volcanosedimentarias del Jurásico Inferior al Superior, para finalizar con rocas volcánicas, volcanoclasticas y sedimentarias de Cretácico inferior. Todas estas intruidas^[29] por cuerpos masivos del Jurásico medio – superior.



Figura 4 Comunas que rodean a la localidad El Melón, Oeste: Quintero, Puchuncavi; Central: Calera, La Ligua; Este: Hijuelas, Catemu.

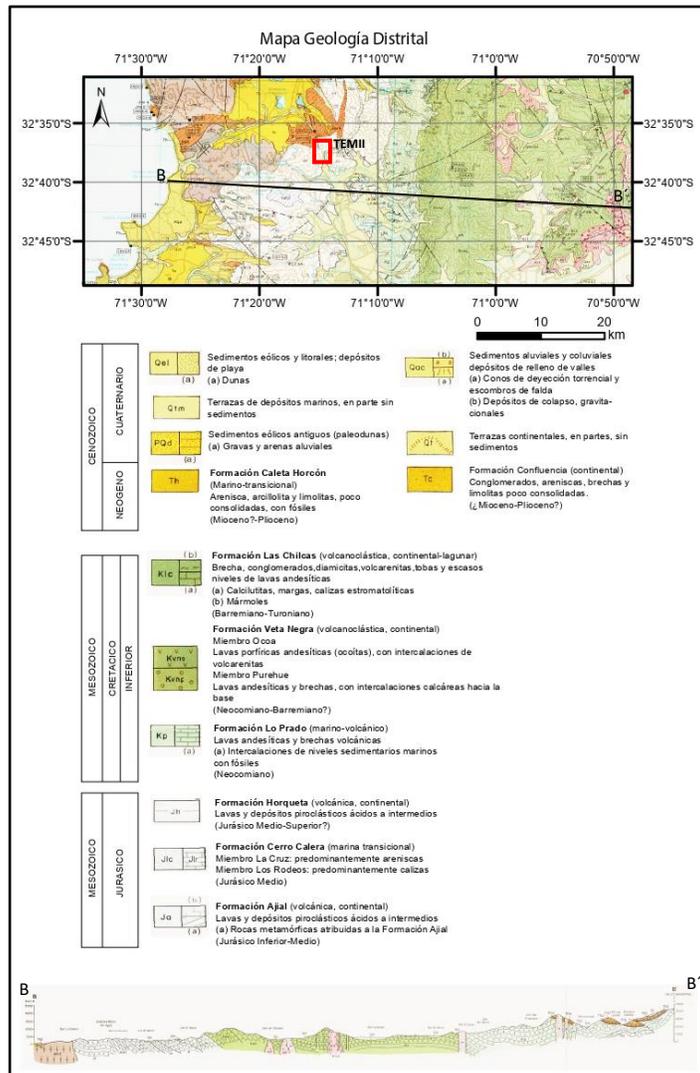


Figura 5 Mapa distrital 1:10.000, Localidad El Melón. carta Geológica 1:250.000, hoja Quillota – Portillo, Rivano S, 1993, Servicio Nacional de Geología y minería, Chile.

8.3. Geología Local

La geología local, se centra en el sector de la cuesta El Melón, en un mapa 1:1.000, como se aprecia en la figura 6, en donde se identifican dos unidades litológicas, que se describen a continuación:

8.3.1 Formación Ajial (Ja) Jurásico Inferior – Medio

Sus afloramientos se extienden desde el cerro Imán, hasta el sector de Olmué por el Sur, en forma de una franja elongada Norte-Sur. Aparece en concordancia sobre la Formación Quebrada del Roble, e infrayace^[30] de la misma forma a la Formación Cerro Calera. Está intruida por granitoides jurásicos de la Unidad Cavilolén.

Según Rivano (Rivano S, 1993) la Formación Ajial está compuesta por tobas, brechas volcánicas y lavas andesíticas, asociadas a pórfidos andesítico-dacíticos, y escasas intercalaciones sedimentarias de conglomerados, areniscas y pelitas^[31] calcáreas.

La disposición de la estratificación es muy variada con rumbos de 10 a 30 °, algunas hacia el NW y otros al NE, esto debido a que el sector se vio afectado por esfuerzos tectónicos, que deformaron la estratificación. b´

8.3.2 Complejo Intrusivo Unidad Cavilolén (Jmi4)

Estas rocas corresponden a cuerpos masivos de edad Jurásica Media a Superior. Entre los que destacan en la zona, el Plutón La Ligua y el Plutón de El Melón-Catapilco. Correspondiendo a granodioritas, dioritas, pórfidos graníticos y tonalitas. Estas asociadas a una alteración hidrotermal tardimagmáticas^[32] y formadores de aureolas de contacto, generadoras de rocas corneanas.

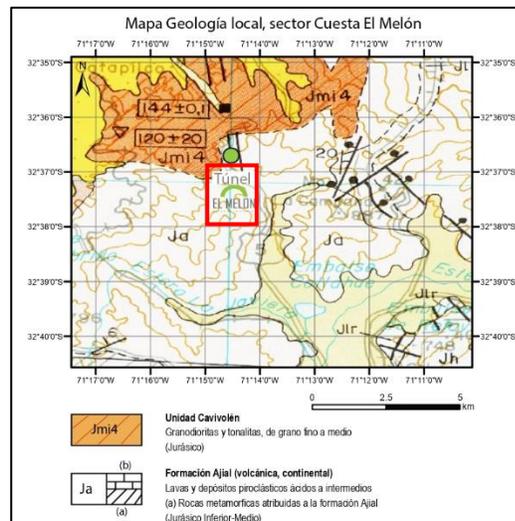


Figura 6 Mapa 1:1.000, Sector Cuesta El Melón. carta Geológica 1:250.000, hoja Quillota – Portillo, Rivano S, 1993, Servicio Nacional de Geología y minería, Chile

El estudio de la geología del proyecto TEMII, en su etapa de construcción, se pueden identificar siete litologías, además de su respectiva alteración, las que se pasa a describir a continuación:

8.3.4 Andesitas

Roca volcánica, de color gris oscuro, verde grisáceo a gris pardo como se aprecia en la fotografía 1. Asociado a un ambiente de cuenca trasarco, del Jurásico inferior a medio de la formación Ajial. Esta roca presenta texturas afáníticas principalmente, además de porfídica y en algunos casos amigdaloides. Posee un índice de color de 30, y una masa fundamental félsica. Se aprecian fenocristales de plagioclasas, anfíboles y piroxenos, se puede detallar pequeños fragmentos de vidrio y sílice en matriz. Esta roca presenta una alteración propilítica [32], argílica [33] y silicificación [34] a lo largo del proyecto, siendo la principal la propilítica. Como minerales secundarios se encuentran calcita y rodocrosita en vetillas, pátinas de epidota, clorita, albita, óxidos de hierro, arcillas y sectores puntuales con crisocola.



Fotografía 1 Andesita silicificada, TEMII

8.3.5 Brecha hidrotermal

Roca hidrotermal, formada por un sistema hidrotermal inestable, que fractura la roca madre por acción de gases y fluidos. Su textura es brechosa [35] a masiva, de color gris pardo, gris rojizo púrpura. Estas presentan fragmentos líticos entre 20 a 1 centímetro de diámetros. Su matriz es masiva de composición andesítica y los líticos andesíticos o intrusivos granodioríticos, dándole una composición monomítica [36]. Presenta una alteración propilítica y minerales secundarios en forma de patina, epidota, clorita y calcita.

8.3.6 Tobas

Roca volcanoclasticas, forma por la litificación de productos volcánicos que han sido expulsados durante una erupción. Posee una textura piroclástica fragmental, con presencia de vesículas y amígdalas como se aprecia en la fotografía 2. De color pardo rojizo, el tamaño de partículas que la forman es menores a 2 milímetros (mm), tamaño cenizo, estas se encuentran de forma masiva compacta y soldada, sin presentar una estratificación. Se aprecian fenocristales de plagioclasas fracturadas, líticos andesíticos y vidrio desvitrificado en matriz. En relación con su composición el porcentaje de líticos es de 15%, de cristales de un 35% y vidrio 55%. Además, presenta una silicificación y como minerales secundarios óxidos de hierro y pátinas de arcilla. Esta roca se categoriza como una toba cristalina de ceniza de composición andesítica.



Fotografía 2 Toba de ceniza con líticos y vesículas, TEMII

8.3.7 Granodioritas

Roca intrusiva, se desarrolla principalmente en ambientes continentales, perteneciente a los granitoides y es parte de la parte tardía de la diferenciación magmática. Su textura es fanerítica granular xeromórfica^[37] equigranular^[38], de color gris a gris rosado. El tamaño de los cristales va entre los 2 a 3 mm, Presenta fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, anfíboles y piroxenos. La normalización de estos minerales entrega un porcentaje de Q=50%, A= 15% y P= 35%. Además, esta roca presentaba una alteración fílica^[39], propia de la hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos presentes en la roca, dando como resultados minerales de cuarzo secundario, sericita y además de presentar vetillas de calcita.

8.3.8 Corneanas

Roca metamórfica, asociada a un metamorfismo de contacto a alta temperatura. De color gris blanquecino y con una textura masiva. El contacto entre un cuerpo a mucha temperatura y la roca crea en este caso una andesita que genera una aureola de contacto de 130 metros de espesor, entregándole una mayor resistencia a la roca, ya que se silicifica. Se logran identificar plagioclasas fracturadas y minerales en pátinas de pirolusita y limonita como se logra apreciar en la fotografía 3.



Fotografía 3 Corneana con pátinas de limonita y pirolusita, TEMII

8.3.9 Lutitas

Roca sedimentaria, formada en ambientes acuosos de baja energía. De color gris oscuro o negro, y una textura clástica ^[41], se encontraba en forma estratificada sub-horizontal dentro de la excavación. El tamaño de sus partículas es desde limo a arcilla menores a 0,06 mm, por lo tanto, la identificación mineral es compleja en muestra de manos. Pero el color negro característico, apreciable en la fotografía 4 propone que posee materia orgánica en su composición, además de haber estado formada en un ambiente deficiente de oxígeno, favoreciendo la presencia de pirita como mineral común. Además, esta roca presenta una alteración hidrotermal propilítica, con pátinas de epidota, calcita, óxidos de hierro, pirita, también como propiedad diagnóstica presenta un leve a moderado magnetismo.



Fotografía 4 Lutita, con pátinas de epidota y pirita, TEMII

8.3.10 Areniscas

Rocas sedimentarias, de textura clástica y tamaño de grano media a fino entre 0,5 a 0,125 mm, se logra identificar minerales de cuarzo, plagioclasa y máficos y líticos de composición andesítica, se clasifica como arenisca cuarcífera. Su disposición dentro de la excavación es en forma de lentes puntuales, incrustados en las lutitas. Presentaban una gran presencia de epidota y una alteración propilítica.

8.4 Geología estructural

Las estructuras geológicas donde se construyó el Túnel el Melón II consta de varios dominios estructurales. Los que se separan en una escala regional y en un sistema interno del macizo rocoso. Estos se describen a continuación.

8.4.1 Dominio Regional

El dominio regional se compone de fallas^[42] regionales, que modelaron el paisaje actual, debido a esfuerzos tectónicos del pasado, estas son de grandes dimensiones y profundidad. Su orientación preferencial es Noroeste o Norte-Sur, coincidiendo con el cizalle regional.

Además, según Rivano, (Rivano, 1993), se separan en tres subdominios estructurales y tres sistemas de fallas según su orientación. En la figura 7 se aprecia la imagen de Google Earth con los sistemas de fallas regionales, que se describirán a continuación:

8.4.1.1. Subdominio Estructural

8.4.1.1.1 Dominio costero

Está conformado por las planicies litorales y la cordillera de la costa. Es un ambiente tectónico, asociado a un evento compresivo, que deforma y genera una vergencia^[43] con dirección NNE- NE (Figuroa, 1990).

8.4.1.1.2 Dominio Central

Está conformado por la depresión central, y abarca la zona de los valles, de esta región. Posee unas características tectónicas más sutiles, en la que se aprecian unas deformaciones y plegamientos suaves y fallas inversas de bajo ángulo. Esto se debe a la presencia de cuerpos plutónicos, que le dan características más rígidas a la zona. Su vergencia es hacia el NS-NNW.

8.4.1.1.3 Dominio Cordillera

Corresponde a la cadena montañosa principal, está asociada a eventos compresivos, que generan los pliegues de arranque y fallas inversas reactivadas con vergencia tanto al Este como Oeste.

8.4.1.2 Sistemas de Fallas

8.4.1.2.1 Fallas con Orientación NS-NNW

Corresponde al sistema de fallas, más importante regionalmente, y aparece representado en el dominio central y dominio cordillerano. La principal estructura, es la mega falla Pocuro, que abarca desde los 31 ° a 34 ° latitud Sur. Presenta características de una zona extensiva, con un fracturamiento intenso, lo que genera una serie de fallas menores de rumbo más o

menos paralelo, además de fallas conjugadas. Se aprecian rellenos de fallas (salbanda), estrías, espejos de falla y zonas con alteración hidrotermal.

8.4.1.2.2 Fallas con Orientación NNW- NW

Este conjunto de fallas se puede apreciar en el dominio costero y central, donde se destacan fallas normales, sub-paralelas entre sí y de corto trayecto. Estas poseen una componente de rumbo tipo sinestral ^[44], en cuanto a los planos de fallas son verticales y sub-verticales.

8.4.1.2.3 Fallas con Orientación NNE- NE

Este conjunto de fallas se puede apreciar en la zona occidental y norte del dominio central, se aprecia que se alza el bloque oriental sobre el occidental, este sistema son fallas conjugadas de los dos sistemas anteriormente señalados.

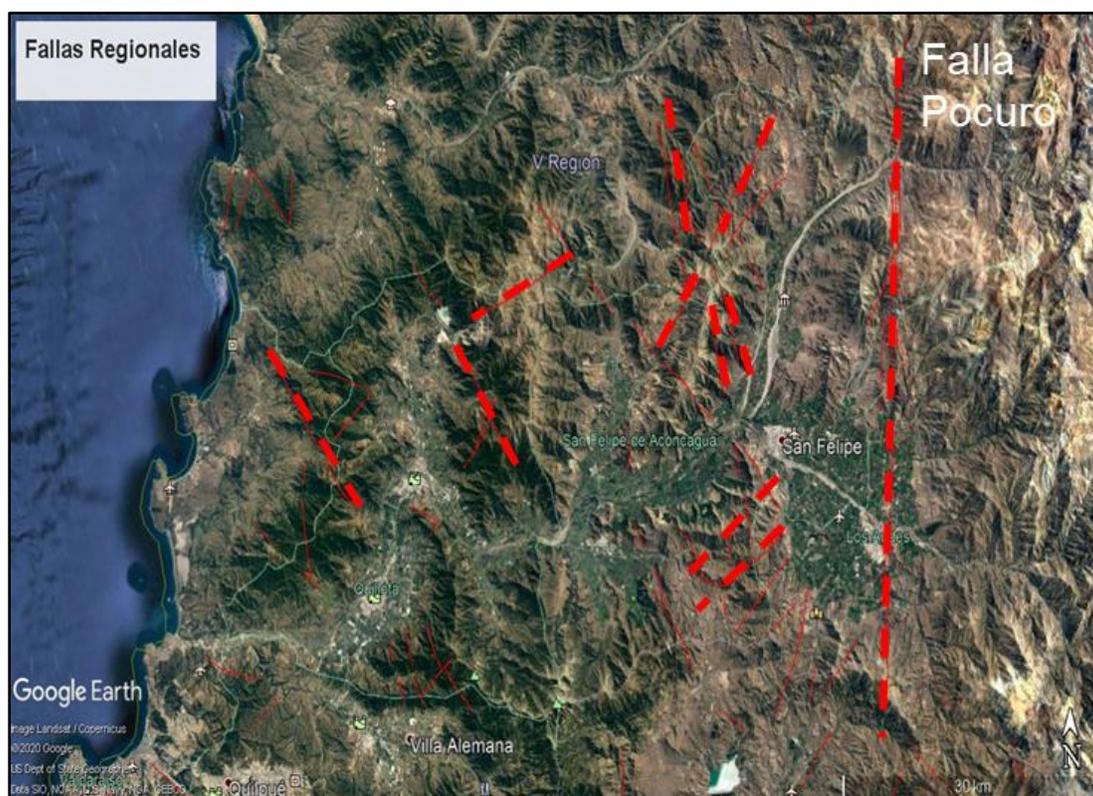


Figura 7 Sistema de fallas regionales, zona occidental Fallas NNW- NW; zona central fallas NNW- NW, NNE-NE; zona oriental fallas N-S.

8.4.2 Dominio Estructural Local

Las estructuras del dominio local son secundarias, en general son menores con magnitudes de centímetros a metros. Existen algunas que corren sub-paralelas a la dirección de la excavación y otras son sub-verticales, incidiendo en la seguridad de la excavación, porque generan planos de fallas, que ocasionan desplazamientos entre bloques de la roca que conforman el túnel.

Según Bates y Jackson (Bates, 1980), una falla es una fractura o zona de fractura a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a esta. Estas se conforman por un bloque colgante (techo), un bloque adyacente (piso) y una zona de falla o plano de falla. En el TEMII, se aprecian diversos conjuntos de fallas y con diferentes grados de inclinación, preferentemente son fallas normales de alto ángulo y con orientación paralela a sub-paralela al eje del túnel con orientación de 150° N. El valor del plano principal en notación DipDir/Dip de $245^\circ/065^\circ$ o $N25^\circ W/065^\circ W$ y una secundaria con orientación DipDir/Dip de $060^\circ/075^\circ$ o $N30^\circ W/075^\circ E$, están además presentan rellenos de salbanda, calcita, óxidos de Hierro y epidota. En la figura 8 se aprecian las fallas y orientaciones en TEMII.

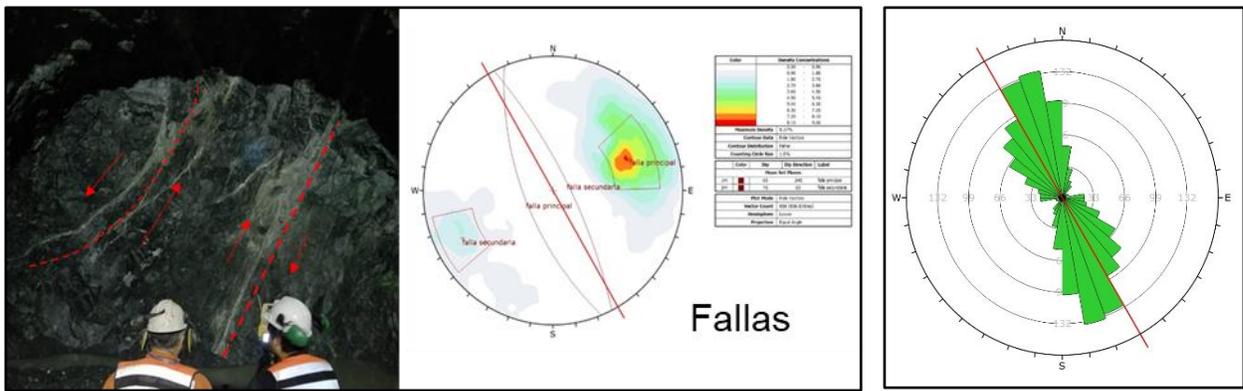


Figura 8 En imagen a la izquierda Fallas preferenciales en TEMII y a la derecha su orientación Preferencial TEMII

También existen cuerpos llamados diques, que cortan rocas preexistentes, a través de una fisura, estos pueden ser magmáticos o sedimentarios, y por regla general son más jóvenes a la roca en la que se encajan. En el TEMII, se observan diques con una orientación paralela a sub-paralela, al eje de la excavación. Se observa una orientación preferencial DipDir/Dip de $250^\circ/060^\circ$ o $N20^\circ W/060^\circ W$ y otras secundarias con orientación $195^\circ/040^\circ$ o $N75^\circ W/040^\circ W$; $065^\circ/025^\circ$ o $N25^\circ W/025^\circ E$ y $065^\circ/080^\circ$ o $N25^\circ W/080^\circ E$, todas de composición andesítica afanítica que van desde los 10 cm a más de un metro de ancho, como se aprecia en la figura 9.

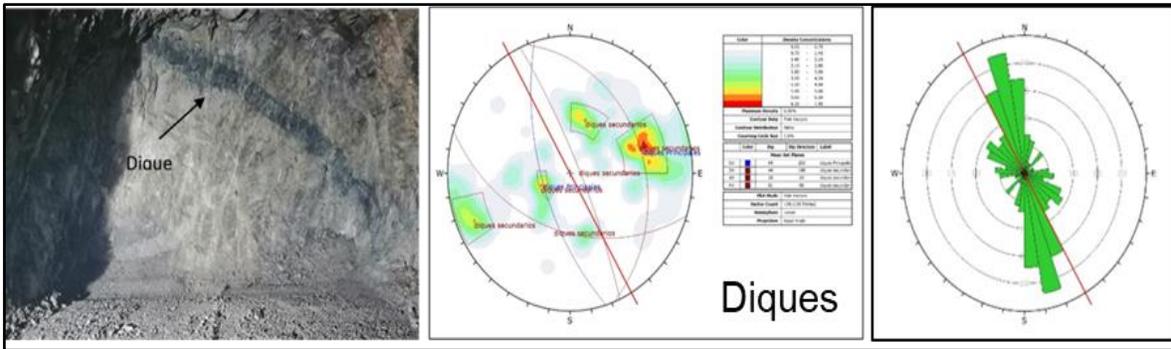


Figura 9 Imagen Izquierda, dique andesítico afanítico; imagen central concentración de planos en TEMII; imagen derecha orientación preferencial de diques en TEMII.

Las diaclasas, de acuerdo con Palmström (Palmström, 2005) son fracturas en la roca, con una orientación determinada y con un mínimo movimiento. Estas se pueden separar en familias o grupo de juntas, que corresponden a los grupos de fracturas más representativas en el macizo rocoso. La frecuencia y tamaño de estas dependen del tipo de roca y su calidad geotécnica en cada parte del trazado.

En TEMII poseen una orientación preferencial NNW-SSE y van paralelas o sub-paralelas al eje del túnel, como se observa en la figura 10. Estas se pueden separar en cuatro orientaciones preferenciales. Su plano principal en notación DipDir/Dip es $245^{\circ}/060^{\circ}$ o $N25^{\circ}W/060^{\circ}W$, y secundarias $060^{\circ}/050^{\circ}$ o $N30^{\circ}W/050^{\circ}E$; $335^{\circ}/075^{\circ}$ o $N65^{\circ}E/075^{\circ}W$ y $200^{\circ}/070^{\circ}$ o $N70^{\circ}W/070^{\circ}W$. Poseen rellenos en forma de patina con minerales de epidota, calcita, pirita, clorita, óxidos de hierro y arcillas, su longitud va desde menores a 1 metros y mayores a los 7 metros.

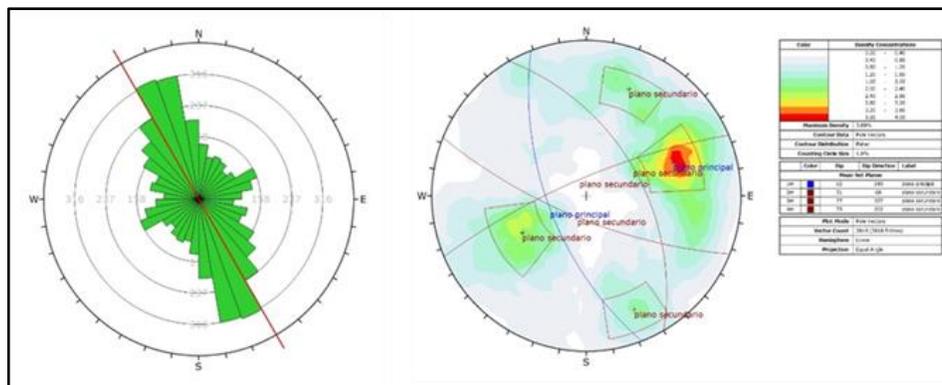


Figura 10 Imagen izquierda orientación preferencial diaclasas NNW-SSE; Imagen derecha concentración de polos con cuatro orientaciones preferenciales de diaclasas. TEMII.

9. Características constructivas del proyecto

9.1. Metodología de excavación

En el TEMII, la metodología ocupada para la excavación y fortificación es la filosofía noruega de construcción de túneles, esta se basa en la maximización de los recursos, el contrato de maquinaria y personal idóneo a la obra, además de la construcción a través de ciclos separados en dos grandes etapas construcción y fortificación, en las cuales primeramente se genera un avance, para luego incorporar una fortificación correspondiente a la calidad geotécnica de la roca.

Este método se basa en obtener el mayor resultado y la minimización de costos aprovechando las calidades geotécnicas del macizo rocoso. Esta forma de excavar se basa en la cuantificación de la roca a través del índice Q, desarrollado por Barton en 1974 y actualizada el año 2013 (NGI, 2013).

Este método es complementario a la metodología Drill&blast, basada en la perforación y voladura, para el avance de la construcción de túneles, usado cuando las características del macizo rocoso son competentes o se presenta una roca intacta.

La utilización de un equipo, como un jumbo para la perforación del frente de trabajo, con un diagrama de disparo previamente estudiado como se aprecia en la figura 11, y el posterior carguío, de cada una de las perforaciones, con el explosivo idóneo es lo fundamental para la realización de este método.

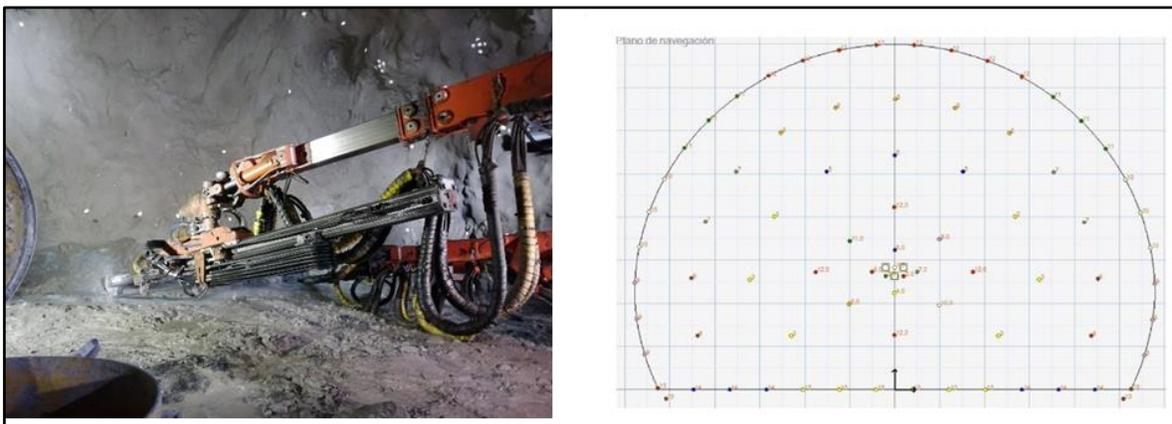


Figura 11 Perforación del frente de trabajo con Jumbo y diagrama de disparo, TEMII

9.2. Ciclos Constructivos

En el TEMII, se basa, en la filosofía noruega de construcción de túneles y el método de perforación Drill&Blast, las cuales a través de etapas cíclicas e inmóviles se va avanzando como se aprecia en la figura 12. Esto se deben llevar a cabo con personal idóneo en un tiempo estimado. Este ciclo posee las siguientes etapas:

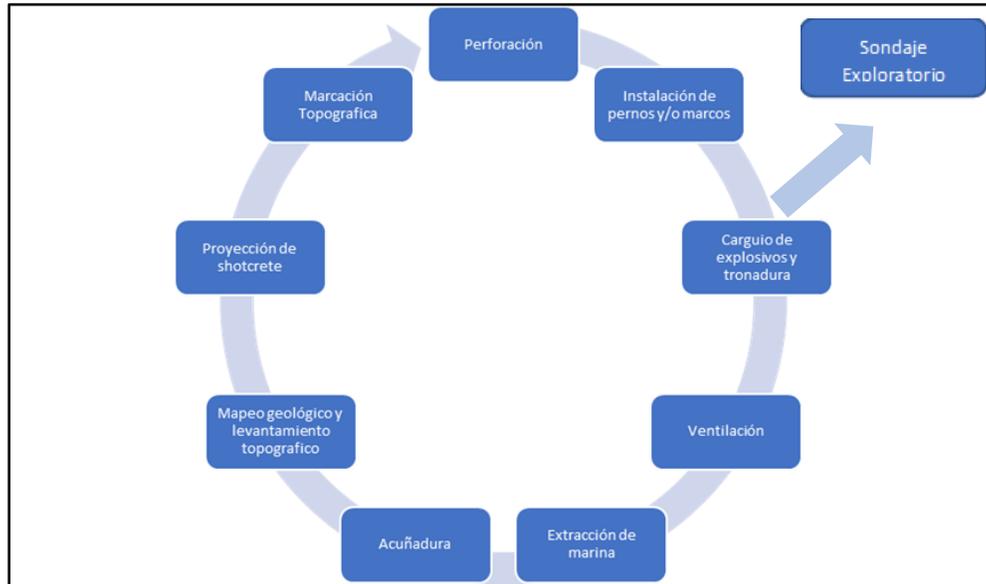


Figura 12 diagrama de flujo de ciclo constructivo, TEMII

9.2.1 Perforación

Se basa en la utilización de un equipo de alta gama, como jumbo 3 brazos – Sandvik computarizado como el que se aprecia en la fotografía 5. Para comenzar con la perforación, topografía debe marcar el diagrama de disparo y la fortificación de acuerdo con la planificación de operaciones. El equipo se debe posicionar en el frente del avance, en un lugar seguro sin peligro de desprendimiento de rocas. Además, el operador (Jumbero), debe realizar una ficha de seguridad de riesgo del trabajo (ART), y llevar todos sus elementos de protección personal (EPP). La perforación comienza desde los tiros de la zapatera en forma ascendente, para terminar en los tiros de alivio. Existe una tolerancia en la perforación y en cuanto a los contornos, existe una tolerancia de +/- 50 milímetros, con un 3 % de alineación, en las perforaciones de rainura existe una tolerancia de +/- 25 milímetros y una alineación de 3% o 6 centímetros y para la perforación de tiros auxiliares la tolerancia en brocal es de +/- 100 milímetros y una alineación de 5%.

Mientras se esté perforando se debe segregar el área, y prohibir el ingreso a todo el personal dispensable en esta tarea. Esta etapa en el proyecto TEMII posee un tiempo medio de 5 horas.



Fotografía 5 Perforación y equipo jumbo Sandvick, TEMII

9.2.2 Instalación de pernos de fortificación

Esta labor viene a ser parte de la fortificación del macizo rocoso, en la cual se desea asegurar la parte plástica del macizo con la parte elástica y eventualmente asegurar el desprendimiento de una cuña. Para esta labor al igual que en la anteriores, se debe realizar un ART y la utilización de los EPP correspondiente, los equipos utilizados son equipo levante con jaula protectora Manitou MTX, bomba inyectora y mezcladora, además de la utilización de materiales, cemento Melón extra-25 Kilos, agua, aditivo acelerante Silka 500 gramos y mangueras de alta presión como se logra apreciar en la fotografía 6. Para la correcta dosificación de lechada, se ocupa una razón de agua/cemento de 0,38. Esta dosificación asegura una resistencia mínima de 28 MPa a los 7 días, y un esfuerzo de adherencia lechada/perno mayor o igual a 20 kg/cm², y el esfuerzo lechado/roca mayor o igual a 10kg/cm². Para esta labor se debe asegurar el largo de las perforaciones y su limpieza. Luego se debe realizar la mezcla de lechada, en mezcladora. Posteriormente la grúa levante se posiciona en un zona segura y dos trabajadores deben subirse al canastillo con reja. Un trabajador es el encargado de ingresar la manguera, que inyectará la lechada y el segundo trabajador, será el encargado de introducir el perno en el pozo. Esta etapa en el proyecto TEMII posee un tiempo medio de 1 horas y 15 minutos.



Fotografía 6 Equipo para lechada de pernos, TEMII

9.2.3 Instalación de marcos

Estos elementos de fortificación son estructuras metálicas, que buscan entregar una resistencia a la flexotracción ^[46] en una sección del túnel con una mala calidad geotécnica de una forma pasiva. Al igual que las anteriores actividades se debe realizar la correspondiente ART y el uso de EPP. Ante de comenzar con la labor de instalación de marcos se debe cerciorar el acañamiento de toda la sección del túnel, a continuación se proyecta una capa de 5 cm de shotcrete que cumple la función de recubrimiento y un contra fuerte en la sección central, como se aprecia en la fotografía 7. Dependiendo de la calidad geotécnica de la roca se puede optar por dos tipos de marcos el noruego, para rocas clase IV y el liviano articulado para rocas clase V.



Fotografía 7 Instalación de marcos, TEMII

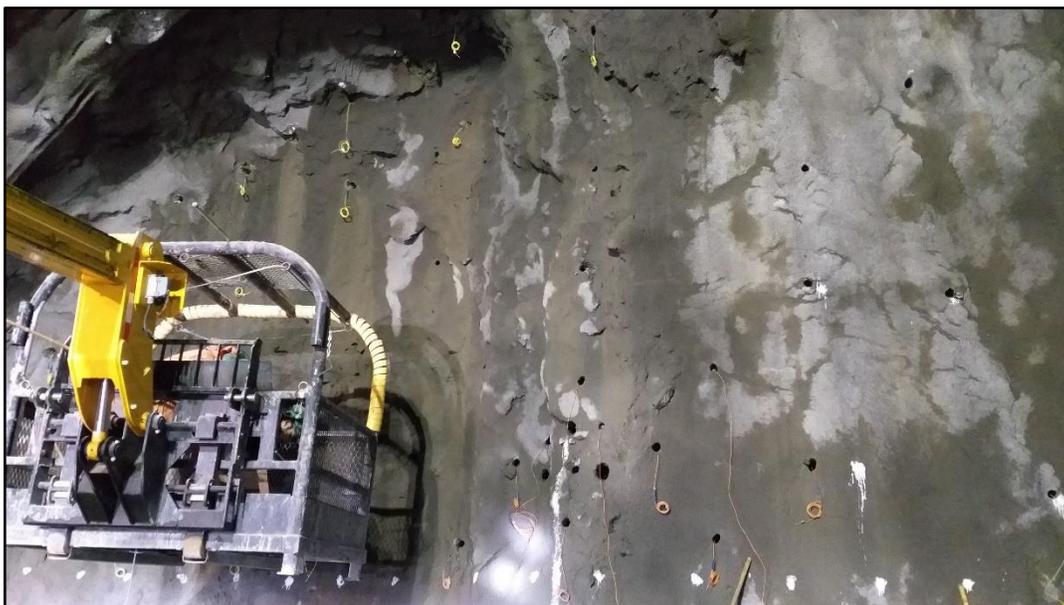
9.2.4 Carguío de explosivos y tronaduras

Se basa en la utilización de explosivo, más idóneo, dependiendo del requerimiento y las condiciones en la que se encuentre el frente de trabajo (anfo o emulsión), utilización de maquinaria como grúas o levantes y sopladoras. Los explosivos utilizados en el proyecto son de dos tipos emulsión, Vulkan DUG, este se compone de la mezcla de dos líquidos. Uno a base de aceite y otro a base de agua, cuando se le aplica una fuerza mecánica, estos componentes se mezclan, generando una solución de agua más amonio y sodio. Este tipo de explosivo es ideal en la industria minera, ya que posee características a base de agua.

El segundo tipo de explosivo es el Anfo es un agente de voladura de alta calidad, fabricado con nitrato de amonio, este componente se mezcla y se carga in situ.

La labor de carguío de explosivo debe ser supervisada, por el jefe de turno, y todos los trabajadores deben estar capacitados, autorizados y acreditados para el manejo de explosivos. Para la realización de esta labor se deben contar con equipo levante con jaula con techo Manitou MTX, camioneta de transporte de explosivos, compresor y Jet-anol. Además de los respectivos EPP y ART.

La realización de esta actividad se debe asegurar que el frente de trabajo este completamente acuñada, luego se preparan los cebos (explosivo con accesorios de detonación como el cordón sísmico), posteriormente se procede al soplado de los tiros perforados, se marcan los tiros con aerosol o pintura, a continuación, se procede al carguío de explosivos, empezando desde la parte superior del frente, para seguir de forma descendente, en la fotografía 8 se parecía el correcto carguío de explosivos en el frente de avance. Finalmente, una vez realizado el carguío de explosivo, se lleva a cabo la tronadura, haciendo evacuar a todo el personal de la faena a una zona segura y prendiendo la mecha de detonación. El promedio de tiros a cargar en el frente de trabajo es de 120 perforaciones y el tiempo medio en el TEMII para esta labor es de 3 horas y 55 minutos.



Fotografía 8 Carguío de explosivos en el frente de avance, TEMII

9.2.5 Ventilación

Esta etapa es imprescindible, en el ciclo y se debe respetar los plazos y tolerancias de partículas y gases, además los ventiladores suministran aire fresco al interior del túnel, lo que genera condiciones ambientales y termo-ambientales adecuadas para la faena. Y proporciona la dilución y extracción de gases tóxicos y polvo, proporciona el volumen de aire para que equipos Diesel trabajen en interior del túnel. El reglamento de seguridad minero, estandarizo las concentraciones y límites permisibles para los gases nocivos de la salud, en los que destaca el Monóxido de carbono(CO), con un límite permisible de 40 partes por millón (ppm), Ácido sulfhídrico (H₂S) con un límite permisible de 8 ppm, Dióxido de Nitrógeno (NO₂) con un límite permisible de 2,4 ppm, Anhídrido Sulfuroso (SO₂), con un límite permisible de 1,6 ppm, Dióxido de Carbono (CO₂) con u limite permisible de 4.000 ppm, Amoniaco (NH₃), con un límite permisible de 20 ppm, Metano (CH₄), con un límite de explosividad de 5 a 15 %, además de una concentración de Nitrógeno, que no puede superar

el 84%. Por lo tanto, para una correcta ventilación se debe ingresar una corriente de aire fresco de 3 m³/min y una velocidad promedio entre los 15 y 150 m/min, además el final de la manga de ventilación no puede estar a más de 30 metros del frente de la excavación. Para el TEMII, se consideró un tiempo de ventilación de entre 35 a 1 hora luego de la tronadura y el jefe de turno debe cerciorarse, de la concentración de gases una vez que este tiempo allá transcurrido. En la fotografía 9 se aprecia la extracción de gases del interior del túnel en TEMII.



Fotografía 9 ventilación y extracción de gases, TEMII

9.2.6 Extracción de marina

Uso de maquinaria como cargador frontal articulado JBC y camiones tolva Mercedes Benz 20 m³ para la extracción de marina^[47], como los que se aprecian en la fotografía 10. Antes de comenzar con esta tarea el jefe de turno debe chequeado la concentración de gases, al interior del túnel, para proceder a la extracción de marina, para ellos los operadores de camión tolva y cargador frontal, deben realizar sus respectivos ART y uso de sus EPP. No puede haber personal, al interior y ni en el área de circulación de los camiones tolva, la velocidad máxima de transito es de 30 km/h, los camiones que estén esperando su turno para ser cargados, deben estar separados a una distancia de 3 camiones de largo entre sí. Una vez cargado el camión tolva el operador de cargador frontal debe, señalarle a través de la bocina, para que esté haga abandono del interior de la excavación. El circuito de transito de los camiones, es desde interior de la excavación al área de botadero, donde se acumulará la marina. En el TEMII, esta etapa tiene un tiempo medio de 3 horas y 45 minutos.



Fotografía 10 Extracción de marina, camión tolva Mercedes Benz 20 M³ y cargador frontal articulado JCB

9.2.7 Acuñaadura

Esta etapa consiste a la eliminación en forma manual o mecánica, de rocas sueltas de bóveda, y cajas de la galería o excavación subterránea, como se logra apreciar en la fotografía 11. El equipo utilizado para la acuñaadura mecánica, es una Excavadora Dossan 30 Toneladas incorporado con un martillo hidráulico, previo a la realización de esta tarea el operador debe realizar el ART correspondiente y el uso de EPP. Debe cerciorarse de una buena iluminación del sector, además se debe proyectar agua a presión para soltar rocas que pueden provocar algún accidente al operador. Para realizar esta tarea se debe posicionarse en un sector seguro, y comenzar a acuñar solo rocas sueltas y que el ángulo de la pluma del equipo deberá estar ubicado fuera de la zona de caída de planchones, considerando un ángulo de 60° como máximo. En cuanto a la acuñaadura manual se debe emplear una barretilla de seguridad de metal liviano, firme y rígido, su largo oscila entre 2 y 4 metros, la sección puede ser circular o elíptica, con un diámetro máximo de 1,5 pulgadas. En el proyecto TEMII, esta etapa tiene un tiempo medio de 1 hora y 30 minutos.



Fotografía 11 Acuñaadura mecánica con excavadora Dossan 30 ton y manual con barretilla, TEMII

9.2.8 Mapeo geológico y levantamiento topográfico

El geólogo del proyecto debe mapear el macizo rocoso y ponderarlo a través de NGI-Q, para luego dar la fortificación por clase de roca y el topógrafo debe hacer un levantamiento topográfico.

El mapeo geológico, se basa en la observación in situ, de las condiciones del macizo rocoso, esto se basa en la metodología del NGI-Q (NGI, 2013). Primeramente, debe realizar un ART y el uso de EPP correspondientes. Luego debe hacer una observación panorámica de bóveda o clave, el frente de trabajo y cajas para comprender las condiciones del avance, guardar un registro fotográfico, describiendo hora, fecha y kilometraje del avance. Posteriormente se debe acercarse a una zona con fortificación para analizar los sets estructurales, calculando un RQD observando las propiedades de las discontinuidades, anotando el grado de alteración, meteorización, tipos de rellenos y sus morfologías, además de la presencia de agua. También se miden las orientaciones de las familias de las diaclasas con la brújula estructural Burton y se realiza una prueba de carga puntual con el martillo geológico. Con todos estos datos se ponderan a través de la fórmula de NGI-Q, y se obtiene una clase de roca y su respectiva fortificación.

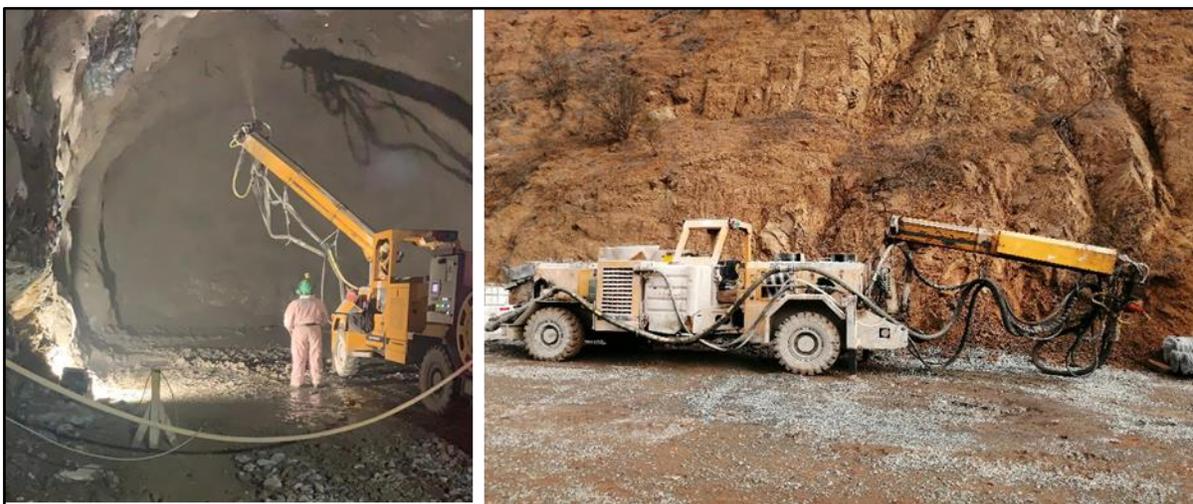
El levantamiento topográfico se realiza a través del equipamiento Estación total, el cual una vez georreferenciado y seteado con los datos del TEMII, puede realizar un avance parcial y además la elaboración de perfiles de las secciones, con las cuales se pueden apreciar sub-excavaciones y sobre-excavaciones. Ambos procesos como el mapeo y el levantamiento topográfico se realizan de forma conjunta en 45 minutos. En la fotografía 12 se aprecia el mapeo geológico y levantamiento topográfico en TEMII)



Fotografía 12 izquierda mapeo geológico del frente de avance, derecha levantamiento topográfico, TEMII

9.2.9 Proyección de shotcrete

Shotcrete con fibra o cemento proyectado, es la mezcla de cemento, aditivo y fibra, que se proyecta a altas presiones a través de una maquinaria con un pitón, llamada roboshot Putzmeizer SPM, como se aprecia en la fotografía 13. Esta mezcla posee características de seca rápido y alta adherencia. Este producto evita desprendimientos y cubre todos los espacios de roca, entregando un mayor soporte y calidad. Antes de proyectar el shotcrete, se debe asegurar que la zona está totalmente acuíñada, limpia y que no existan grandes flujos de agua, que puedan afectar la adherencia del producto. El operador del equipo roboshot y los camiones mixer, con la mezcla de concreto se deben ubicar en una zona segura y segregarse el área de trabajo, ya que como se mencionó anteriormente se trabaja con presiones y con fibras de acero, por lo tanto, todo el personal involucrado en esta labor debe rellenar un ART y usar los EPP correspondientes. Posteriormente se comienza con la proyección del shotcrete en la que el operador, a través de una consola controla el brazo del roboshot y con movimientos envolventes, cubre toda la roca expuesta, el frente de avance, bóveda y cajas con un espesor, correspondiente a la clase de roca clasificada previamente en el mapeo geológico. En el TEMII, se estima un tiempo promedio de 2 horas y 15 minutos para esta labor.



Fotografía 13 Proyección de shotcrete y equipo roboshot Putzmeizer SPM, TEMII

9.2.10 Marcación topográfica

Este proceso consiste en la marcación, con pintura o aerosol, del diagrama de disparo y los pernos de fortificación. Esta tarea la lleva a cabo el topógrafo y su ayudante alarife, con el equipo estación total y un equipo Manitou MTX 1030, como se aprecia en la fotografía 14. Como es costumbre el personal debe realizar sus ART y ocupar los EPP correspondientes y

además la segregación del área de trabajo. El topógrafo procede ingresando la planilla de disparo en el equipo estación total, y el alarife debe marcar cada uno de los puntos con la ayuda el equipo Manitou, en el frente de trabajo con pintura notoria. La marcación y distribución de pernos de fortificación debe ser instruida previamente por el geólogo, dependiendo de la clase de roca y sección del túnel que se encuentren. En el TEM II, esta labor tiene un tiempo estimado de 40 minutos.



Fotografía 14 Marcación topográfica y equipo Manitou MTX 1030

9.2.11 Sondaje exploratorio

Este proceso es la extracción de muestra de roca (chips), a través de una perforación, para su posterior análisis, como se aprecia en la fotografía 15. Esta labor se realiza cada 24 metros de avance o cuando el departamento de geología, lo requiera. Para la realización de esta etapa, se utiliza el equipo Jumbo 3 brazos Sandvick y barras de perforación con un cabezal de perforación de 64 milímetros. Primeramente, se deben realizar los ART y el uso de los EPP correspondientes, tanto para el operador del jumbo, personal encargado de cambio de barras y el geólogo a cargo de la operación, además de verificar que el frente del túnel posee una capa de shotcrete de a lo menos 3 centímetros de espesor. Una vez cerciorado los anterior, al jumbo se le retira la mordaza^[48] y toma posición en el frente de avance, el geólogo marca y posiciona la altura de la viga y se comienza con la perforación. El geólogo se encarga de anotar, tiempo, cambios de velocidad en la barra, color de agua de retorno, y si existe ganancia o ausencia del agua de retorno. Además de la toma de muestras representativas por cada barra, para el posterior análisis de tamaño de chips, mineralización y normalización, para entregar litología, grado de alteración y meteorización, para finalizar con observaciones. El largo del sondaje es variado, ya que responde a la resistencia y competencia del macizo

rocoso y lo largo de las barras. En el TEMII, los sondajes son de 21 metros, con traslape de 2 metros y el tiempo medio es de 1 hora y 30 minutos.



Fotografía 15 sondaje exploratorio y extracción de chips, TEMII

El tiempo estimado del ciclo constructivo de la obra TEMII, es de 21 horas y 21 minutos, obtenido a través del cálculo de la mediana de cada actividad. Como se puede observar en la figura 13, la actividad con el porcentaje de tiempo mayor es la perforación con un 26% del total del ciclo, seguido del carguío de explosivos con un 19%, mientras que la ventilación, marcación topográfica, mapeo geológico y levantamiento topográfico son los menores con tan solo un 2% del tiempo del ciclo constructivo.

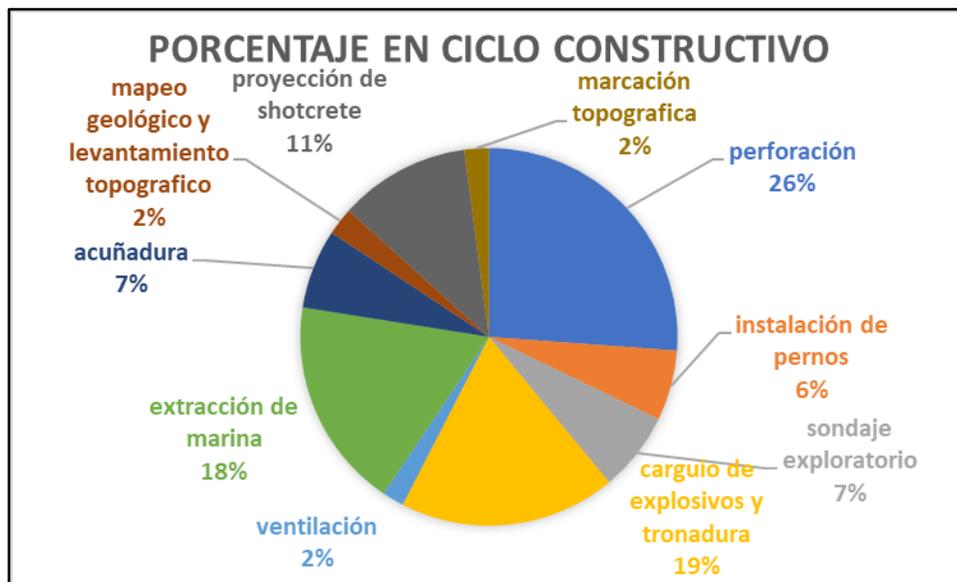


Figura 13 Etapas del ciclo constructivo y su porcentaje, TEMII

9.3. Fortificación definida por clase de roca

Para la excavación del Túnel El Melón II, se definieron cinco clases de roca, para las secciones del túnel principal, de dimensiones de 11,76 metros de ancho y 7,89 metros alto, estas dependiendo de su calidad geomecánica, a través del sistema NGI-Q (NGI, 2013). Cada una de ellas posee una fortificación característica, definida por pernos, shotcrete y necesidad de utilización de marcos, esto fue definido en la etapa de ingeniería de detalle del proyecto. Las clases de rocas son las siguientes:

9.3.1 Clase de roca I o R1

Es la roca con una muy buena calidad geomecánica, se pondera con un valor de NGI-Q sobre los 10 y para su fortificación se utilizan pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros y largo 4 metros, su distribución es de manera puntual, además proyección de shotcrete con fibra de 5 centímetros de espesor desde el eje ecuador y un máximo de avance de 4,9 metros por disparo. En la figura 14 se aprecia la fortificación definida para una roca de clase I en TEMII.

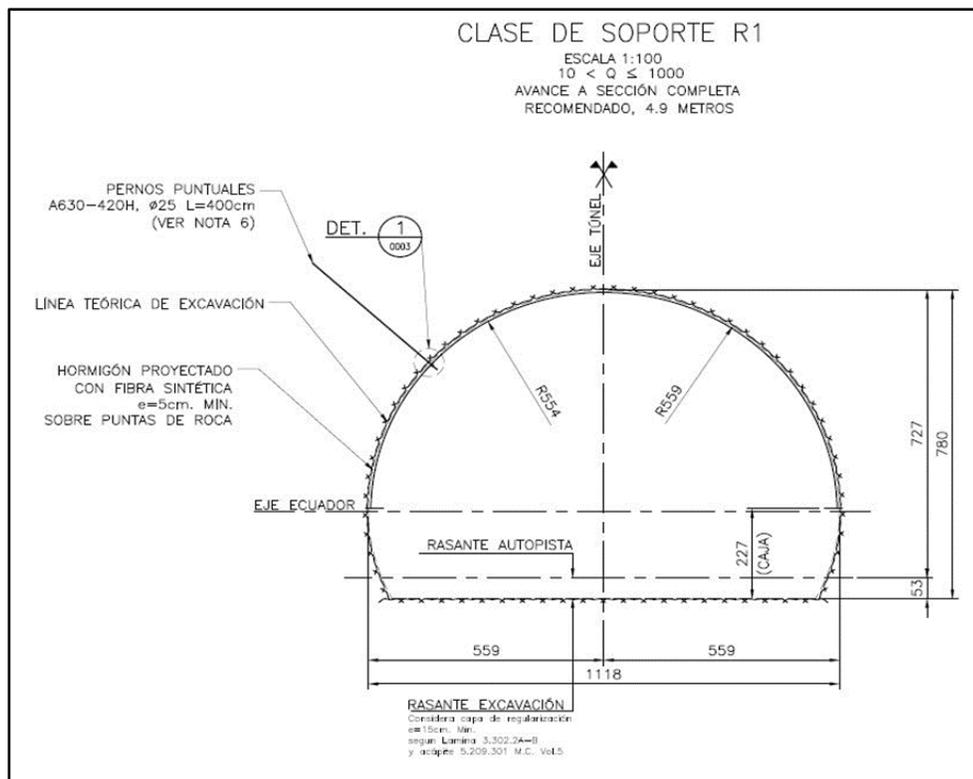


Figura 14 Fortificación definida roca clase I o R1, TEMII

9.3.2 Clase de roca II o R2

Es una roca con una buena calidad geomecánica y se pondera con un valor de NGI-Q de $1 \geq Q > 1$, para su fortificación se utilizan pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros, largo 4 metros, en parada de 7x8, cada 2,2 x 2,2 metros, en avance alternado, además de shotcrete con fibra, 10 centímetros desde el eje ecuador, con un máximo de avance de 4,9 metros por disparo. En la figura 15 se aprecia la fortificación definida para la clase de roca II, en TEMII.

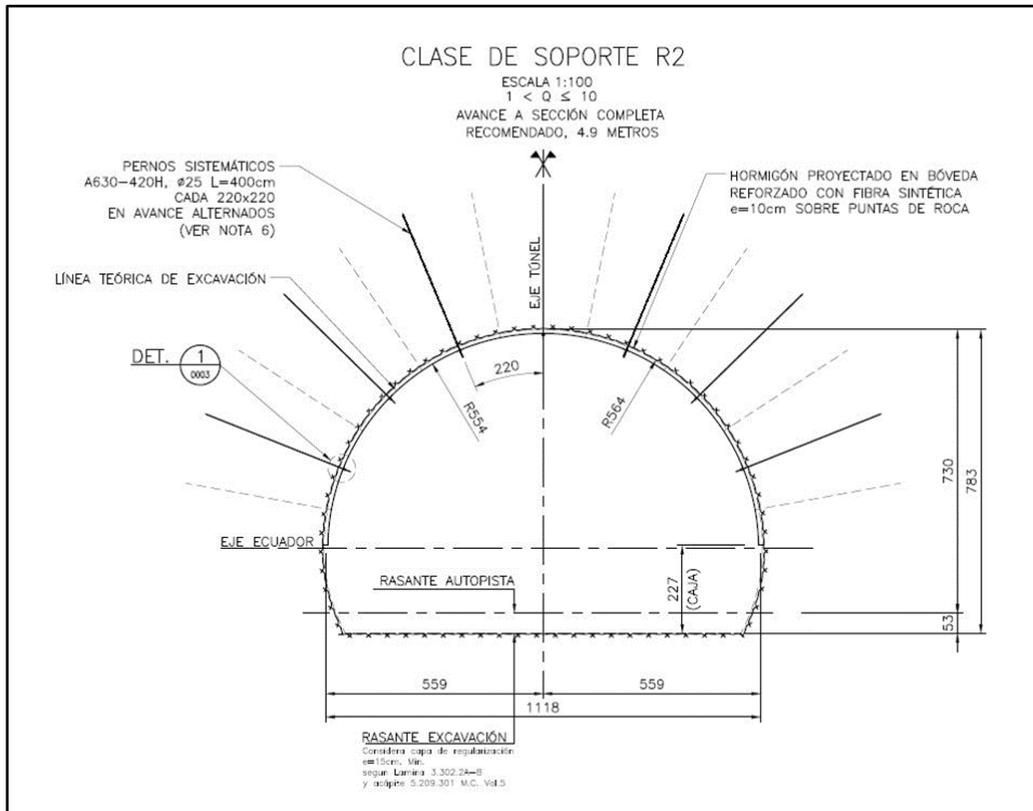


Figura 15 Fortificación definida para roca clase II o R2, TEMII

9.3.3 Clase de roca III o R3

Es una roca con una regular calidad geomecánica y se pondera con un valor de NGI-Q de $1 \geq Q > 0,1$, para su fortificación se utilizan pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros, largo 4 metros, en parada de 9x10, cada 1,8 x 1,8 metros, en avance alternado, además de shotcrete con fibra, 12 centímetros en bóveda y 10 centímetros en cajas, con un máximo de avance de 4,0 metros por disparo. En la figura 16 se aprecia la fortificación definida para la clase de roca III, en TEMII.

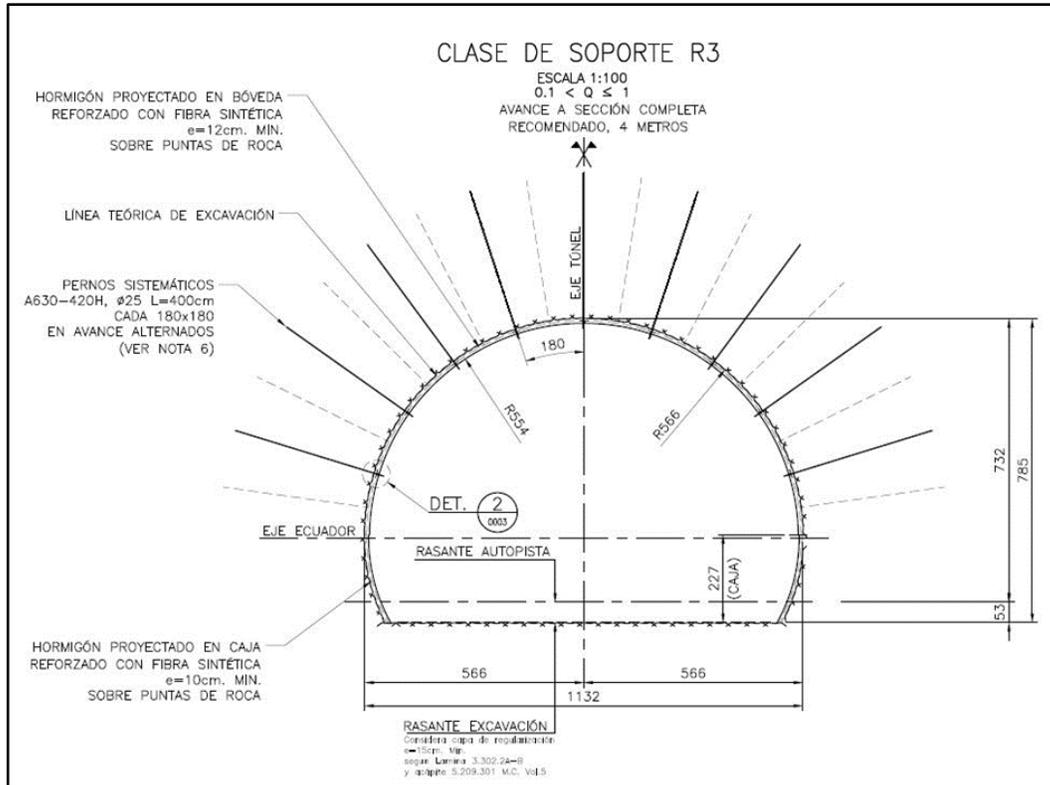


Figura 16 Fortificación definida para roca clase III o R3, TEMII

9.3.4 Clase de roca IV o R4

Es una roca con una mala calidad geomecánica y se pondera con un valor de $NGI-Q$ de $0,1 \geq Q > 0,02$, para su fortificación se utilizan pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros, largo 4 metros, en parada de 13x14, cada 1,5 x 1,5 metros, en avance alternado, además un primer sello de shotcrete con fibra de 5 centímetros a toda la sección, luego la instalación de un marco noruego sistemáticos y finalmente un sellos de shotcrete con fibra de 15 centímetros a toda la sección y un avance máximo de 3,5 metros por disparo. En la figura 17 se aprecia la fortificación definida para la clase IV, en TEMII.

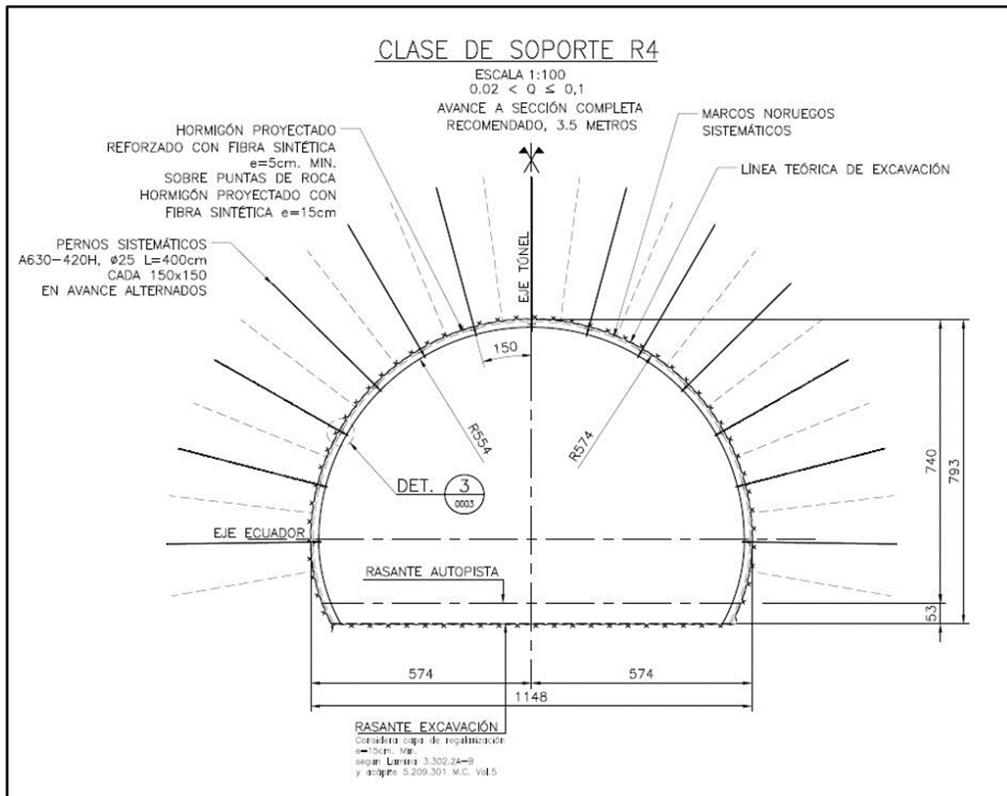


Figura 17 Fortificación definida para roca clase IV o R4, TEMII

9.3.5 Clase de roca tipo V o R5

Es una roca con una excepcionalmente mala calidad geomecánica y se pondera con un valor de NGI-Q de $0,2 \geq Q > 0,001$, para la fortificación se debe colocar un sello de shotcrete de 5 centímetros en la bóveda y las cajas del túnel, pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros, largo 4 metros, en parada de 17x18, cada 1,2 x 1,2 metros, en avance alternado. Adicionalmente, un sello de shotcrete de 3 centímetros en el contrafuerte interior y el frente del túnel. A continuación, colocar malla electrosoldada en el sello de shotcrete proyectado en cajas y bóveda y finalmente instalar marcos reticulados a 40 cm del frente de avance, con su respectivo separador y proyectar shotcrete con fibra sin cubrir la barra interior del marco. El máximo de avance por disparo es de 1,5 metros. En la figura 18 se aprecia la fortificación definida para la clase de roca V, en TEMII.

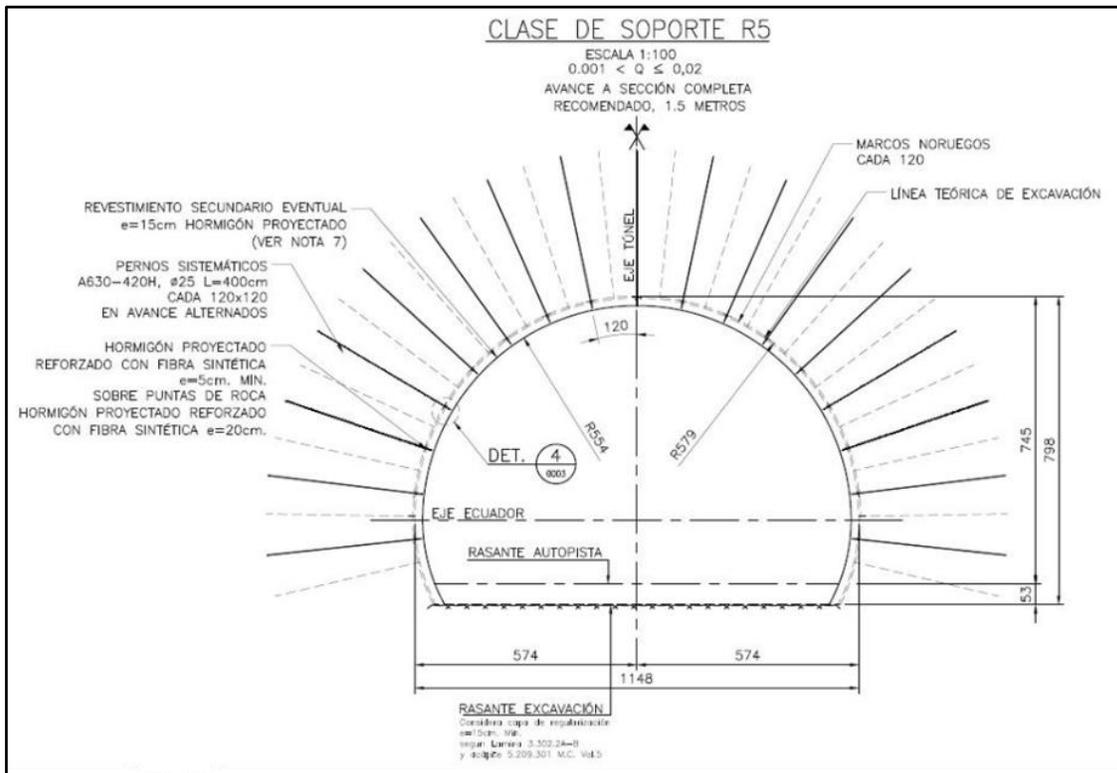


Figura 18 Fortificación definida para roca clase V o R5, TEMII

Además de las fortificaciones antes mencionadas, existen unos tramos del proyecto que poseen mayores dimensiones, llamadas bahías de estacionamientos estas son de 14,36 metros de ancho y 8,43 metros de alto. En la que se categorizaron tres tipos de fortificaron, que se detallan a continuación:

9.3.6 Clase de roca I o R1, bahía de estacionamiento

Es la roca con una muy buena calidad geomecánica, se pondera con un valor de NGI-Q sobre los 10 y para su fortificación se utilizan pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros y largo 6 metros, su distribución es de manera puntual, además proyección de shotcrete con fibra de 15 centímetros en bóveda y cajas. En la figura 19 se aprecia la fortificación definida para la clase I en la bahía de estacionamientos, en TEMII.

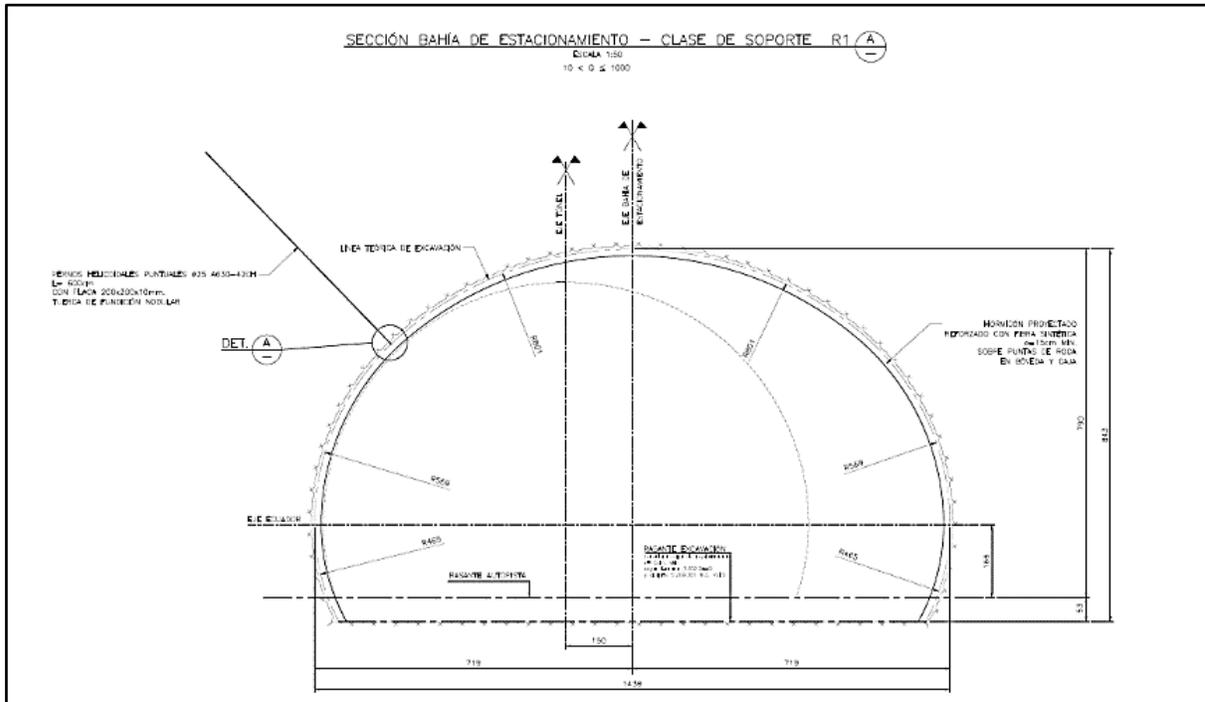


Figura 19 Fortificación definida para bahía de estacionamiento roca clase I o R1, TEMII

9.3.7 Clase de roca II o R2, bahía de estacionamientos

Es una roca con una buena calidad geomecánica y se pondera con un valor de NGI-Q de $10 \geq Q > 1$, para su fortificación se utilizan pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros, largo 4 metros cada 1,50x1,50 metros en avance alternado en cajas y pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros largo 6 metros cada 1,50x1,50 metros en avance alternados, sobre el eje del ecuador. Además, proyección de shotcrete con fibra, 20 centímetros en toda la sección. En la figura 20 se aprecia la fortificación definida para la clase II en la bahía de estacionamientos, en TEMII.

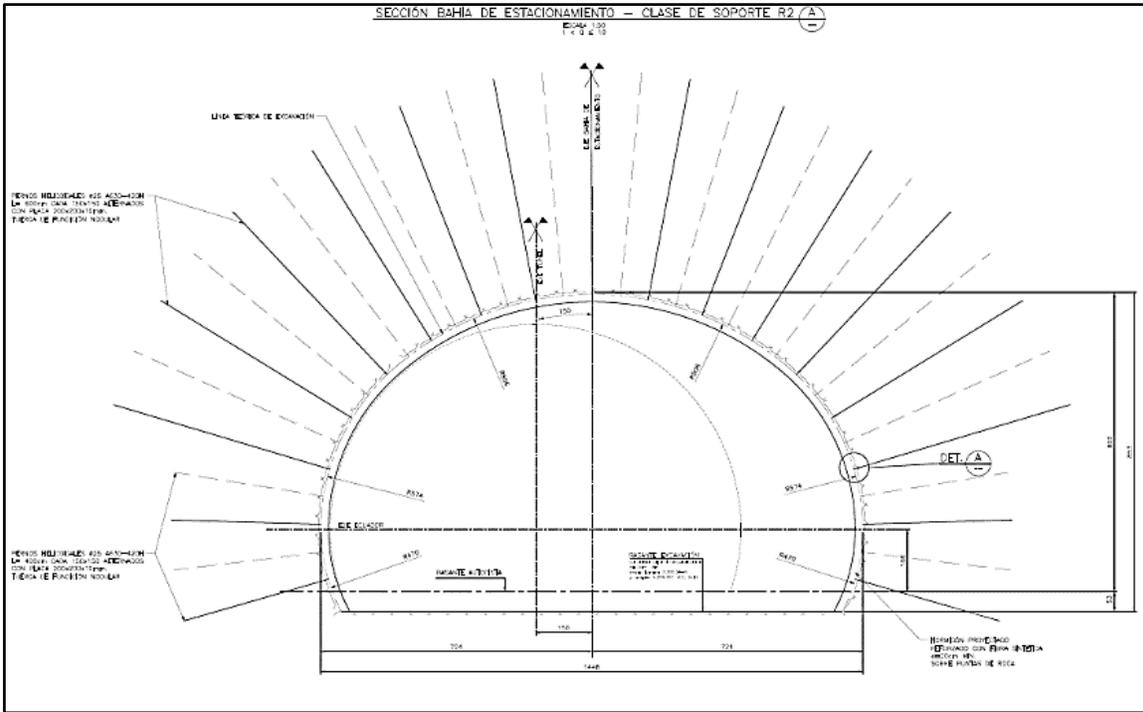


Figura 20 Fortificación definida para bahía de estacionamientos roca clase II o R2, TEMII

9.3.8 Clase de roca III o R3, bahía de estacionamientos

Es una roca con una regular calidad geomecánica y se pondera con un valor de NGI-Q de $1 \geq Q > 0,1$, para su fortificación se utilizan pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros, largo 4 metros cada 1,50x1,50 metros en avance alternado en cajas y pernos A630-420H, diámetro: 25 milímetros largo 6 metros cada 1,0x1,0 metros en avance alternados, sobre el eje del ecuador. Además, proyección de shotcrete con fibra, 25 centímetros en toda la sección. En la figura 21 se aprecia la fortificación definida para la clase III en la bahía de estacionamientos, en TEMII.

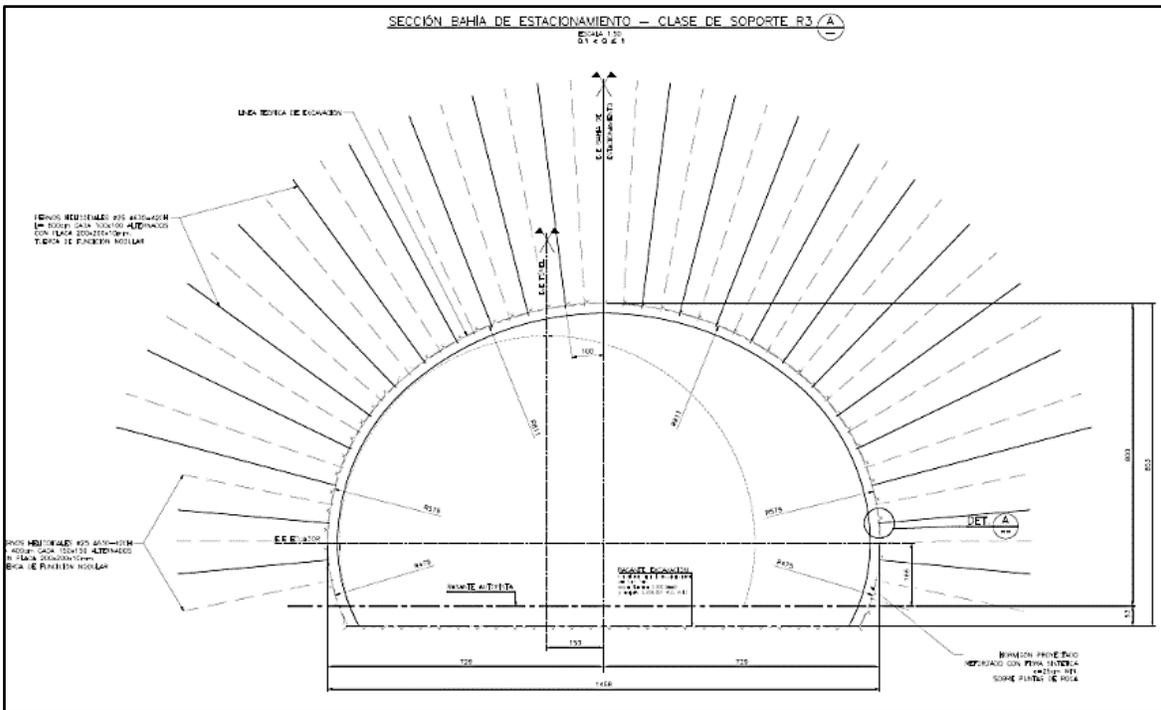


Figura 21 Fortificación definida para bahía estacionamiento roca clase III o R3, TEMII

9.4. Resistencias de los elementos de fortificación

El tipo de fortificación y los elementos que se ocupan para ellos, son los encargados de entregar sostenimiento a la obra a lo largo del tiempo, el material que se ocupa y sus características, además saber cómo esta reacción al medio es primordial a la hora de evaluar un proyecto y su seguridad, esto tiene relación con la estabilidad del macizo rocoso y como este reacciona a los esfuerzos tensionales y deslizamientos de bloques. Dentro de los elementos de fortificación destacan dos que pasaremos a describir a continuación:

9.4.1 Pernos

Los pernos helicoidales son barra metálica de acero y carbono ranurada, con una planchuela y una tuerca como accesorios. La función del perno es sostener posibles deslizamientos de bloques y unir las partes elástica con la plástica del macizo rocoso, entregando una resistencia y sostenimiento extra a los esfuerzos presentes en la excavación. En el TEM II, se utilizan pernos helicoidales A630-420H, de 4 metros de largo y 25 milímetros de diámetro, como se logra apreciar en la fotografía 16. Estos pernos poseen una resistencia a la ruptura de 762 MPa y una tensión a la fluencia de 475 MPa, y una resistencia a la fuerza axial de 0,1 MN. siguiendo la norma chilena NCh 204 of.78.



Fotografía 16 Pernos A630-420H, 4 metros, diámetros 25 milímetros, TEMII

9.4.2 Shotcrete

El shotcrete es una mezcla de cemento, aditivo y fibras metálicas, que le entregan resistencia al macizo rocoso. Estos elementos son proyectados en forma húmeda, a una alta presión para cubrir todas las superficies de influencia y rellenar todos los espacios vacíos. Este material de fortificación entrega una resistencia a la tensión y flexión, al agrietamiento, al impacto, además de absorber y distribuir los esfuerzos. En el TEMII, se utilizan cemento Melón G25, estos poseen una resistencia a la compresión mínima de 25 MPa y en promedio luego de 28 días de 40 MPa, siguiendo la norma chilena NCh170 – 2016.

9.5 Ensayos de laboratorio

La realización de ensayos de laboratorio es esencial para comprender el comportamiento del cuerpo rocoso y de la roca intacta. Además de conocer los parámetros geotécnicos y geológicos que se espera encontrar en una excavación. En el caso del estudio del TEMII, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión uniaxial, abrasividad ^[49] Cerchar, determinación de índice de Schimazek y difracción ^[50] de rayos X cuantitativo. Estos tres últimos realizados por el centro de investigación, desarrollo e innovación de estructuras y materiales (IDIEM), quien es la entidad encargada de realizar controles de calidad de los materiales en las obras públicas de Chile.

Para la realización de estos ensayos, se contó con 10 muestras extraídas tanto del sector Norte como Sur de la excavación. Los cuales se clasificaron según su Pk y litología. Primeramente, se le realizaron ensayos de compresión uniaxial a todos, entregando rangos de valores entre

los 97 y los 218 MPa y un promedio de 144 MPa, destacando muy buenas resistencias. En cuanto al ensayo de abrasividad de Cerchar, este se le realizó a una brecha y andesita del portal Norte y una andesita y corneana del portal Sur, este índice mide la dureza de la roca en relación con el cuarzo, destacando que la corneana del Sur dio valores altos, por su parte la andesita del Sur dio valores bajos, por otra parte, la brecha y la andesita del Norte se obtuvo valores medios a altos.

En cuanto a el índice de Schimazek, entrega valores de dureza de Mohs en roca total, coeficiente de abrasividad, el contenido equivalente de cuarzo de minerales abrasivos, diámetros promedio del grano de cuarzo, resistencia a tracción y una clasificación final. Destaca que la andesita se mantiene en rangos entre muy ligera y moderada abrasividad y la corneana y la brecha una alta a mediana abrasividad.

Finalmente, a estas mismas muestras se le realizó un ensayo de difracción de rayos X, para saber el contenido cualitativo de minerales formadores de cada roca. Destacando la gran presencia de cuarzo en la corneana y el alto porcentaje de plagioclasas en las andesitas.

10. Sistema de clasificación geotécnica del proyecto

La clasificación Q, fue descrita en 1974 y modificada el 2013, por Barton (NGI,2013) en la cual se basa en 6 parámetros, para clasificar y ponderar el macizo rocoso entregando su calidad, además de proveer un diseño de soportes para obras tanto subterráneas como de superficie. Los valores que posee este método van desde 10^3 a 10^{-3} , en los cuales parten desde una roca muy buena, buena, regular, mala, muy mala. La fórmula de Q es la siguiente:

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$$

10.1. Características de los parámetros del NGI-Q

Cada parámetro del sistema NGI-Q, tiene relación con las características de la roca o cuerpo rocoso a analizar, están entregados de forma cuantitativa un valor ponderado, que finalmente lleva a el cálculo del valor Q, los parámetros son los siguientes:

10.1.1 RQD

Descrita por Deer (Deer R, 1963), este método clasifica la roca, en cuanto a su estabilidad. Este parámetro consta de cinco calidades de roca. "RQD es la suma de la longitud de todos tramos de sondaje de más de 10 centímetros de largo dividido por el largo total del sondaje" (Deer R, 1963). Por lo tanto, el valor va desde 0 a 100.

Pero en una excavación subterránea no se puede apreciar el macizo rocoso de forma tridimensional, por lo cual se debe estimar a través del número de juntas o familias por m³, como se aprecia en la tabla 2, por lo tanto, NGI-Q, en el 2013, propuso la siguiente formula:

$$RQD = 110 - 2,5xJv$$

donde Jv es el número de juntas por m³.

Para realizar una correcta interpretación del RQD, en obras subterráneas se deben realizar diferentes mediciones y luego ponderarlas, para entregar un valor real de lo observado.

1 RQD (Designación de calidad de roca) $RQD=110 - 2.5X jv$			RQD
A	Muy pobre	(>27 juntas por m3)	0 - 25
B	Pobre	(20-27 juntas por m3)	25 - 50
C	Justo	(13-19 juntas por m3)	50 - 75
D	Bueno	(8-12 juntas por m3)	75 - 90
E	Excelente	(0-7 juntas por m3)	90 - 100

Nota:
i) Donde RQD es reportado o medido como <10 (incluido 0), el valor 10 es usado para evaluar el valor Q.
ii) Los intervalos RQD de 5, es decir, 100, 95, 90, etc., son suficientemente precisos.

Tabla 2 Valores de RQD

10.1.2 Jn. (número del set de juntas o familias)

Este parámetro hace referencia al conjunto de diaclasas que poseen la misma dirección en el macizo rocoso y cómo éstas se pueden agrupar en familias o set. Existen discontinuidades que no poseen una orientación preferencial, estas se llaman aleatorias. El número de familias o set de juntas está relacionado con la formación de bloques. La valoración de este parámetro se muestra a continuación en la tabla 3.

2 Conjunto de discontinuidad numérica		Jn
A	Masivo, sin o pocas juntas.	0,5 - 1,0
B	Un conjunto de juntas	2
C	Un conjunto de juntas más juntas aleatorias	3
D	Dos conjuntos de juntas	4
E	Dos conjuntos de juntas más juntas aleatorias	6
F	Tres conjuntos de juntas	9
G	Tres conjuntos de juntas más juntas aleatorias	12
H	Cuatro o más conjuntos de juntas, "cubo de azúcar" al azar fuertemente articulado, etc.	15
J	Roca triturada, como suelo	20
Nota: i) Para intersecciones de túneles, use $J_n \times 3$. ii) Para portales, use $J_n \times 2$.		

Tabla 3 valores de J_n

Existe una relación entre el parámetro RQD/J_n , este cociente está relacionado con el tamaño relativo de bloques y la frecuencia de las juntas o set de diaclasa en el macizo rocoso.

10.1.3 Jr. (número de rugosidad)

Este número depende de la superficie de las paredes de las diaclasas, estas pueden ser desde ondulosa, rugosas o áspera y lisas. Esta condición está relacionada con el desplazamiento que puede generarse entre bloque, en la cual las juntas rugosas son menos favorables a un desplazamiento, en cambio unas lisas poseen menos superficie de contacto, por lo tanto, favorecen el desplazamiento. La valoración de este parámetro se aprecia a continuación en la tabla 4.

3 Número de rugosidad de juntas		Jr
a) Contacto con pared - roca, y contacto con roca antes de 10 cm de movimiento en cizalle		
A	Juntas discontinuas	4
B	Áspero o irregular, ondulado	3
C	Suave, ondulado	2
D	Cizallado, ondulado	1,5
E	Áspero o irregular, plano	1,5
F	Suave, plano	1
G	Cizallado, plano	0,5
Nota: i) Descripción se refiere a características de pequeña escala y características de escala intermedia, en ese orden.		
B) Sin contacto pared - roca después de 10 cm de movimiento en cizalle		
H	Zona que contiene minerales de arcilla lo suficientemente gruesos para evitar el contacto con la pared de roca cuando se corta.	1
Nota: i) Agregue 1 si la separación media del conjunto de juntas relevantes es mayor a 3 m (dependiendo del tamaño de la abertura subterránea) ii) Jr = 0.5 se puede usar para uniones planas de lados cortados que tengan lineamientos, siempre que los lineamientos estén orientados en la dirección de deslizamiento estimada.		

Tabla 4 valores de Jr

10.1.4 Ja (número de alteración)

Este número esta relaciona con el relleno de la composición mineral, que poseen las juntas, además de su grosor y el espaciamiento de contacto entre las paredes de las estructuras. En este caso se separan en 3 grandes categorías, contacto de pared-roca, sin relleno mineral o solo un patina, contacto pared-roca menor a 10 cm, con relleno mineral delgado y la tercera categoría sin contacto pared-roca y un relleno mineral grueso. Estas categorías se subdividen dependiendo del relleno mineral, que las discontinuidades posean. Estos valores se pueden apreciar a continuación en la tabla 5.

4 Número de alteración de juntas		Φ_r aprox.	Ja
a) Contacto con el pared - roca (sin rellenos minerales, sólo pátinas)			
A	Relleno impermeable, sano, duro, no ablandante, Ej, cuarzo o epidota.		0,75
B	Paredes de juntas no alteradas, solo oxidación superficial.	25 - 35°	1
C	Paredes de juntas ligeramente alteradas. Pátinas sin reblandecimiento; partículas arenosas, rocas desintegradas sin arcilla, etc.	25 - 30°	2
D	Pátinas delimo y arena, bajo contenido de arcilla (sin reblandecimiento).	20 - 25°	3
E	Pátinas de minerales de arcilla de baja fricción, Ej, caolinita o mica. También clorito, yeso, talco, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	8 - 16°	4
b) Contacto pared - roca antes de 10 cm de cizalle (relleno minerales delgados)			
F	Partículas de arena, roca desintegrada sin arcilla, etc.	25 - 30°	4
G	Rellenos minerales de arcilla fuertemente consolidados, no reblandecidos (continuos, pero <5 mm de espesor)	16 - 24°	6
H	Relleno de arcillas con consolidación media a baja, reblandecimientos.	12 - 16°	8
J	Rellenos de arcilla expansiva ,Ej, montmorillonita.	6 - 12°	8 al 12
c) Sin contacto con el muro de roca cuando se corta (rellenos minerales gruesos)			
K	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada. Fuertemente consolidado.	16 - 24°	6
L	Zonas o bandas de arcilla, roca desintegrada o triturada.Consolidación media o baja o rellenos reblandecidos.	12 - 16°	8
M	Zonas o bandas de arcilla, roca desintegrada o triturada.Arcilla expansiva.	6 - 12°	8 al 12
N	zonas o bandas gruesas de arcillas. Fuertemente consolidado.	12 - 16°	10
O	zonas o bandas gruesas de arcillas.Consolidación media a baja.	12 - 16°	13
P	zonas o bandas gruesas de arcillas.Arcilla expansiva.	6 - 12°	13 al 20

Tabla 5 valores de Ja

Existe una relación entre J_r/J_a , este cociente está relacionado con la fricción, y es la aproximación justa del ángulo de fricción real que se espera para la combinación de rugosidad de la pared y el material de relleno de las juntas (Barton et al. 1994).

10.1.5 J_w (Factor de reducción de agua)

El número está relacionado con el agua que fluye a través de las juntas, se basa en la cantidad de agua y su presión observada en las aberturas. Entre menor es el número, este es más desfavorable. Los valores se pueden apreciar a continuación en la tabla 6.

5 Factor de reducción de agua		Jw
A	Excavaciones secas o infiltración menor (húmedo o algunas gotas)	1,0
B	Infiltración media, desbordamiento ocasional de rellenos de juntas (muchas gotas/"lluvia")	0,66
C	Infiltración a alta presión (jet) en roca competente con juntas sin relleno.	0,5
D	Infiltración alta o presión alta, con lavado considerable del relleno de juntas.	0,33
E	Infiltración excepcionalmente alta o presión de agua que decae con el tiempo. Provoca lavado de rellenos de juntas y espacios vacíos.	0,2 - 0,1
F	Infiltración excepcionalmente alta o presión de agua continua sin decaer. Provoca lavado de relleno de juntas y espacios vacíos.	0,1 - 0,05

Nota:
i) Los factores C a F son estimaciones brutas. Aumente Jw si la roca se drena o se aplica lechada
ii) No se consideran problemas especiales causados por la formación de hielo.

Tabla 6 valores Jw

10.1.6 SRF (factor de reducción de tensión)

Este factor de reducción de tensión está relacionado con la tensión y la resistencia del macizo cuando se genera una excavación. Este cálculo se puede realizar a través de la relación entre la resistencia a la compresión uniaxial y la tensión principal o bien, la relación entre la tensión tangencial máxima vertical y horizontal. El factor se divide en cuatro grandes categorías, zona de debilidad que intercepta la abertura subterránea, roca competente con problemas de estabilidad, squeezing rock que comprende una deformación plástica de la roca por la influencia de tensiones en la roca y swelling rock es el desprendimiento de rocas o bloques por la actividad química de alguna arcilla que produce un hinchamiento. Además de cada una de estas categorías, existen unas subcategorías. Los valores se pueden apreciar a continuación en la tabla 7.

También existe una relación entre Jw/SRF , este cociente es el esfuerzo activo, en el macizo que relaciona las tensiones verticales y horizontales, además de la presión de poros, determinada por el agua dentro del cuerpo rocoso.

6 Factor de reducción de estrés		SRF		
a) Zonas débiles que se cruzan con la abertura subterránea, lo que puede provocar el aflojamiento de las rocas.				
A	Múltiples ocurrencias de zonas débiles dentro de una sección corta que contiene arcilla o roca circundante muy floja desintegrada químicamente (cualquier profundidad), o secciones largas con roca incompetente (débil) (cualquier profundidad).	10		
B	Múltiples zonas de cizalle dentro de una sección corta en roca competente libre de arcilla con roca circundante suelta (cualquier profundidad).	7,5		
C	Zonas débiles individuales con o sin arcilla o roca química desintegrada (profundidad <50 m)	5		
D	Articulaciones sueltas, abiertas, muy diaclasada o "cubo de azúcar", etc. (cualquier profundidad)	5		
E	Zonas débiles individuales con o sin arcilla o roca química desintegrada (profundidad > 50 m)	2,5		
Nota: i) Reduzca estos valores de SRF en un 25-50% si las zonas débiles solo influyen pero no cruzan la abertura subterránea.				
b) Roca masiva y competente. Problemas de esfuerzos		σ_c / σ_1	σ_θ / σ_c	SRF
F	Esfuerzo bajo, juntas abiertas	> 200	< 0,01	2,5
G	Esfuerzo medio, condición de esfuerzo favorable	200 - 10	0,001 - 0,3	1
H	Esfuerzo alto, con juntas muy apretadas	10 - 5	0,3 - 0,4	0,5 - 2
J	Spalling moderado y/o slabbing despues de 1 hora de excavacion en roca masiva	5 - 3	0,5 - 0,65	5 - 50
K	Spalling o estallido de roca despues de un par de minutos de excavacion en roca masiva	3 - 2	0,65 - 1	50 - 200
L	Estallido de roca fuerte y deformación dinámica inmediatamente en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400
Nota: ii) Para un campo de tensión virgen fuertemente anisotrópico (si se mide): cuando $5 < \sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reduzca σ_c a $0.75 \sigma_c$. Cuando $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$, reduzca σ_c a $0.5 \sigma_c$, donde σ_c = resistencia a la compresión no confinada, σ_1 y σ_3 son las tensiones principales mayores y menores, y σ_θ = tensión tangencial máxima (estimada por la teoría elástica). iii) Cuando la profundidad de la corona debajo de la superficie es menor a la luz; Sugerir un aumento de SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver F).				
c) Squeezing : deformación plástica en roca incompetente bajo la influencia de altas presiones		σ_θ / σ_c	SRF	
M	Roca a presión con squeezing moderado	1 - 5	5 - 10	
N	Roca a presión con squeezing fuerte	> 5	10 - 20	
Nota: iv) La determinación de las condiciones de la roca de compresión debe realizarse de acuerdo con la literatura relevante (es decir, Singh et al., 1992 y Bhasin y Grimstad, 1996).				
d) Swelling: Actividad química dependiente de la presencia de agua		SRF		
O	Presión de roca hinchamiento leve	5 - 10		
P	Fuerte presión de roca hinchada.	10 - 15		

Tabla 7 valores de SRF

10.2. Ábaco de clasificación de fortificación

La relación del valor de Q y el soporte de fortificación, se basa en historias documentadas alrededor del mundo, que son utilizadas como guía para diseños de soportes en nuevos proyectos subterráneos. Además de los parámetros antes señalados, también existen dos factores para la construcción de túneles, los cuales son la seguridad y las dimensiones del proyecto.

Para ellos se dispone de una tabla de relación de soporte de excavación (ESR), está hace referencia al uso o propósito que tendrá en proyecto y la vida útil de éste, por lo tanto, un túnel para una central nuclear debe tener mayor seguridad, que un túnel temporal de minería, ya que este último es de características temporales, estos valores se pueden apreciar en la tabla 8.

En cuanto a las dimensiones del proyecto, esto se refiere al tramo o altura de la abertura de la excavación subterránea, cuando una sección no es uniforme en sus dimensiones se debe ocupar el mayor valor de abertura.

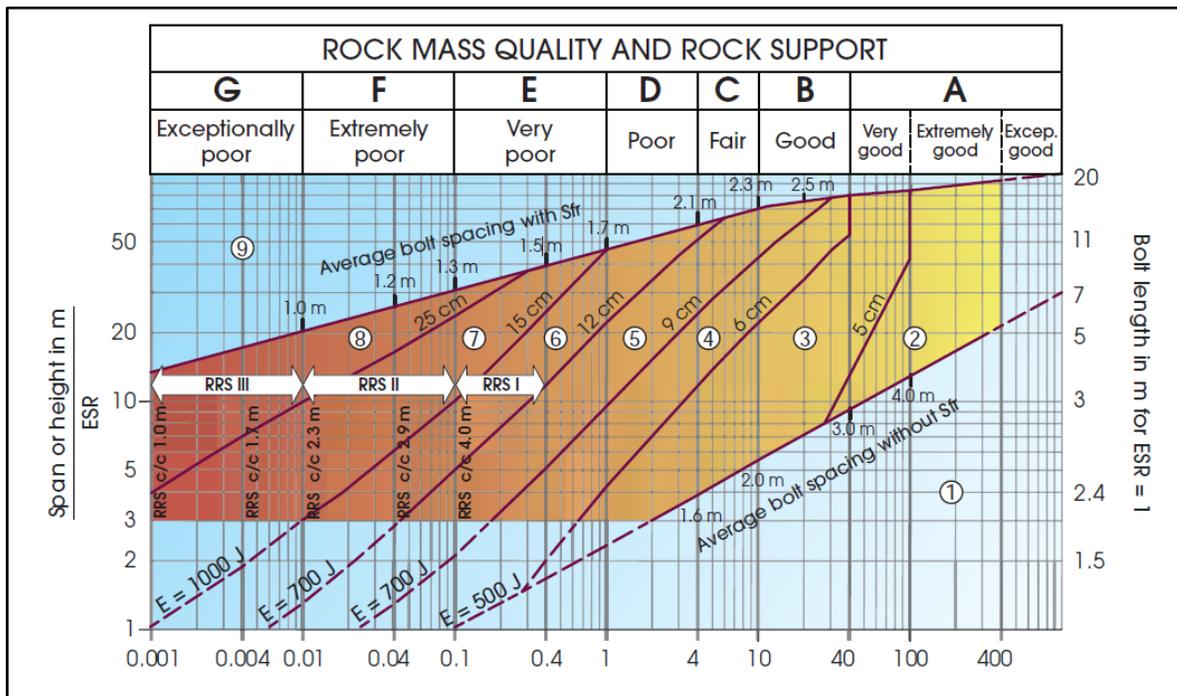
7 - Tipo de excavación		ESR
A	Aperturas temporales de minas, etc.	ca. 3 - 5
B	Conductos verticales: i) Secciones circulares ii) Sección rectangular/cuadrada *Depende del propósito. Puede ser inferior a los valores dados.	ca. 2,5 ca. 2,0
C	Aberturas permanentes de minas, túneles de agua para energía hidroeléctrica (excluyendo tuberías de alta presión), túneles de suministro de agua, túneles piloto, derivas y encabezados para grandes aberturas.	1,6
D	Túneles menores de carreteras y ferrocarriles, caámaras de sobretensión, túneles de acceso, túneles de alcantarillado, etc.	1,3
E	Casas de máquinas, salas de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles principales de carreteras y ferrocarriles, cámaras de defensa civil, portales, intersecciones, etc.	1,0
F	Estaciones de energía nuclear subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones deportivas y públicas, fábricas, etc.	0,8
G	Cavernas muy importantes y aberturas subterráneas con una larga vida útil, ≈ 100 años, o sin acceso para mantenimiento.	0,5

Tabla 8 valores de ESR

El cociente entre estos dos términos, dimensiones y ESR nos entrega un factor de seguridad, que será el valor que se pondera en el ábaco, entregando el tipo de soporte, que se debe emplear en la excavación.

$$\frac{\text{Altura de la excavación (m)}}{ESR} = \text{Factor de seguridad.}$$

El ábaco de fortificación es realizado a través de datos reales, de casos examinados previos. En la parte horizontal superior se aprecian la sectorización de las clases de roca dependiendo de su calidad geotécnica, desde la excepcionalmente buena a la excepcionalmente pobre y en el horizontal inferior sus valores de Q en una escala logarítmica, en la parte vertical izquierda se aprecia el valor del factor de seguridad y el la vertical derecha, el tamaño de pernos a utilizar. En el interior del ábaco se pueden obtener características de fortificación para la etapa constructiva, como son el espaciamiento de pernos, espesor de shotcrete con fibra, y la absorción de energía del shotcrete. En la figura 22 se aprecia el ábaco de fortificación NGI-Q y la fortificación para cada clase de roca.



Support categories

- ① Unsupported or spot bolting
- ② Spot bolting, **SB**
- ③ Systematic bolting, fibre reinforced sprayed concrete, 5-6 cm, **B+Sfr**
- ④ Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 6-9 cm, **Sfr (E500)+B**
- ⑤ Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 9-12 cm, **Sfr (E700)+B**
- ⑥ Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 12-15 cm + reinforced ribs of sprayed concrete and bolting, **Sfr (E700)+RRS I +B**
- ⑦ Fibre reinforced sprayed concrete >15 cm + reinforced ribs of sprayed concrete and bolting, **Sfr (E1000)+RRS II+B**
- ⑧ Cast concrete lining, **CCA** or **Sfr (E1000)+RRS III+B**
- ⑨ Special evaluation

Bolts spacing is mainly based on Ø20 mm
 E = Energy absorption in fibre reinforced sprayed concrete
 ESR = Excavation Support Ratio
 Areas with dashed lines have no empirical data

RRS - spacing related to Q-value

- ① **S130/6 Ø16 - Ø20 (span 10m)**
D40/6+2 Ø16-20 (span 20m)
- ② **S135/6 Ø16-20 (span 5m)**
D45/6+2 Ø16-20 (span 10m)
D55/6+4 Ø20 (span 20m)
- ③ **D40/6+4 Ø16-20 (span 5m)**
D55/6+4 Ø20 (span 10 m)
D70/6+6 Ø20 (span 20 m)

S130/6 = Single layer of 6 rebars, 30 cm thickness of sprayed concrete
 D = Double layer of rebars
 Ø16 = Rebar diameter is 16 mm
 c/c = RSS spacing, centre - centre

Figura 22 Ábaco de fortificación NGI-Q, NGI 2013.

10.3. Clases geotécnicas de ingeniería de detalles

La etapa de ingeniería de detalle es donde se definen todos los sistemas, componentes y partes que dispondrá el proyecto, además de verificar la factibilidad de éste. La elaboración de la ingeniería de detalle, en el TEM II, estuvo a cargo de una empresa consultora, llamada R&Q Ingeniería, en el año 2015.

Este estudio se basó en la elaboración de un informe geotécnico, ocupando como referencia los datos del Proyecto Túnel Melón I, hoja Quillota- Portillo, Sernageomin, escala 1:250.000, análisis de suelo a través de calicatas, mapeos de superficie y sondajes exploratorios.

En este informe se detallan las clases de roca, a través del método Q de Barton del año 1993, en la cual se definieron cinco clases de roca desde CS1 a CS5, cada una con su respectiva fortificación. Además de hacer una predicción de estimación de ellas dentro del TEMII, dando tres escenarios posibles: distribución esperada, optimista y pesimista. En la tabla 9 se aprecian las clases de roca en ingeniería de detalle y los tres escenarios posibles.

Distribucion de la calidad geotécnica, TEMII		CS1	CS2	CS3	CS4	CS5
Rango de Qde Barton		> 10	1-10	0,3 - 1	0,002 - 0,3	< 0,02
Calidad geotécnica		Excelente y buena	Mala a regular	Mala	Muy mala	Extremadamamente mala
Distribucion	Esperada (%)	0	15	71	13	1
	Optimista (%)	9	48	34	9	0
	Pesimista (%)	0	3	72	20	5

Tabla 9 Calidad geotécnica, Etapa ingeniería de detalles

Como se puede apreciar en la tabla, los valores principalmente entregan una mala calidad geotécnica, en la distribución esperada y pesimista, en cuanto a la optimista destaca un 9% en la excelente y 48% en buena calidad, además de un bajo porcentaje de roca en calidad mala a regular.

En esta etapa de también se desarrollaron estudios hidrogeológicos, en los cuales se determinaron los caudales de infiltración probable en el rango de 0,001 y 0,1 l/s en las rocas volcánicas, 0,02 a 0,1 l/s en rocas ígneas y 0,3 a 0,8 l/s en zonas de contacto con presencia de roca cornea y fallas, pudiendo llegar a 8,1 l/s.

10.4. Clases geotécnicas de construcción

La construcción del TEM II, se llevó a cabo en dos frentes de avance consecutivos, un de Norte a Sur, y la otra de Sur a Norte, estos trabajos comenzaron en febrero del 2019 y culminaron en mayo del 2020, en donde se logró unir las dos frentes de trabajo con éxito.

Para la identificación de las clases geotécnicas en la etapa de construcción se basó en la clasificación NGI-Q del 2013 (NGI,2013), en la cuales se ponderaron cinco clases de roca desde la roca tipo I a la V.

Para lograr con éxito una correcta identificación geológica, se realizaron mapeos en cada avance del proyecto, dando como resultado un total de 719 mapeos. En los cuales se identificaron cada parámetro del NGI-Q, entregando la clase de roca, además de fecha, hora, Kilometraje del frente del túnel, avance, caudal, cobertura o sobrecargo, descripción geológica, fortificación y la medición de las estructuras.

Cabe destacar que como medida complementaria, cuando existe una intercepción del túnel principal con uno peatonal o vehicular, el valor J_n se multiplicaba por 3, en función de hacer un castigo, lo cual generaba una caída en el valor del NGI-Q, pero para comprender las reales características geotécnicas del túnel, en el presente documento este factor de castigo se desestimó y se obtuvo los valores reales del NGI-Q.

A lo largo de la excavación el valor de Q no vario demasiado, entregando valores de Q buenos preferentemente en el sector central del proyecto y valor de Q más bajos en el comienzo de la entrada sur, como se puede apreciar en la figura 23.

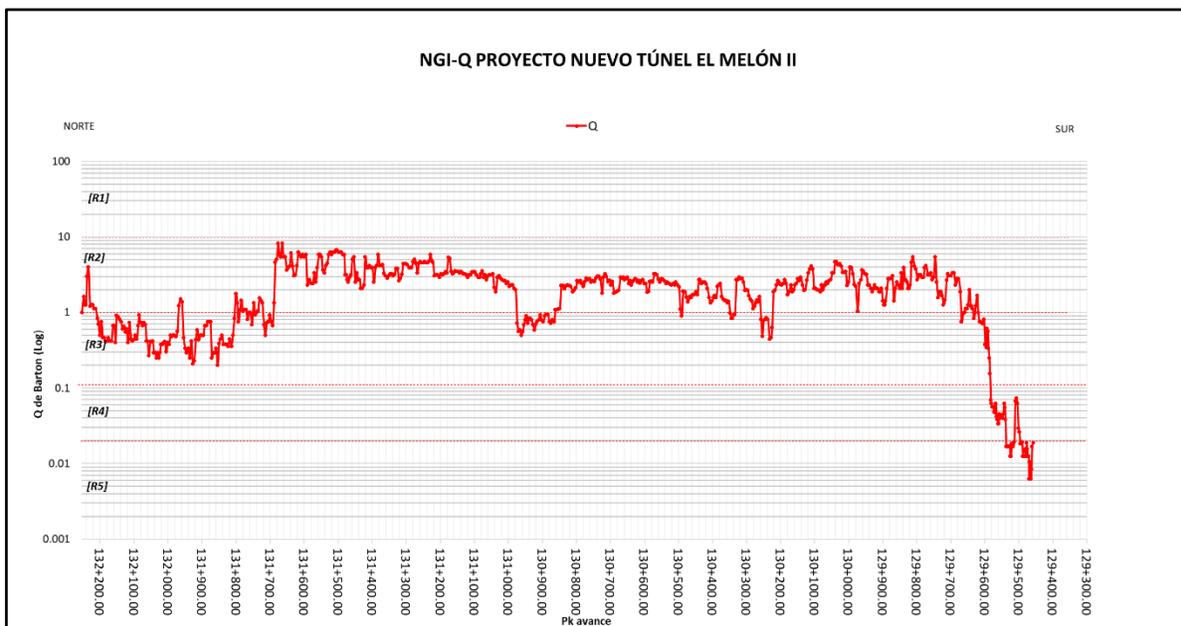


Figura 23 Gráfico comportamiento NGI-Q, TEMII

En cuanto a los metros y porcentajes de cada clase de roca de la excavación destaca que 1.994 metros fueron de roca clase II equivalente a un 71,38%, 674 metros de roca clase III equivalente a un 24,13%, 59,26 metros fueron de roca clase IV equivalente a un 2,12% y 66,33 metros de roca clase V equivalente a un 2,37%, por consiguiente, no se contó con roca tipo I en todo el proyecto TEMII. En la tabla 10 se aprecian los metros y porcentajes, de cada una de las clases de roca en TEMII.

Clases de roca	Q	metraje (m)	Porcentaje (%)
R1 (muy buena)	$Q > 10$	0	0,00
R2 (buena)	$10 \geq Q > 1$	1994,96	71,38
R3 (regular)	$1 \geq Q > 0.1$	674,26	24,13
R4 (mala)	$0.1 \geq Q > 0.02$	59,26	2,12
R5 (muy mala)	$0.02 \geq Q > 0.001$	66,33	2,37

Tabla 10 Metros y porcentaje de Roca, TEMII

11. Sectorización geomecánica en etapa de construcción.

Para la sectorización geomecánica del proyecto, se estudiaron los 719 mapeos geológicos realizados durante la etapa constructiva del TEMII, de los que se extrajo la siguiente información: litología, alteración hidrotermal de las rocas, grado de meteorización de macizo rocoso, resistencia a la compresión uniaxial estimada en terreno a través del método de golpes con el martillo geológico, cobertura de manto de roca sobre la clave, NGI-Q y sus parámetros asociados, clasificación de roca, caudal hídricos y todas sus estructuras geológicas.

Con los datos de cobertura se obtuvieron los valores de esfuerzo vertical, esfuerzo horizontal mínimo y máximo, para obtener la relación de esfuerzos, según Galarce T, (Galarce. T, 2014).

Además, se realiza una la estimación de la clasificación RMR, de Bieniawski de 1989 en la conexión peatonal N° 2, para luego generar una comparación con el sistema NGI-Q, utilizado en la excavación del TEMII. Con esto se busca identificar si el método NGI-Q del 2013, es homologable a otra clasificación de macizo rocoso y generar una calibración de los modelos numéricos posteriores.

Para lograr una identificación más precisa de los parámetros de la excavación se definió, separar tramos cada 50 metros de avance, dando como resulta 53 conjuntos de mediciones totales.

11.1. Identificación litológica

En la etapa constructiva del TEMII, se logró identificar siete litologías distintas:

- Rocas volcánicas y piroclásticas
 - Andesitas
 - Tobas
 - Brechas hidrotermales
- Rocas intrusivas
 - Granodioritas
- Rocas metamórficas
 - Corneanas
- Rocas sedimentarias
 - Lutitas
 - Areniscas

Además, se presentaron tres tipos de alteración hidrotermal distintas:

- Fílica
- Propilítica
- Argílica

Haciendo una caracterización de Norte a Sur, se comenzó con un tramo de granodiorita con alteración fílica y cortada por diques andesíticos, luego se aprecia un segundo gran tramo de roca andesitas con alteración propilítica, con algunas intercalaciones de brechas y un tercer sector con rocas lutitas y lentes de areniscas de menores dimensiones que los anteriores, para finalizar en el extremo sur con rocas corneanas, andesitas y tobas con alteración hidrotermal argílica.

En la tabla 11 que se aprecia a continuación se detalla el metraje total en metros y su respectivo porcentaje, de cada una de las litologías del TEMII.

Litología	Metraje (m)	Porcentaje (%)
Andesita	2.051,52	73,40
Granodiorita	426,06	15,20
Corneana	109,21	3,90
Brecha	94,89	3,40
Lutita	64,36	2,30
Toba	36,71	1,30
Arenisca	12,06	0,40

Tabla 11 litologías y porcentajes, TEMII

De la revisión de la información anterior podemos concluir que en mayor medida la excavación se realizó a través de una roca volcánica, tipo andesita afectada por alteración hidrotermal propilítica.

11.2. Identificación de dominios estructurales

Para identificar los dominios estructurales en el TEMII, se analizaron los 719 mapeos geológicos de la etapa constructiva, identificando 3.931 estructuras distintas, las cuales se categorizaron en diaclasas, fallas y diques, para luego ser categorizadas cada 50 metros de avance.

Estas estructuras se modelaron a través del programa de RocScience, Dips 6.0, dando como resultado 53 rosetas con orientación de diaclasas, 51 rosetas de orientación de fallas y 24 rosetas con orientación de diques, cada una de estas con el plano de la orientación del túnel de 150 °, respecto al Norte magnético.

Además de esto se lograron identificar los planos principales y secundarios de diaclasa y fallas, de los 53 tramos, en que se dividió el estudio de las estructuras.

Las orientaciones preferenciales de las diaclasas fueron principalmente NNW- SSE y una secundaria E-W, la de las fallas fueron principalmente NNW-SSE y secundarias N-S, E-W, en cuanto a los diques preponderantemente N-S y E-W.

11.3. Clasificación de unidades geomecánicas del proyecto

Para la clasificación de las unidades geomecánicas del TEMII, se identificaron las orientaciones de las estructuras, al igual que sus planos estructurales, siguiendo con la litología, alteración, caudal hídrico, cobertura de manto rocoso sobre la clave, relación de esfuerzo vertical y horizontal, tamaño de bloques y el porcentaje de clase de roca.

Con todos estos valores se identificaron unidades geomecánicas con características únicas dando como resultado una sectorización en 17 unidades, que para su diagramación fueron separadas con colores diferentes como se aprecia en la siguiente figura 24.

tramos cada 50 m	tramo 1	tramo 2	tramo 3	tramo 4	tramo 5	tramo 6	tramo 7	tramo 8	tramo 9	tramo 10	tramo 11
pk inicial	132253.14	132199.97	132146.28	132091.12	132044.54	1311992.99	131944.92	131891.91	131840.27	131788.25	131739.25
pk final	132203.9	132150.95	132096.12	132047.71	132000.87	131949.5	131900.87	131845.42	131792.82	131743.71	131692.51
sectarización	1	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5
diaclasas											
fallas											
diques											
planos de diaclasas y fallas											
litología	granodiorita	granodiorita	granodiorita	granodiorita	granodiorita	andesita/granodiorita	granodiorita	granodiorita/brecha	granodiorita	granodiorita/andesita	andesita
alteración	filica	filica	filica	filica	filica	propilitica/filica	filica	filica	filica	filica	propilitica
agua	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.007	0.014	0.004	0.002
coberturas	22.858	46.867	64.153	76.326	83.095	88.328	86.750	81.631	70.196	54.579	59.713
tamaño de bloque	3.75	4.49	4.20	3.89	3.28	5.51	2.80	3.05	4.46	5.60	5.48
grafico											
% clase de roca	I= 0% II=81,18% III= 18,18% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 0% III=100 % IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 27,27% III=72,73% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 0% III=100 % IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 0% III=100 % IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 16,67% III=83,33 % IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 63,64% III=36,36 % IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 33,33% III=66,67 % IV= 0% V= 0%			
cobertura	22.86	46.87	64.15	76.33	83.10	88.33	86.75	81.63	70.20	54.58	59.71
cobertura por tramos	22.86	55.51	79.71	85.57	61.50						
esfuerzo vertical	3.878	5.357	6.785	7.091	5.867						
esfuerzo horizontal	5.5106	6.8359	8.1155	8.3897	7.2929						

tramos cada 50 m	tramo 12	tramo 13	tramo 14	tramo 15	tramo 16	tramo 17	tramo 18	tramo 19	tramo 20	tramo 21	tramo 22	tramo 23	tramo 24			
pk inicial	131688.56	131634.17	131578.9	131523.55	131470.07	131416.02	131356.05	131300.75	131245.7	131193.06	131139	131084.38	131027.53			
pk final	131638.46	131587.32	131510.46	131473.39	131420.3	131360.5	131304.78	131249.91	131197.2	131143.2	131088.61	131031.98	130978.28			
sectorización	6			7				8			9					
diaclasas																
fallas																
diques																
planos de diaclasas y fallas																
litología	andesita	andesita/brecha	andesita/brecha	brecha/andesita	andesita/brecha	andesita	andesita									
alteración	propilitica															
agua	0.006	0.006	0.015	0.002	0.004	0.004	0.004	0.001	0.005	0.014	0.012	0.007	0.020			
coberturas	92.214	109.071	127.840	149.311	175.019	195.408	208.335	213.008	219.242	238.382	252.953	271.741	301.236			
tamaño de bloque	11.38	9.46	9.32	11.04	6.47	8.15	6.25	5.94	6.30	6.73	6.44	6.01	4.94			
grafico																
% clase de roca	I= 0% II= 100% III=0% IV= 0% V= 0%															
cobertura	92.21	109.07	127.84	149.31	175.02	195.41	208.34	213.01	219.24	238.38	252.95	271.74	301.24			
cobertura por tramos		109.71			182.02				223.54			275.31				
esfuerzo vertical		8.315			11.987				14.129			16.73				
esfuerzo horizontal		9.4865				12.7769					14.6963				17.027	

tramos cada 50 m	tramo 25	tramo 26	tramo 27	tramo 28	tramo 29	tramo 30	tramo 31	tramo 32	tramo 33	tramo 34	tramo 35	tramo 36	tramo 37	tramo 38
pk inicia	130973.75	130919.17	130865.47	130810.84	130757.24	130702.94	130649.67	130596.16	130545.6	130490.34	130436.12	130385.15	130329.75	130276.72
pk final	130923.18	130870.25	130816.18	130761.5	130707.52	130653.95	130600.19	130549.75	130494.44	130440.23	130389.3	130333.99	130280.9	130228.05
sectorización	10			11			12				13			
diaclasas														
fallas														
diques														
planos de diaclasas y fallas														
litología	andesita	andesita	andesita	andesita	andesita	andesita	andesita	andesita	andesita	andesita	andesita/lutita	lutita/arenisca	andesita	andesita
alteración	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica
agua	0.010	0.010	0.058	0.003	0.0941	0.0013	0.0059	0.0001	0.0004	0.1408	0.0167	0.006	0.184	0.693
coberturas	326.617	334.478	335.971	331.732	321.0058	305.6558	293.9036	274.5175	253.4900	230.7675	209.4542	181.863	150.930	128.057
tamaño de bloque	3.00	3.25	4.4	5.2	5.61	5.28	5.19	5.23	4.81	4.52	4.46	4.15	4.61	3.95
grafico														
% clase de roca	I= 0% II= 0% III=100% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 0% III=100% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 91,67% III=8,33% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 100% III=0% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 91,67% III=8,33% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 100% III=0% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 64,29% III=35,71% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 100% III=0% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 38,46% III=61,54% IV= 0% V= 0%					
cobertura	326.62	334.48	335.97	331.73	321.01	305.66	293.90	274.52	253.49	230.77	209.45	181.86	150.93	128.06
cobertura por tramos	332.36			319.46			263.17				167.58			
esfuerzo vertical	19.637			18.974			16.118				11.22			
esfuerzo horizontal	19.6319			19.0378			16.4786				12.0934			

tramos cada 50 m	tramo 39	tramo 40	tramo 41	tramo 42	tramo 43	tramo 44	tramo 45	tramo 46	tramo 47	tramo 48	tramo 49	tramo 50	tramo 51	tramo 52	tramo 53
pk inicial	130224.82	130170.08	130118.75	130065.1	130008.8	129956.25	129903.46	129849.31	129793.23	129741.61	129685.68	129631.53	129580.2	129529.1	129477.6
pk final	130174.51	130123.12	130068.9	130013.28	129960.22	129906.93	1298540.3	129797.89	129745.99	129690.79	129635.58	129582.29	129530.1	129478.98	129456.7
sectorización	14					15						16	17		
diaclasas															
fallas															
diques															
planos de diaclasas y fallas															
litología	andesita	andesita	andesita	andesita	andesita/brecha	corneana	corneana	corneana/andesita	andesita	andesita	andesita	andesita	andesita	toba/andesita	toba/andesita
alteración	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	propilitica	silice	silice	propilitica	Ox.Fe/Arc	Ox.Fe/Arc	Ox.Fe/Arc	Ox.Fe/Arc-propilitica	propilitica/argilica	argilica	argilica
agua	0.008	0.003	0.123	0.527	0.024	0.042	0.029	0.023	0	0	0	0.0004	0	0	0
cobeturas	133.373	115.703	98.586	104.712	93.540	74.295	81.281	94.462	72.0833333	96	73	51.4938	34.613	29.6964194	16.1825
tamaño de bloque	4.92	4.64	4.43	5.56	5.41	4.73	4.58	6.52	6.79	5.44	5.91	4.93	1.64	1.33	0.84
grafico															
% clase de roca	I= 0% II= 92,31% III= 7,69 % IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 100% III= 0 % IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 73,33% III= 26,67% IV= 0% V= 0%	I= 0% II= 12,5% III= 81,25% IV= 6,25% V= 0%	I= 0% II= 0% III= 0 % IV= 78,57% V= 21,43%	I= 0% II= 0% III= 100 % IV= 16,13% V= 83,87%	I= 0% II= 0% III= 0% IV= 0% V= 100%								
cobertura	133.37	115.70	98.59	104.71	93.54	74.29	81.28	94.46	72.08	96.36	72.53	51.49	34.61	29.70	16.18
cobertura por tramos	109.18					81.83						51.49	26.83		
esfuerzo vertical	8.28					6.887						5.31	4.082		
esfuerzo horizontal	9.446					8.2069						6.79	5.6934		

Figura 24 Sectorización geomecánica del proyecto

11.4 Calibración y comparación de métodos geotécnicos en Conexión peatonal N°2.

Para hacer un correcto modelamiento numérico, se incorpora el sector más desfavorable dentro de todo el TEMII, este sector fue un tramo de la conexión peatonal N°2, esta se ubica cercana al acceso Sur en el Km 130.271 del TEMII como se aprecia en la figura 25. Asociada a una roca andesítica con alteración hidrotermal propilítica.

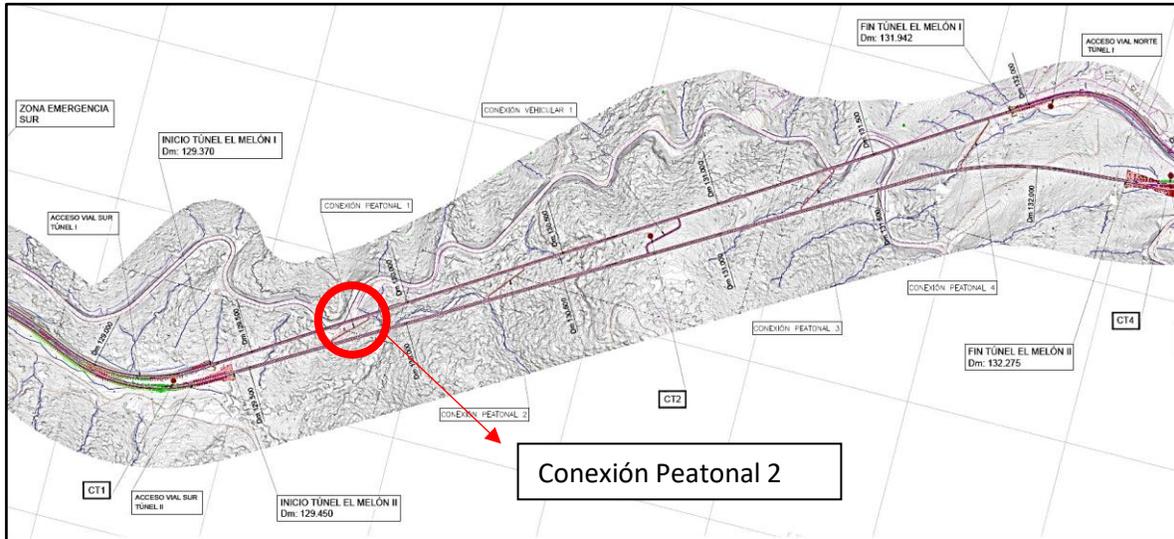


Figura 25 Ubicación conexión peatonal N°2, dentro del TEMII

Esta conexión peatonal posee 144,30 metros de largo y sus dimensiones son de 3,17 metros de alto y 2,92 de ancho. Entre el Pk 28,21 y 24,14, se produjo una sobre excavación de 11,61 m² en la bóveda generando caída de roca, este avance fue mapeado como una andesita alterada hidrotermalmente con una resistencia variable. En la caja izquierda es de débil a moderada resistencia (R2-R3) y en la caja derecha moderadamente resistente a resistente (R3-R4). Estructuralmente el avance estaba dominado por 3 sets de estructuras más diaclasas aleatorias, con una importante zona de debilidad provocada por falla que persiste de mapeos anteriores, la cual afecta fuertemente la bóveda, generando sobre-excavación. Este tramo se clasifico como una roca clase IV.

Por todo lo anteriormente señalado, esta zona servirá de calibración del modelamiento numérico, ya que existe gran cantidad de antecedentes y datos, adicionalmente se le realizó una clasificación a través del método del RMR de Bieniawski de 1989, para comparar los resultados de clasificación de roca, con los utilizados en el TEMII.

Para la realización de modelamiento de esta zona, se separó en tres etapas que se pasan a describir a continuación:

- 1- Sin fortificación con datos extraídos del mapeo geológico de la zona afectada, en la cual se aprecia la sobre-excavación por la acción de la falla.
- 2- Con fortificación instruida en la etapa constructiva que incorpora malla electrosoldada C-111, shotcrete y pernos helicoidales A630-420, de 4 metros de largo y 25 milímetros de diámetro en patrón de 1,2 x1,2.
- 3- Luego de 25 años como se comporta la fortificación instruida en la etapa de construcción. En la figura 26 se aprecian los modelos numéricos y probabilísticos de conexión peatonal N°2 en cada una de las etapas señaladas.

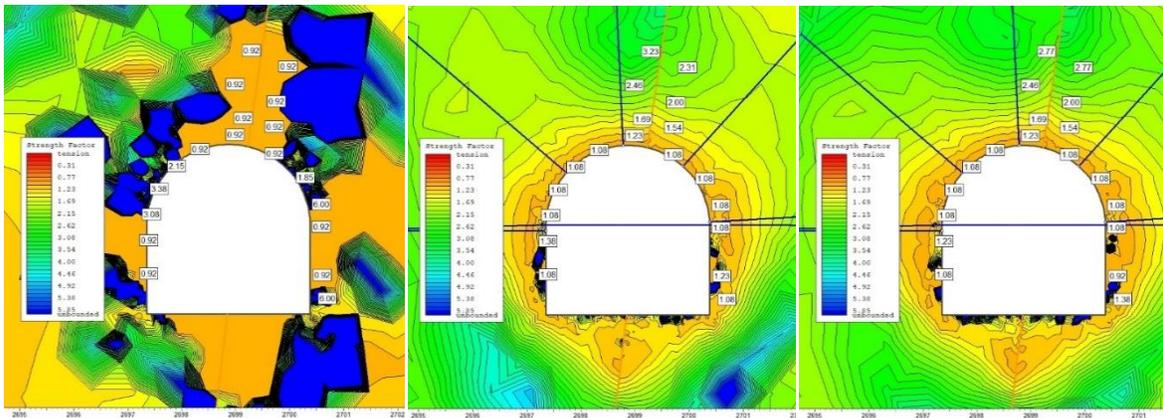


Figura 26 Modelamiento de CP2, Imagen de la izquierda sobreexcavación; imagen central correcta fortificación en etapa constructiva; imagen de la derecha comportamiento de fortificación luego de 25 años

Como se aprecia en la primera imagen se observa una sobre-excavación sobre la bóveda, con valores del factor de seguridad bajo 1, lo que nos indica una pérdida de estabilidad en la bóveda, posteriormente en la imagen central se aprecia las medidas de fortificación implementadas en la etapa constructiva que estabilizan el sector entregando un factor de seguridad sobre 1,23 y luego en la última imagen de la derecha se aprecia que la fortificación luego de 25 años sigue resistiendo prácticamente con los mismo valores que los que se obtuvieron en la etapa constructiva.

Este ejemplo no solo sirvió para una correcta calibración del modelamiento numérico, sino que para cerciorarse de la correcta implementación de las medidas de fortificación en una zona afectada por fallas y caídas de bloques o rocas.

11.5. Comparación de unidades geomecánicas de ingeniería v/s constructivas

Para realizar la comparación entre las unidades geomecánicas de la etapa de ingeniería de detalles y la etapa constructiva, se deben separar en litologías, orientación de estructuras, caudales y clases de roca.

11.5.1 Litología

En cuanto a la litología, en la ingeniería de detalle, se lograron identificar a través de mapeos de superficie e informes del proyecto Túnel Melón I, cinco litologías, andesitas, tobas, brechas, corneanas e intrusivos, además de una zona de alteración hidrotermal. En el informe no se detallan porcentajes cuantitativos, solo se describen y hacen referencia a su ubicación. De esto se concluyó que la andesita se ubicaba en gran parte de la cuesta el Melón, en los sondeos del sector Norte y además que fue protagonista de la gran parte de la excavación del Túnel El Melón I. En cuanto a las tobas y brechas, la sitúan en el acceso y sector Sur de la cuesta, y no entregan una proporción de ella. La roca intrusiva es identificada como granodiorita y la sitúan en pequeños afloramientos en el sector Norte de la cuesta El Melón, en cuanto a las rocas corneanas solo se detalla que se tratan de aureolas de contacto, por la acción de un metamorfismo de contacto de los cuerpos intrusivos y reconocen una zona de alteración hidrotermal, formadora de roca triturada con presencia de arcilla, pero no reconocen ubicación y distribución espacial.

En la etapa constructiva se reconocen siete tipos de litologías distintas, andesita, granodioritas, coneana, brecha, lutita, toba y arenisca. Además de reconocerse tres alteraciones hidrotermales distintas, fílica, propilítica y argílica. Se reconocen los metros y porcentajes de cada litología, y los sectores en los cuales estas estaban emplazadas.

Por lo tanto, en cuanto a la comparación de la litología, en la etapa constructiva fue mucho más detallada, rescatando que, en la etapa de ingeniería de detalle, si logra dar un pronóstico en cuanto a las litologías encontradas y posibles zonas de afloramiento.

11.5.2 Estructuras

En cuanto a las orientaciones de las estructuras, en la etapa de ingeniería de detalle, estas se realizaron a través de mapeos de superficie, identificando fallas y familias de diaclasas. Por otra parte, en la etapa constructiva a través de los mapeos geológicos se identificaron fallas, diques y diaclasas. En ambas etapas las estructuras fueron categorizadas en cuanto a su representatividad, esto se aprecia a continuación en la tabla 12.

Orientación de las estructuras en :		
	Ingeniería de detalles	constructiva
Fallas	N80-120W; N10W-020E	N25W/065SW ; N30W/075NE
Diques	-	N20W/060SW N75W/040SW N25W/025NE N25W/080NE
Diaclasas	N15-020W/045 a 060SW N60-080W/065 a 075SW N15-020E/070 a 080 SW N90-100W/020-030SE	N25W/060SW N30W/050NE N65E/75NW N70W/070SW

Tabla 12 orientaciones de las estructuras en etapas de ingeniería de detalles y construcción

Por lo tanto, en la comparación en las diferentes etapas de ingeniería de detalles y construcción, las estructuras poseen orientaciones muy similares y con una notoria orientación NNW-SSE.

11.5.3 caudales

En cuanto a los caudales en la etapa de ingeniería de detalle, se diferenciaron por litologías, en la cual las rocas volcánicas poseen un caudal de 0,001 a 0,1 l/s, las intrusivas 0,02 a 0,1 l/s y corneanas y zonas de fallas entre 0,3 a 0,8 l/s y pudiendo llegar a 8,1 l/s.

En cambio, en la etapa constructiva se identificaron caudales pequeños, en donde ocho sectores puntuales poseían valores sobre el 1 l/s asociadas a fallas, en rocas volcánicas el promedio del caudal de agua fue de 0,042 l/s, en intrusiva de 0,012 l/s y en rocas corneanas 0,036 l/s. Estos valores se ven representados en la tabla 13.

Valor caudales (l/s) en:		
	Ingeniería de detalles	constructiva
Rocas volcánicas	0,001 a 0,1	0,042
Rocas intrusivas	0,02 a 0,1	0,012
Rocas metamórficas	0,3 a 0,8	0,036
zonas de fallas	hasta 8,1	hasta 1

Tabla 13 Valores caudales (l/s) en etapas de ingeniería de detalles y construcción

No se aprecia una correlación entre los valores de los caudales entre la etapa de ingeniería de detalle y constructiva, debido a hubo una sobreestimación en la etapa de ingeniería de detalla con rangos amplios y desfavorables, esto se puede deber a que se estimó los peores casos posible de caudales dentro de una excavación.

11.5.4 Clases de roca

En cuanto a las clases de roca, en la ingeniería de detalle se identificaron cinco clases (CS), además de su distribución en porcentaje. Para la CS1 se esperaba 0%, CS2 15%, CS3 71%, CS4 13% y CS5 1%. Pero no se proponía en los sectores en la cual iba a predominar cada una de las clases.

En cambio, en la etapa constructiva se tuvo un valor exacto, además de conocer cómo se distribuían dentro del proyecto. Se identificaron cinco clases de roca (R) y sus valores de distribución en porcentaje. Para R1 0%, R2 71,38%, R3 24,13%, R4 2,12 y R5 2,37%.

Por lo tanto, se concluye, que los valores esperados de las clases de roca entre la etapa de ingeniería de detalle y la constructiva no se relacionan, puesto que se generó una sobreestimación en la clase de roca tipo III, en la etapa de ingeniería de detalle. Estos datos se aprecian en la tabla 14.

Porcentaje de clases de roca en etapa:		
	Ingeniería de detalles	Constructiva
CS1 o R1	0%	0%
CS2 o R2	15%	71,38%
CS3 o R3	71%	24,13%
CS4 o R4	13%	2,12%
CS5 o R5	1%	2,37%

Tabla 14 Porcentaje de Clases de roca en etapas de ingeniería de detalle y construcción

Como se logró detallar, las unidades geomecánicas de la etapa constructiva con las de la ingeniería de detalle, solo se asemejan en cuanto a las litologías identificadas y las orientaciones de las estructuras, pero en cuanto a las clases de roca y caudales, no poseen una concordancia, además cabe señalar que los parámetros ocupados tienen diferentes grados de detalles.

En cuanto a la ingeniería de detalle busca predecir el comportamiento, conformación y estimación de las características geológicas y geotécnicas del proyecto, para tener valores y consideraciones futuras, para la etapa constructiva.

La etapa constructiva es certera y confiable en sus datos, ya que los valores son in situ, y no predictores, por lo tanto, el grado de detalle de esta etapa es exacta y precisa.

12. Modelamiento numérico de unidades geomecánicas

La realización del modelamiento numérico se realizó a través del software de RocScience Phase2 8.0, en el cual se incorporó una sección del túnel principal a escala 1:100 en formato DXF, luego se separó en dos etapas, una en fase constructiva, en la cual se establecen los parámetros actuales de la roca, y una segunda etapa pasado 25 años, en la cual los parámetros de la roca decaen, en un 25 %, este porcentaje, se extrae de mapeos geológicos, de los túneles de conexión peatonal y vehicular, en la cual se logró identificar la calidad de la roca en la cercanía del actual túnel El Melón, cabe señalar que este túnel fue inaugurado el año 1995, por lo tanto se tiene una estimación exacta de la calidad de la roca en la actualidad, además se reconoce una similitud en las condiciones de construcción y fortificación.

Para comenzar con el modelamiento en Phase2 8.0, se tuvo que incorporar un borde externo en forma de caja con un valor de 5, además cada sección del proyecto constaba con características litológicas y geotécnicas únicas por lo cual se le debió asignar a cada sección un material distinto, entre las características de cada material se debió ponderar el módulo de Young y coeficiente de Poisson, debido a que cada sección tiene resistencias distintas, estos fueron extraídos desde Salinas. E (Salinas. E, 2018), en todas las secciones se utilizó el criterio de rotura de Hoek-Brown, incorporando parámetros de compresión de roca intacta, M_b y S , sacados desde el programa RocData 3.0.

En el caso del proyecto TEMII, se debe realizar un análisis plástico debido a que los esfuerzos tienden a acomodarse pasado un tiempo. También se le incorporan estructuras como fallas, en el caso que sean necesarias.

Además, se le asignaron 500 interacciones y una tolerancia de 0,01, se le agregaron dos líneas piezométricas, en la primera etapa ubicada sobre la excavación, y en la segunda etapa, este nivel freático se sitúa justo en el centro de la excavación, para presentar el caso más desfavorable.

Luego se le asignó una fortificación característica a cada sector, en la que se incorporó shotcrete con fibra, pernos y marcos livianos, cada uno de ellos con valores de resistencia a la compresión y tensión, estudiados en el proyecto TEMII, estos valores se pueden apreciar en la tabla 16.

Finalmente se incorpora una malla de graduada, con nodos de tres puntas, con un factor de graduación de 0,1 y un número de nodos de 100, se discretiza y se aumenta la densidad en la zona de la excavación, para generar valores con mayor exactitud.

Finalmente se realiza el modelamiento, entregando dos modelos uno a corto plazo y el otro a largo plazo de 25 años, que se interpretan a través de mapas de colores y valores numéricos, el esfuerzo principal, desplazamiento total y factor de fuerzas tensional, estos valores son ploteados y los resultados se aprecian en la tabla 15.

Sectores	Esfuerzo principal (MPa)		Desplazamiento total (m)		Factor de fuerzas tensionales	
	Etapa constructiva	Luego de 25 años	Etapa constructiva	Luego de 25 años	Etapa constructiva	Luego de 25 años
Sector 1	6,86	6,97	0,0013	0,0013	1,65	1,51
Sector 2	6,43	6,43	0,0015	0,0015	1,37	1,28
Sector 3	11,23	11,23	0,0017	0,0017	1,57	1,57
Sector 4	11,78	11,74	0,0017	0,0017	1,65	1,62
Sector 5	10,16	10,16	0,0017	0,0017	1,52	1,54
Sector 6	13,85	13,54	0,0016	0,0016	1,79	1,79
Sector 7	15,86	17,66	0,0019	0,0019	1,88	1,82
Sector 8	21,49	20,08	0,0021	0,0023	1,94	1,80
Sector 9	25,38	26,04	0,0024	0,0024	2,00	1,90
Sector 10	10,70	9,29	0,0075	0,0077	1,28	1,23
Sector 11	24,75	23,84	0,0036	0,0035	1,64	1,55
Sector 12	20,97	20,28	0,0031	0,0031	1,76	1,69
Sector 13	12,44	11,93	0,0030	0,0052	1,37	1,29
Sector 14	12,78	12,75	0,0016	0,0016	1,86	1,70
Sector 15	12,12	12,09	0,0015	0,0015	1,72	1,62
Sector 16	8,96	8,94	0,0017	0,0017	1,60	1,55
Sector 17	0,30	0,43	0,0504	0,0504	1,67	1,66

Tabla 15 Valores promedio de Modelamiento numérico y probabilístico, TEMII

En esta tabla se observan, los valores numéricos, tanto de la etapa a corto plazo, como a largo plazo, de los 17 sectores geomecánico diferentes, comenzando desde portal norte a sur. Estos valores se extrajeron en un radio de 4 metros desde la excavación, para cada promedio, tanto de esfuerzo principal, desplazamiento total y factor de fuerzas tensionales obtenido tanto en etapa constructiva, como luego de 25 años, se incorporaron entre 50 a 66 valores numéricos, por lo tanto, se contó con más de 5.100 números, representativos para el proyecto TEMII.

Resistencia de la fortificación en MN	Sectores	Pernos	Shotcrete
	1	0,087	2,41
	2	0,092	1,42
	3	0,030	3,09
	4	0,030	5,07
	5	0,025	2,88
	6	0,033	2,39
	7	0,043	2,96
	8	0,088	3,43
	9	0,052	8,66
	10	0,097	1,94
	11	0,088	4,99
	12	0,089	3,24
	13	0,097	4,87
	14	0,063	2,08
	15	0,028	2,28
	16	0,076	2,11
	17	0,097	1,30

Tabla 16 Solicitud máxima requerida para pernos y shotcrete, TEMII

En esta tabla adjunto se aprecian los valores máximos de solicitud, tanto de pernos y shotcrete dentro del proyecto TEMII, cabe destacar que ninguna supera la resistencia máxima de cada uno de los materiales.

Finalmente se presenta la tabla 17 compilatoria, en la que se aprecian los 17 sectores geomecánicos definidos, su principal clase de roca, litología y estructuras predominantes, además de los valores promedios del modelamiento numérico y probabilístico y la resistencia de la fortificación.

sector	Clases de roca	Litología	Estructuras	Esfuerzo Principal (MPa)		Desplazamiento total (m)		Factor de seguridad		Resistencia de la fortificación en MN	
				Etapa constructiva	Luego de 25 años	Etapa constructiva	Luego de 25 años	Etapa constructiva	Luego de 25 años	Pernos	shotcrete
1	II	granodiorita	N-S	6,86	6,97	0,0013	0,0013	1,65	1,51	0,087	2,41
2	III	granodiorita	N-S	6,43	6,43	0,0015	0,0015	1,37	1,28	0,092	1,42
3	III	granodiorita	N-S	11,23	11,23	0,0017	0,0017	1,57	1,57	0,030	3,09
4	III	granodiorita	NNW-SSE	11,78	11,74	0,0017	0,0017	1,65	1,62	0,030	5,07
5	II y III	granodiorita/ andesita	NNW-SSE	10,16	10,16	0,0017	0,0017	1,52	1,54	0,025	2,88
6	II	andesita	NNW-SSE	13,85	13,54	0,0016	0,0016	1,79	1,79	0,033	2,39
7	II	andesita	NNW-SSE/ NE-SW	15,86	17,66	0,0019	0,0019	1,88	1,82	0,043	2,96
8	II	andesita/ brecha	NW-SE	21,49	20,08	0,0021	0,0023	1,94	1,80	0,088	3,43
9	II	andesita	NNW-SSE	25,38	26,04	0,0024	0,0024	2,00	1,90	0,052	8,66
10	III	andesita	NNW-SSE	10,70	9,29	0,0075	0,0077	1,28	1,23	0,097	1,94
11	II	andesita	NW-SE	24,75	23,84	0,0036	0,0035	1,64	1,55	0,088	4,99
12	II	andesita	NW-SE	20,97	20,28	0,0031	0,0031	1,76	1,69	0,089	3,24
13	II y III	andesita/ lutita	NNW-SSE	12,44	11,93	0,0030	0,0052	1,37	1,29	0,097	4,87
14	II	andesita	NW-SE	12,78	12,75	0,0016	0,0016	1,86	1,70	0,063	2,08
15	II	corneana/ andesita	NNW-SSE	12,12	12,09	0,0015	0,0015	1,72	1,62	0,028	2,28
16	III	andesita	NNW-SSE	8,96	8,94	0,0017	0,0017	1,60	1,55	0,076	2,11
17	IV y V	andesita/ toba	NNW-SSE	0,30	0,43	0,0504	0,0504	1,67	1,66	0,097	1,30

Tabla 17 Compilación de datos para la sectorización y modelamiento numérico y probabilístico, TEMII

12.1. Modelamiento determinístico para comportamiento de unidades geomecánicas en corto plazo

Cuando el macizo rocoso se encuentra sin excavar las fuerzas tensionales se encuentran en un equilibrio, generando cohesión entre bloques de roca, pero una vez que se ejecuta una excavación, estas fuerzas tensionales, tenderán a acomodarse luego de un tiempo, pero en un corto plazo dichas fuerzas generarán liberación de energía a través de caídas de bloques o cuñas, debido al fracturamiento del macizo por acción de las tronaduras en la etapa constructiva.

El modelamiento a corto plazo hace referencia a determinar el comportamiento de los 17 sectores geomecánicos, en la etapa constructiva del proyecto TEMII, este comportamiento se realiza a través de un análisis plástico del macizo rocoso, debido a que el cuerpo rocoso tendrá una deformación permanente e irreversible.

Para llevar a cabo este modelamiento se ocupa el software de RocScience, Phase2 8.0, el cual se modelo con los parámetros de roca, obtenidos en la etapa constructiva, a través de los mapeos geológicos, además se le asigno una fortificación acorde a la clase de roca, asignando una línea de shotcrete y pernos.

El modelamiento de los 17 sectores geomecánico diferentes dentro del proyecto, se llevaron desde el Portal Norte hasta el Sur, estos fueron interpretados a través de tres conceptos, como son el esfuerzo principal, desplazamiento total y el factor de fuerza tensional o factor de seguridad. Además, se asignaron zonas con requerimiento de, shotcrete o pernos y se agregaron gráficos de barras a pernos y shotcrete para saber las zonas en las que son más requeridos.

Adicionalmente se evaluaron cada uno de los materiales ocupados para la fortificación, entregando gráficos de resistencia, para cada espacio ocupado por el shotcrete, de esta misma manera se analizó cada uno de los pernos ocupados para la fortificación, para saber cuánta resistencia poseían en cada punto y finalmente se analizaron gráficamente las fallas, para saber si generarían algún desplazamiento en un corto plazo.

Por lo tanto, para el análisis a corto plazo se obtuvieron tres modelos numéricos (esfuerzo principal, desplazamiento total y factor de seguridad), y tres gráficos de resistencia, de líneas y puntos (shotcrete, pernos y fallas), para cada uno de los 17 sectores geomecánicos diferentes.

12.2. Modelamiento probabilístico para comportamiento de unidades geomecánicas al largo plazo.

Para comprender el modelamiento a un largo plazo de un cuerpo rocoso, primeramente, se deben conocer las condiciones iniciales y generar un factor probabilístico, debido que se puede generar un aumento o disminución en las condiciones geomecánicas. Además, se debe reconocer que los esfuerzos tensionales luego de un tiempo, en nuestro caso 25 años, se reacomodaran, para entregar una estabilidad en cuanto a las tensiones.

En el proyecto TEMII, se logró mapear y caracterizar túneles de conexiones peatonales y vehiculares que conectaron con el actual Túnel El Melón, con estos datos cercanos a la conexión entre ambos, se pudo identificar la calidad geomecánica del macizo rocoso y como estas fueron afectadas al pasar 25 años desde su construcción y obtener un factor de pérdida de calidad de un 25%, por lo tanto con este dato, a los modelos a corto plazo se le genero una disminución del 25% de su calidad, para dar un indicio del comportamiento a largo plazo. También se logró observar la calidad de la fortificación del actual Túnel El Melón, dando como resultado, una nula disminución de su calidad de resistencia, tanto en shotcrete como pernos.

Al igual que en el modelamiento a corto plazo, se modelaron 17 sectores geomecánicos distintos, desde el portal Norte al Sur, a través del software de RocScience, Phase2 8.0, dándole un factor de disminución del 25% a los datos de la calidad de la roca, ocupada en la etapa de corto plazo. La fortificación como se mencionó anteriormente no se ve afectada pasado 25 años desde su instalación, por lo cual se ocupó la misma fortificación de pernos y shotcrete, ocupa en la etapa de construcción.

La interpretación de los resultados fue a través de tres conceptos, esfuerzo principal, desplazamiento total y factor de fuerza tensional. Además, se asignaron zonas con requerimiento de, shotcrete o pernos, y se le agregaron gráficos de barras a los pernos para saber las zonas en las que eran requeridos.

Adicionalmente se evaluaron cada uno de los materiales ocupados para la fortificación, entregando gráficos de resistencia, para cada espacio ocupado por el shotcrete, de esta misma manera se analizó cada uno de los pernos ocupados para la fortificación, para saber cuánta resistencia poseían en cada punto y finalmente se analizaron gráficamente las fallas, para saber si generarían algún desplazamiento luego de 25 años.

Por lo tanto, para el análisis a largo plazo se obtuvieron tres modelos numéricos (esfuerzo principal, desplazamiento total y factor de seguridad), y tres gráficos de líneas y puntos (shotcrete, pernos y fallas), para cada uno de los 17 sectores geomecánicos diferentes.

13. Conclusiones

El análisis geomecánico, del proyecto TEMII, al conformar la separación de 53 tramos de túnel, cada uno de ellos de 50 metros de largo, estos tramos a su vez fueron separados en 17 sectores con características geomecánicas distintas. Por lo que se concluye que dentro del túnel poseen 17 sectores diferentes unos de otros respecto a su litología, estructuras, caudal, esfuerzos y clase de roca. Se esperaba que los primeros metros de cada portal tanto Norte como Sur fueran los más afectados por los esfuerzos tensionales y meteorización, entregando los peores valores de resistencia.

13.1 Geología

Para analizar cómo se comportar los diferentes sectores se tuvo que hacer un estudio de las características litológicas de cada uno, primeramente las litologías presentes son 7, partiendo desde el portal Norte a Sur, se encuentra, granodiorita muy competente abarca desde el sector 1 al 4, de gran resistencia, poco fracturada y con algunas fallas de orientación NNW-SSE, estas no generan inestabilidad puesto que son de pocos centímetros de espesor y su longitud variaba entre 4 a 7 metros, por otra parte la calidad geotécnica de la roca es de buena calidad clase III, presenta pocas a nula presencia de diques y un bajo caudal de tan solo 0,001 l/s, , en cuanto a su alteración, esta estaba afectada por una silicificación y una alteración fílica, presentando Cuarzo- sericita, en forma de patinas.

Luego se observa una andesita que abarca gran parte del proyecto, esta roca está afectada por estructuras como fallas y diques, la primera con una orientación preferencial NNW-SSE, y secundarias N-S y E-W, y diques andesíticos de gran competencia estos poseían una orientación N-S y E-W. En cuanto a los caudales que afectan esta roca están en un rango desde 0,001 a 0,693 L/s, además de presentar una alteración propilítica, con minerales en patina de clorita, epidota y calcita principalmente. En cuanto a la calidad geotécnica de la roca esta varía entre buena a moderada clasificándose entre roca clase II a clase III. Además esta roca esta intruida por cuerpos brechosos en el sector 8 y 9, que le entrega una mayor competencia geotécnica y también presenta una estratificación sub-horizontal con un paquete sedimentario, de lutita y lentes de arenisca en el sector 13, generando una leve caída en la calidad geotécnica de la roca, además la andesita, es cortada de forma sub-vertical con un halo metamórfico, de roca corneana, que presentaba un alto grado de silicificación, ayudando en la competencia geotécnica de la roca.

Finalmente se aprecia una toba cristalina de ceniza, con un alto grado de meteorización, esta roca es de una baja calidad geotécnica clase IV y V, se aprecian óxidos de cobre en forma de patinas y está afectada por un gran set de fallas de orientación NNW-SSE y NW-SE, no existe presencia de agua.

Al ser modelados y analizados a través de software Phase2 8.0, se ve que los sectores 1 y 17 no poseen un valor adverso, por el contrario, los valores esfuerzos principales poseen una orientación horizontal mayor que la vertical, por su parte en el sector 1, los valores promedio de esfuerzo principal son de 6,86 MPa a corto plazo y a largo plazo de 6,97 MPa, con una disminución de 0,11 MPa, lo cual es mínima, en cuanto a su desplazamiento este fue de tan solo 1,3 milímetros (mm), tanto a corto como a largo plazo, lo cual también es ínfimo, en cuanto al factor de fuerzas tensionales, que hace relación entre resistencia y fuerza, son de 1,65 en etapa constructiva y 1,51 luego de 25 años, estos valores son óptimos y favorables, y hacen referencia a una buena resistencia a la tensión.

Por otra parte, el sector 17, los valores promedio de esfuerzos principales son 0,30 MPa a corto plazo y 0,43 MPa a largo plazo, con una diferencia de 0,15 MPa, estos son los más bajos de todo el proyecto TEMII, por lo cual es un factor favorable en cuanto a la estabilidad. En cuanto al desplazamiento total, en este sector es la más elevada con un valor de 50,4 mm en ambas etapas, esto no es alarmante ni afectara el proyecto, ya que es un desplazamiento mínimo, además esta zona posee una fortificación adicional, que entrega estabilidad en toda la periferia de la excavación. Respecto a el factor de fuerzas tensionales o factor de seguridad los valores son de 1,67 a corto plazo y 1,66 a largo plazo, con una diferencia de 0,01 MPa lo cual es muy bueno para la resistencia a las tensiones ya que se mantendrá prácticamente intacto luego de 25 años.

Por otra parte, la fortificación en ambos sectores es idónea, en el primer sector el requerimiento de los pernos esta entre 0,0036 y 0,087 MN de fuerza, y el shotcrete entre 0,18 y 2,41 MN, estos valores están entre los valores de resistencia óptimas para la resistencia de los materiales.

Por lo tanto, al realizar un análisis de cada uno de los parámetros en ambos sectores 1 y 17, se concluye que no son los más afectados del proyecto TEMII, el alto grado de meteorización que afectaba al sector 17 y su baja calidad de roca, fue subsanada de excelente manera en la etapa constructiva, con la fortificación implementada y en el sector 1 que era una buena calidad geotécnica se comporta muy bien, con buenos valores de estabilidad.

13.2 Esfuerzos principales

Del análisis a lo largo de todo el proyecto TEMII el esfuerzo principal, es con una orientación horizontal mayor que la vertical, exceptuando el sector 10, en el cual el esfuerzo vertical, es levemente mayor al horizontal. En los comienzos tanto del portal Norte como Sur, el esfuerzo principal posee un valor menor y a medida que nos acercamos al centro aumenta, esto se debe a la conformación de la cobertura o sobrecarga propia del sector.

Del análisis a corto plazo o etapa constructiva los valores fluctúan entre 0,30 MPa en el sector 17 y 25,38 MPa en el sector 9, y el valor promedio en etapa constructiva, a lo largo de todo el Proyecto es de 13,30 MPa.

En cuanto al análisis a probabilístico a largo plazo o luego de 25 años, los valores fluctúan entre 0,43 MPa en el sector 17 y 26,04 MPa en el sector 9, y el promedio del esfuerzo principal en esta etapa es de 13,14 MPa.

Se observa una leve disminución de 0,16 MPa en promedio de los esfuerzos principales, entre la etapa constructiva y luego de 25 años, esto se debe a que luego de un tiempo los esfuerzos tienden a acomodarse dentro del macizo rocoso. Cabe destacar que ningún esfuerzo es mayor a los 100 MPa, que es el valor de resistencia del shotcrete según el proyecto TEMII.

13.3 Desplazamiento total

Para comprender el desplazamiento que puede existir en el proyecto TEMII, se deben analizar las fallas. Dentro del proyecto se identificaron fallas principales de orientación NNW-SSE, y una secundaria con orientación NW-SE, además se reconoce que principalmente las fallas poseían una dirección paralela al eje del proyecto, por lo tanto, no lograron desestabilizar el macizo rocoso. Al realizar el modelo de las fallas en cada una de las 17 sección, se logró interpretar que el desplazamiento es idéntico tanto a un corto como a un largo plazo.

Los valores de desplazamiento total fluctúan entre 1,3 mm en el sector 1 y 50,4 mm en el sector 17, estos valores de desplazamiento son mínimos y no generaran una desestabilidad en el proyecto, lo único que generarían estas fallas sería una anisotropía en la distribución de los esfuerzos.

13.4 Factor de fuerzas tensionales o factor de seguridad

La interpretación de los esfuerzos resultantes verticales y horizontales, en el proyecto fueron obtenidos a través de los gráficos y ecuaciones de Galarce 2014, (Galarce, 2014), en ellos se obtuvieron un cociente de equilibrio entre el esfuerzo vertical y horizontal, que está entre 0,703 a 1, estos valores son adimensional.

Por su parte este factor, es una relación entre la resistencia de la excavación y las fuerzas tensionales, por lo tanto, si el valor es mayor a 1, la excavación se mantendrá estable y valores menos a 1 la excavación será inestable, por lo tanto, este factor es llamado factor de seguridad.

En cuanto a los modelos a corto plazo o etapa constructiva, los valores fluctúan entre 1,28 en el sector 10 y 2,0 en el sector 9, y en promedio a lo largo del proyecto TEMII en la etapa constructiva el factor de seguridad es de 1,67, lo cual supera en 0,67 al valor de seguridad.

Por su parte el análisis probabilístico a largo plazo o luego de 25 años, los valores fluctúan entre 1,23 en el sector 10 y 1,66 en el sector 17, y en promedio a lo largo del proyecto TEMII luego de 25 años el factor de seguridad es de 1,59, lo cual supera en 0,59 al valor de seguridad.

Por lo tanto, en comparación entre la etapa constructiva y luego de 25 años, la diferencia entre los promedios es de solo 0,08. El factor de fuerzas de tensiones, asignándolo como factor de seguridad, refleja que la excavación se mantendrá estable en todos los sectores, que el sector 10, es el que entrega el menor de valor de seguridad, esto se debe a que es el sector con mayor cobertura o sobrecarga del proyecto y que se además se ve afectado por fuerzas principales con una orientación vertical. Cabe destacar que el TEMII posee un valor de seguridad de 1,3, este valor es superado en ambas etapas tanto a corto como a largo plazo.

13.5 Fortificación a corto y largo plazo

Para la interpretación de la fortificación, se realizaron gráficos de fuerza axial vs distancia para los pernos y shotcrete, con eso se logró identificar los pernos y shotcrete más solicitados y si alguno de ellos excede el valor de su resistencia.

En cuanto a los pernos ningún, fue solicitado más de 0,1 MN, los valores más cercanos fueron de 0,097 MN, en el sector 10 y 7, en promedio la solicitud de los pernos es de 0,066 MN.

En cuanto al shotcrete este se comporta de manera uniforme a lo largo de toda la sección, existen leves diferencias, puesto que para cada roca tienen diferentes espesores de shotcrete la resistencia a la fuerza axial esta entre 1,42 y 8,66 MN y el shotcrete resiste hasta 10 MN. Por lo tanto, esta fortificación tendrá una resistencia positiva, tanto a corto como largo plazo.

Finalmente se concluye que tanto como a corto como largo plazo, la excavación se mantendrá estable, la fortificación en la etapa de construcción fue diseñada y pensaba para resistir más de 25 años y la calidad geotécnica de la roca, aunque disminuya en un 25%, resistirá los esfuerzos tensionales y los deslizamientos por las fallas. Además de eso se logró identificar que el sector más desfavorable del proyecto es el sector 10, debido a es el sector con mayor cobertura del proyecto, además el esfuerzo principal es vertical y no horizontal como en los otros sectores, el factor de seguridad es de 1,23, es el más bajo de todas las secciones y es el segundo sector con el mayor desplazamiento con un valor de 7,5 mm, en este sector existe una transición desde roca clase II a Clase III, además se le asocia una falla con orientación NNW-SSE.

14. Recomendaciones constructivas

En cuanto a las recomendaciones, se espera seguir los protocolos del proyecto TEMII, hacer análisis de resistencia de los materiales y generar modelos geomecánicos a corto como a largo plazo. Para así obtener valores numéricos exactos de cómo se comportará el proyecto en un futuro. Se espera que el estudio de caudales sea minucioso, ya para este modelamiento solo se proyecta un nivel piezométrico, pero no se le asigna un caudal real.

La verificación de la continuidad del sello de shotcrete y la correcta instalación de pernos, es primordial para una fortificación a corto y largo plazo.

Se recomienda hacer estudios anuales de resistencia de shotcrete, en laboratorios especializados, además de monitorear las conexiones peatonales y vehicular, que no fueron analizadas en este estudio.

15. Acciones presentes y futuras

- Realizar un análisis hidrogeológico, en la zona de estudio para saber si la construcción del nuevo túnel generó una variación en el nivel freático de la zona, que pueda afectar flora y fauna.
- Efectuar mediciones de deformación y desplazamiento a largo plazo a través de instrumentos instalados al interior del túnel.
- Verificación de la calidad del shotcrete y comprobar si existen futuras grietas que puedan afectar la estabilidad de la fortificación.
- Chequear la fortificación instalada en la etapa de construcción, luego de los 25 años desde la construcción del proyecto TEMII.
- Ejecutar análisis de compresión simple a testigos de shotcrete de todo el interior de la excavación.

16. Referencias

- Bates R., Jackson J. (1980), glossary of geology, 2nd edition, American geological institute, Virginia.
- Bieniawski Z, (1990), Tunnel design by rock mass classifications, Pennsylvania, United States.
- Deere R. (1963), Technical description of rock core for technical purposes.
- Chapman D., Metje, N., & Stärk, A. (2010). Introduction to tunnel construction. New York, USA: Spon Press.
- Figueroa D., Snyder J. (1990). Foreland shortening and crustal balancing in the Andes at 30°S latitude. American Geophysical Union.
- Galarce T, (2014), Modelo de esfuerzos in situ para Chile y su incidencia en el diseño minero subterráneo, Santiago, Chile.
- Hoek E, Brown E, (1980), Estimación de la resistencia de macizo rocoso en la práctica, Queensland, Australia.
- Palmstrom, A. (2005), measurement of correlation between block size and rock quality designation (RQD). Tunnelling and underground space technology.
- Rivano. S (1996), Geología de las hojas Quillota- Portillo, subdirección de Geología.
- Salinas E, (2018), Análisis de propiedades geotécnicas de algunas rocas comunes en Chile, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Using the Q- system (2013), Rock mass classification and support design, NGI, Oslo.

Anexos A: Tabla de datos obtenidos, de los mapeos geológicos TEMII.

Pk	avance	Pk absoluto	litología	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI
132253.14	2.10	2.10	granodiorita	sericitica	2	210	4	2.91	4.6423	0.63	60	3.33	1.00	45.40	50.40	III	0.002	18	168	0.001	4.11	1.00	R1=0	0.700	22.858	52.76
132247.52	5.62	7.72	granodiorita	sericitica	2	210	8	3.11	4.8251	0.65	65	2.71	1.63	49.38	54.38	II	0.002	24	168							
132244.00	3.52	11.24	granodiorita	sericitica	2	210	10.45	3.24	4.937065	0.66	50	2.08	1.25	47.23	52.23	II	0.002	24	168							
132240.50	3.50	14.74	granodiorita	sericitica	2	210	15.278	3.48	5.1577046	0.68	50	2.08	1.25	47.23	52.23	II	0.002	24	168							
132237.80	2.70	17.44	granodiorita	sericitica	2	210	17.5	3.60	5.25925	0.68	60	5.00	3.00	54.41	59.41	II	0.002	12	168							
132233.52	4.28	21.72	granodiorita	sericitica	2	210	21.7	3.81	5.45119	0.70	60	6.67	4.00	56.77	61.77	II	0.001	9	168							
132228.96	4.56	26.28	granodiorita	sericitica	2	210	24.3	3.94	5.57001	0.71	72	8.00	1.20	46.90	51.90	II	0.001	9	168							
132224.60	4.36	30.64	granodiorita	sericitica	2	210	25.87	4.02	5.641759	0.71	50	4.17	1.25	47.23	52.23	II	0.001	12	168							
132221.02	3.58	34.22	granodiorita	sericitica	2	210	28.18	4.14	5.747326	0.72	50	4.17	1.25	47.23	52.23	II	0.001	12	168							
132216.47	4.55	38.77	granodiorita	sericitica	2	210	30.5	4.26	5.85335	0.73	45	3.75	1.13	46.37	51.37	II	0	12	168							
132212.23	4.24	43.01	granodiorita	sericitica	2	210	32.82	4.38	5.959374	0.73	45	3.75	1.13	46.37	51.37	II	0.0025	12	168							
132207.77	4.46	47.47	granodiorita	sericitica	3	210	35.15	4.50	6.065855	0.74	50	4.17	0.83	43.87	48.87	II	0.0025	12	168							
132203.90	3.87	51.34	granodiorita	sericitica	2	210	43.4	4.92	6.44288	0.76	42	3.50	0.70	42.48	47.48	III	0	12	168							
132199.97	3.93	55.27	granodiorita	sericitica	2	155	37.47	4.62	6.171879	0.75	45	3.75	0.50	39.72	44.72	III	0.0025	12	168							
132195.48	4.49	59.76	granodiorita	sericitica	2	155	39.11	4.70	6.246827	0.75	45	7.50	0.75	43.04	48.04	III	0	6	168							
132191.58	3.90	63.66	granodiorita	sericitica	2	155	40.75	4.78	6.321775	0.76	55	4.58	0.46	39.00	44.00	III	0	12	168							
132187.00	4.58	68.24	granodiorita	sericitica	2	155	42.4	4.87	6.39718	0.76	55	4.58	0.46	39.00	44.00	III	0	12	168							
132182.70	4.30	72.54	granodiorita	sericitica	2	155	44	4.95	6.4703	0.76	49	4.08	0.41	38.06	43.06	III	0	12	168							
132178.60	4.10	76.64	granodiorita	sericitica	2	155	44	4.95	6.4703	0.76	50	4.17	0.42	38.22	43.22	III	0.0025	12	168							
132175.19	3.41	80.05	granodiorita	sericitica	2	155	46.14	5.06	6.568098	0.77	55	4.58	0.46	39.00	44.00	III	0.0025	12	168							
132170.09	5.10	85.15	granodiorita	sericitica	2	155	48.23	5.16	6.663611	0.78	50	4.17	0.42	38.22	43.22	III	0	12	168							
132165.87	4.22	89.37	granodiorita	sericitica	2	155	50.33	5.27	6.759581	0.78	50	4.17	0.42	38.22	43.22	III	0.001	12	168							
132161.63	4.24	93.61	granodiorita	sericitica	2	155	52.42	5.38	6.855094	0.78	50	3.33	0.67	42.08	47.08	III	0.001	15	168							
132157.22	4.41	98.02	granodiorita	sericitica	2	155	54.28	5.47	6.940096	0.79	50	3.33	0.67	42.08	47.08	III	0	15	168							
132154.07	3.15	101.17	granodiorita	sericitica	2	155	54.00	5.46	6.9273	0.79	60	4.00	0.40	37.89	42.89	III	0.001	15	168							
132150.95	3.12	104.29	granodiorita	sericitica	2	155	56.14	5.57	7.025098	0.79	73	6.08	0.91	44.65	49.65	III	0	12	168							
132146.28	4.67	108.96	granodiorita	sericitica	2	155	58	5.66	7.1101	0.80	70	5.83	0.88	44.31	49.31	III	0	12	168							
132141.48	4.80	113.76	granodiorita	sericitica	3	85	58	5.66	7.1101	0.80	65	5.42	0.81	43.70	48.70	III	0	12	168							
132137.32	4.16	117.92	granodiorita	sericitica	3	85	59.86	5.76	7.195102	0.80	60	5.00	0.75	43.04	48.04	III	0.001	12	168							
132133.25	4.07	121.99	granodiorita	sericitica	3	85	61.24	5.83	7.258168	0.80	60	4.00	0.60	41.21	46.21	III	0.002	15	168							
132129.08	4.17	126.16	granodiorita	sericitica	3	85	62.63	5.90	7.321691	0.81	65	4.33	0.65	41.87	46.87	III	0.002	15	168							
132125.08	4.00	130.16	granodiorita	sericitica	3	85	64.01	5.97	7.384757	0.81	55	3.67	0.55	40.50	45.50	III	0.001	15	168							
132121.47	3.61	133.77	granodiorita	sericitica	2	85	65.01	6.02	7.430457	0.81	60	4.00	0.60	41.21	46.21	III	0.001	15	168							
132117.71	3.76	137.53	granodiorita	sericitica	2	85	66.3	6.09	7.48941	0.81	40	2.67	0.40	37.89	42.89	III	0.001	15	168							
132113.25	4.46	141.99	granodiorita	sericitica	2	95	66.71	6.11	7.508147	0.81	55	3.67	0.73	42.86	47.86	III	0.0025	15	168							
132108.77	4.48	146.47	granodiorita	sericitica	2	95	68.04	6.18	7.568928	0.82	50	3.33	0.44	38.75	43.75	III	0	15	168							
132105.10	3.67	150.14	granodiorita	sericitica	2	95	69.36	6.24	7.629252	0.82	50	4.17	0.42	38.22	43.22	III	0.0025	12	168							
132100.14	4.96	155.10	granodiorita	sericitica	2	95	70.68	6.31	7.689576	0.82	52	4.33	0.43	38.54	43.54	III	0.003	12	168							
132096.12	4.02	159.12	granodiorita	sericitica	2	155	71.8	6.37	7.74076	0.82	45	3.75	0.50	39.72	44.72	III	0	12	168							
132091.40	4.72	163.84	granodiorita	sericitica	2	155	72.93	6.42	7.792401	0.82	50	3.33	0.44	38.75	43.75	III	0	15	168							
132087.70	3.70	167.54	granodiorita	sericitica	2	155	73.05	6.43	7.797885	0.82	50	3.33	0.67	42.08	47.08	III	0	15	168							
132084.51	3.19	170.73	granodiorita	sericitica	2	155	74.056	6.48	7.8438592	0.83	55	4.58	0.92	44.69	49.69	III	0.001	12	168							
132081.63	2.88	173.61	granodiorita	sericitica	2	155	74.5	6.50	7.86415	0.83	55	3.67	0.73	42.86	47.86	III	0.001	15	168							
132077.34	4.29	177.90	granodiorita	sericitica	2	155	75.9	6.58	7.92813	0.83	55	3.67	0.73	42.86	47.86	III	0.003	15	168							
132074.64	2.70	180.60	granodiorita	sericitica	2	155	76.095	6.59	7.9370415	0.83	50	3.33	0.67	42.08	47.08	III	0.003	15	168							
132070.09	4.55	185.15	granodiorita	sericitica	2	155	77.011	6.63	7.9789027	0.83	55	3.67	0.73	42.86	47.86	III	0.003	15	168							
132066.48	3.61	188.76	granodiorita	sericitica	2	155	77.92	6.68	8.020444	0.83	55	4.58	0.69	42.33	47.33	III	0.004	12	168							
132062.92	3.56	192.32	granodiorita	sericitica	2	155	77.92	6.68	8.020444	0.83	50	4.17	0.42	38.22	43.22	III	0	12	168							
132060.21	2.71	195.03	granodiorita	sericitica	2	155	78.84	6.73	8.062488	0.83	50	4.17	0.42	38.22	43.22	III	0	12	168							
132056.18	4.03	199.06	granodiorita	sericitica	2	155	78.84	6.73	8.062488	0.83	48	4.00	0.27	34.56	39.56	III	0	12	168							
132052.31	3.87	202.93	granodiorita	sericitica	2	155	79.51	6.76	8.093107	0.84	49	4.08	0.41	38.06	43.06	III	0	12	168							
132047.71	4.60	207.53	andesita	sericitica	2	155	80.19	6.79	8.124183	0.84	49	4.08	0.41	38.06	43.06	III	0	12	168							
132044.54	3.17	210.70	granodiorita	sericitica	3	155	80.19	6.79	8.124183	0.84	50	4.17	0.42	38.22	43.22	III	0.004	12	168							
132041.48	3.06	213.76	granodiorita	sericitica	3	155	81.54	6.86	8.185878	0.84	35	2.92	0.29	35.30	40.30	III	0.003	12	168							
132037.11	4.37	218.13	granodiorita	sericitica	3	155	82	6.89	8.2069	0.84	35	2.92	0.29	35.30	40.30	III	0.002	12	168							
132034.04	3.07	221.20	granodiorita	sericitica	3	155	82.1	6.89	8.21147	0.84	30	2.50	0.25	34.03	39.03	III	0	12	168							
132030.71	3.33	224.53	granodiorita	sericitica	3	155	82.63	6.92	8.235691	0.84	35	2.92	0.29	35.30	40.30	III	0	12	168							
132026.96	3.75	228.28	granodiorita	sericitica	3	155	83	6.94	8.2526	0.84	30	2.50	0.25	34.03	39.03	III	0.001	12	168							
132023.72	3.24	231.52	granodiorita	sericitica	3	155	83.3	6.95	8.26631	0.84	35	2.92	0.29	35.30	40.30	III	0.003	12	168							
132020.38	3.34	234.86	granodiorita	sericitica	2	155	83.713	6.97	8.2851841	0.84	45	3.75	0.38	37.36	42.36	III	0	12	168							
132016.27	4.11	238.97	granodiorita	sericitica	2	155	84.26	7.00	8.310182	0.84	45	3.75	0.38	37.36	42.36	III	0	12	168							
132013.51	2.76	241.73	granodiorita	sericitica	2	85	84.26	7.00	8.310182	0.84	47	3.92	0.39	37.71	42.71	III	0.001	12	168							
132009.15	4.36	246.09	granodiorita	sericitica	2	85	84.8	7.03	8.33486	0.84	49	4.08	0.41	38.06	43.06	III	0.002	12	168							
132005.09	4.06	250.15	andesita	propilitica	2	85	85.35	7.06	8.359995	0.84	45	3.00	0.30	35.53	40.53	III	0	15	168							

Pk	avance	Pk absoluto	litologia	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI
132000.87	4.22	254.37	andesita	propilitica	2	85	85.9	7.09	8.38513	0.85	48	4.00	0.40	37.89	42.89	III	0.004	12	168	0.002	5.37	6.00	R1=0	0.849	88.328	46.37
131996.79	4.08	258.45	andesita	propilitica	2	85	86.56	7.12	8.415292	0.85	45	3.75	0.38	37.47	42.47	III	0.004	12	168							
131992.99	3.80	262.25	andesita	propilitica	2	85	86.93	7.14	8.432201	0.85	45	5.00	0.50	39.72	44.72	III	0.001	9	168							
131989.29	3.70	265.95	andesita	propilitica	2	85	87.5	7.17	8.45825	0.85	42.5	4.72	0.47	39.25	44.25	III	0.002	9	168							
131985.30	3.99	269.94	andesita	propilitica	2	85	87.82	7.18	8.4726912	0.85	45	5.00	0.50	39.72	44.72	III	0.002	9	168							
131980.96	4.34	274.28	andesita	propilitica	2	85	88.43	7.21	8.5005682	0.85	40	3.33	0.50	39.72	44.72	III	0	12	168							
131976.76	4.20	278.48	granodiorita	sericitica	2	85	88.83	7.24	8.519031	0.85	38	3.17	0.48	39.30	44.30	III	0	12	168							
131972.13	4.63	283.11	granodiorita	sericitica	2	155	89.235	7.26	8.5375395	0.85	50	5.56	0.56	40.58	45.58	III	0	9	168							
131968.20	3.93	287.04	granodiorita	sericitica	2	155	89.235	7.26	8.5375395	0.85	55	6.11	1.22	47.05	52.05	II	0.001	9	168							
131963.19	5.01	292.05	granodiorita	sericitica	2	155	89.639	7.28	8.5560023	0.85	60	10.00	1.50	48.72	53.72	II	0.001	6	168							
131958.88	4.31	296.36	granodiorita	sericitica	2	155	90.045	7.30	8.5745565	0.85	55	9.17	1.38	48.01	53.01	II	0.001	6	168							
131954.00	4.88	301.24	granodiorita	sericitica	2	155	89.816	7.29	8.5640912	0.85	55	4.58	0.46	39.00	44.00	III	0.002	12	168							
131949.50	4.50	305.74	granodiorita	sericitica	2	155	89.589	7.27	8.5537173	0.85	40	3.33	0.33	36.39	41.39	III	0	12	168							
131944.92	4.58	310.32	granodiorita	sericitica	2	155	89.361	7.26	8.5432977	0.85	35	2.92	0.29	35.30	40.30	III	0.001	12	168							
131940.45	4.47	314.79	granodiorita	sericitica	2	155	89.134	7.25	8.5329238	0.85	40	3.33	0.33	36.39	41.39	III	0.003	12	168							
131936.03	4.42	319.21	granodiorita	sericitica	2	155	88.581	7.22	8.5076517	0.85	30	2.50	0.25	34.03	39.03	III	0.001	12	168							
131931.46	4.57	323.78	granodiorita	sericitica	2	155	88.03	7.19	8.482471	0.85	25	2.78	0.42	38.22	43.22	III	0.001	9	168							
131927.24	4.22	328.00	granodiorita	sericitica	2	155	87.48	7.17	8.4571989	0.85	25	2.08	0.21	32.54	37.54	III	0	12	168							
131922.74	4.50	332.50	granodiorita	sericitica	2	155	87.2	7.15	8.44454	0.85	27.5	2.29	0.23	33.32	38.32	III	0.004	12	168							
131917.90	4.84	337.34	granodiorita	sericitica	2	155	86.926	7.14	8.4320182	0.85	35	2.92	0.44	38.62	43.62	III	0.003	12	168							
131913.82	4.08	341.42	granodiorita	sericitica	2	155	86.2	7.10	8.39884	0.85	35	3.89	0.58	40.93	45.93	III	0.003	9	168							
131909.62	4.20	345.62	granodiorita	sericitica	2	155	85.48	7.06	8.365936	0.84	35	2.92	0.44	38.67	43.67	III	0.003	12	168							
131905.34	4.28	349.90	granodiorita	sericitica	2	155	84.75	7.03	8.332575	0.84	30	2.50	0.50	39.72	44.72	III	0.002	12	168							
131900.87	4.47	354.37	granodiorita	sericitica	2	155	84.8	7.03	8.33486	0.84	40	3.33	0.50	39.72	44.72	III	0.003	12	168							
131896.20	4.67	359.04	granodiorita	sericitica	2	155	83.67	6.97	8.283219	0.84	40	3.33	0.50	39.72	44.72	III	0.003	12	168							
131891.91	4.29	363.33	granodiorita	sericitica	2	155	83.3	6.95	8.26631	0.84	40	3.33	0.67	42.12	47.12	III	0.003	12	168							
131887.27	4.64	367.97	granodiorita	sericitica	2	155	83.1195	6.94	8.25806115	0.84	40	3.33	0.67	42.08	47.08	III	0.005	12	168							
131883.08	4.19	372.16	granodiorita	sericitica	2	155	82.94	6.93	8.249858	0.84	45	3.75	0.75	43.04	48.04	III	0.006	12	168							
131879.65	3.43	375.59	granodiorita	sericitica	2	155	82.3	6.90	8.22061	0.84	45	3.75	0.75	43.04	48.04	III	1.006	12	168							
131874.88	4.77	380.36	granodiorita	sericitica	2	155	82.221	6.90	8.2169997	0.84	45	3.75	0.75	43.04	48.04	III	0.004	12	168							
131871.26	3.62	383.98	granodiorita	sericitica	2	155	81.87	6.88	8.200959	0.84	30	2.50	0.25	34.03	39.03	III	0.008	12	168							
131866.97	4.29	388.27	brecha	sericitica	2	200	81.518	6.86	8.1848726	0.84	35	2.92	0.29	35.30	40.30	III	0.006	12	168							
131862.02	4.95	393.22	brecha	sericitica	2	270	81.167	6.84	8.1688319	0.84	35	2.92	0.29	35.30	40.30	III	0.007	12	168							
131858.06	3.96	397.18	brecha	sericitica	2	270	80.9	6.83	8.15663	0.84	40	3.33	0.33	36.39	41.39	III	0.006	12	168							
131854.00	4.06	401.24	brecha	sericitica	2	200	80.9	6.83	8.15663	0.84	30	2.00	0.20	32.20	37.20	III	0.009	15	168							
131849.83	4.17	405.41	brecha	sericitica	2	200	80.634	6.82	8.1444738	0.84	35	2.92	0.39	37.66	42.66	III	0.009	12	168							
131845.42	4.41	409.82	brecha	sericitica	2	155	80.37	6.80	8.132409	0.84	40	3.33	0.44	38.75	43.75	III	0.008	12	162							
131840.94	4.48	414.30	granodiorita	sericitica	1	155	80.101	6.79	8.1201157	0.84	45	3.75	0.50	39.72	44.72	III	0.005	12	162							
131836.78	4.16	418.46	granodiorita	sericitica	1	200	79.971	6.78	8.1141747	0.84	45	3.75	0.38	37.36	42.36	III	0	12	162							
131832.13	4.65	423.11	granodiorita	sericitica	1	200	79.84	6.78	8.108188	0.84	45	3.75	0.38	37.36	42.36	III	0	12	162							
131827.57	4.56	427.67	granodiorita	sericitica	1	200	79.58	6.76	8.096306	0.84	45	3.75	0.38	37.36	42.36	III	0	12	162							
131823.64	3.93	431.60	granodiorita	sericitica	1	200	79.32	6.75	8.084424	0.83	40	2.67	0.36	36.92	41.92	III	0.005	15	162							
131818.61	5.03	436.63	granodiorita	sericitica	1	200	63.3	5.93	7.35231	0.81	40	3.33	0.44	38.75	43.75	III	0.013	12	162							
131813.90	4.71	441.34	granodiorita	sericitica	1	200	63.71	5.95	7.371047	0.81	40	2.67	0.36	36.92	41.92	III	0.015	15	162							
131809.38	4.52	445.86	granodiorita	sericitica	1	200	63.95	5.97	7.382015	0.81	45	3.75	0.50	39.72	44.72	III	0.028	12	162							
131805.09	4.29	450.15	granodiorita	sericitica	1	200	64.03	5.97	7.385671	0.81	50	5.56	0.83	43.90	48.90	III	0.028	9	162							
131800.80	4.29	454.44	granodiorita	sericitica	1	200	63.93	5.97	7.381101	0.81	53	8.83	1.77	50.07	55.07	II	0.028	6	162							
131796.72	4.08	458.52	granodiorita	sericitica	1	200	63.26	5.93	7.350482	0.81	60	6.67	1.33	47.76	52.76	II	0.028	9	162							
131792.82	3.90	462.42	granodiorita	sericitica	1	200	61.36	5.83	7.263652	0.80	60	5.00	0.75	43.04	48.04	III	0.019	12	162							
131788.25	4.57	466.99	granodiorita	sericitica	1	200	60.24	5.78	7.212468	0.80	65	5.42	1.08	46.06	51.06	II	0.018	12	162							
131784.11	4.14	471.13	granodiorita	sericitica	1	200	58.76	5.70	7.144832	0.80	65	7.22	1.44	48.42	53.42	II	0	9	162							
131779.59	4.52	475.65	granodiorita	sericitica	1	200	57.67	5.65	7.095019	0.80	62	5.17	1.03	45.67	50.67	II	0.005	12	162							
131774.94	4.65	480.30	granodiorita	sericitica	1	200	57.22	5.62	7.074454	0.79	65	5.42	1.08	46.06	51.06	II	0.003	12	162							
131770.55	4.39	484.69	granodiorita	sericitica	1	200	56.79	5.60	7.054803	0.79	65	5.42	1.08	46.06	51.06	II	0.003	12	162							
131765.93	4.62	489.31	andesita	sericitica	1	200	56.00	5.56	7.0187	0.79	65	5.42	0.81	43.70	48.70	III	0.003	12	162							
131761.75	4.18	493.49	andesita	sericitica	2	155	54.11	5.46	6.932327	0.79	60	6.67	1.00	45.40	50.40	III	0.007	9	162							
131757.09	4.66	498.15	andesita	sericitica	2	155	50.56	5.28	6.770092	0.78	60	5.00	1.00	45.40	50.40	III	0	12	162							
131752.87	4.22	502.37	andesita	sericitica	2	155	49.7	5.24	6.73079	0.78	55	4.58</														

Pk	avance	Pk absoluto	litología	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI
131688.56	3.95	566.68	andesita	propilítica	2	200	77.16	6.64	7.985712	0.83	60	10.00	1.33	47.76	52.76	II	0	6	162							
131684.53	4.03	570.71	andesita	propilítica	2	200	81.18	6.85	8.169426	0.84	55	9.17	4.58	57.88	62.88	II	0.004	6	162				R1=0			
131680.48	4.05	574.76	andesita	propilítica	2	200	83.54	6.97	8.277278	0.84	60	10.00	5.00	58.60	63.60	II	0.005	6	159				R2=100			
131676.47	4.01	578.77	andesita	propilítica	2	200	85.69	7.08	8.375533	0.84	65	16.25	8.13	62.58	67.58	II	0.006	4	159				R3=0	0.854	92.214	63.20
131672.54	3.93	582.70	andesita	propilítica	2	200	87.87	7.19	8.475159	0.85	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0.003	6	159				R4=0			
131668.21	4.33	587.03	andesita	propilítica	2	200	90.13	7.30	8.578441	0.85	65	10.83	5.42	59.25	64.25	II	0.003	6	159				R5=0			
131664.48	3.73	590.76	andesita	propilítica	2	200	92.5	7.42	8.68675	0.85	65	16.25	8.13	62.58	67.58	II	0.005	4	159	0.006	11.38	12				
131660.13	4.35	595.11	andesita	propilítica	2	200	94.35	7.52	8.771295	0.86	65	10.83	5.42	59.25	64.25	II	0.014	6	159				R1=0			
131655.49	4.64	599.75	andesita	propilítica	2	200	97.35	7.67	8.908395	0.86	65	10.83	5.42	59.25	64.25	II	0.005	6	159				R2=100			
131650.80	4.69	604.44	andesita	propilítica	2	200	99.74	7.79	9.017618	0.86	65	7.22	3.61	55.93	60.93	II	0.003	9	159				R3=0			
131646.50	4.30	608.74	andesita	propilítica	2	200	101.49	7.88	9.097593	0.87	70	7.78	3.89	56.54	61.54	II	0.008	9	159				R4=0			
131642.50	4.00	612.74	andesita	propilítica	2	200	103.49	7.98	9.188993	0.87	65	10.83	4.06	56.89	61.89	II	0.013	6	159				R5=0			
131638.46	4.04	616.78	andesita	propilítica	2	200	104.29	8.02	9.225553	0.87	65	16.25	6.09	60.22	65.22	II	0.005	4	159				R1=0			
131634.17	4.29	621.07	andesita	propilítica	2	200	104.45	8.03	9.232865	0.87	65	10.83	4.06	56.89	61.89	II	0.019	6	159				R2=100			
131629.94	4.23	625.30	andesita	propilítica	2	200	105.91	8.11	9.299587	0.87	55	6.11	3.06	54.56	59.56	II	0.005	9	159				R3=0			
131625.53	4.41	629.71	andesita	propilítica	2	200	107.12	8.17	9.354884	0.87	75	6.25	3.13	54.74	59.74	II	0	12	159				R4=0			
131621.15	4.38	634.09	andesita	propilítica	2	200	107.1	8.17	9.35397	0.87	75	8.33	4.17	57.10	62.10	II	0	9	159				R5=0			
131617.07	4.08	638.17	andesita	propilítica	2	200	106.73	8.15	9.337061	0.87	75	12.50	6.25	60.43	65.43	II	0.003	6	159				R1=0			
131612.19	4.88	643.05	andesita	propilítica	2	200	107.05	8.16	9.351685	0.87	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0.003	6	158				R2=100			
131608.05	4.14	647.19	andesita	propilítica	2	200	108.85	8.26	9.433945	0.88	65	10.83	5.42	59.25	64.25	II	0.003	6	158				R3=0	0.875	109.071	61.96
131603.80	4.25	651.44	andesita	propilítica	2	200	109.94	8.31	9.483758	0.88	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0.005	6	157				R4=0			
131599.47	4.33	655.77	andesita	propilítica	2	200	110.79	8.36	9.522603	0.88	65	10.83	5.42	59.25	64.25	II	0	6	157				R5=0			
131594.86	4.61	660.38	andesita	propilítica	2	200	111.16	8.37	9.539512	0.88	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0	6	157				R1=0			
131590.56	4.30	664.68	andesita	propilítica	2	185	111.93	8.41	9.574701	0.88	55	6.11	2.29	52.20	57.20	II	0.02	9	157				R2=100			
131587.32	3.24	667.92	andesita	propilítica	2	185	113.22	8.48	9.633654	0.88	60	6.67	2.50	52.91	57.91	II	0.016	9	157				R3=0			
131583.86	3.46	671.38	andesita	propilítica	2	185	113.67	8.50	9.654219	0.88	65	7.22	2.71	53.57	58.57	II	0.016	9	157				R4=0			
131578.90	4.96	676.34	andesita	propilítica	2	185	115.29	8.58	9.728253	0.88	58	6.44	2.42	52.64	57.64	II	0.059	9	157				R5=0			
131574.00	4.90	681.24	andesita	propilítica	2	185	117.15	8.68	9.813255	0.88	58	6.44	2.42	52.64	57.64	II	0.007	9	157				R1=0			
131569.93	4.07	685.31	andesita	propilítica	2	185	119.18	8.78	9.906026	0.89	60	6.67	3.33	55.27	60.27	II	0.007	9	157				R2=100			
131565.71	4.22	689.53	andesita	propilítica	2	185	119.18	8.78	9.906026	0.89	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.075	12	157				R3=0			
131561.28	4.43	693.96	andesita	propilítica	2	185	123.98	9.03	10.125386	0.89	70	7.78	3.89	56.54	61.54	II	0.019	9	157				R4=0			
131556.72	4.56	698.52	andesita	propilítica	2	185	126.13	9.14	10.223641	0.89	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0.006	6	157				R5=0			
131552.81	3.91	702.43	andesita	propilítica	2	185	128.24	9.25	10.320068	0.90	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0.015	6	156				R1=0	0.895	127.840	61.52
131549.10	3.71	706.14	andesita	propilítica	2	185	130.54	9.36	10.425178	0.90	65	10.83	5.42	59.25	64.25	II	0.018	6	156				R2=100			
131545.03	4.07	710.21	andesita	propilítica	2	185	132.68	9.47	10.522976	0.90	65	7.22	3.61	55.93	60.93	II	0.018	9	156				R3=0			
131540.64	4.39	714.60	andesita	propilítica	2	185	136.29	9.66	10.687953	0.90	80	6.67	3.33	55.27	60.27	II	0.015	12	156				R4=0			
131536.37	4.27	718.87	andesita	propilítica	2	155	137.17	9.70	10.728169	0.90	75	8.33	4.17	57.10	62.10	II	0.006	9	156				R5=0			
131532.25	4.12	722.99	andesita	propilítica	2	155	137.85	9.74	10.759245	0.90	80	8.89	4.44	57.63	62.63	II	0.002	9	156				R1=0			
131527.83	4.42	727.41	andesita	propilítica	2	155	138.24	9.76	10.777068	0.91	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0.003	6	156				R2=100			
131523.55	4.28	731.69	andesita	propilítica	2	155	138.82	9.78	10.803574	0.91	75	12.50	6.25	60.43	65.43	II	0.004	6	155				R3=0			
131519.15	4.40	736.09	andesita	propilítica	2	155	139.43	9.82	10.831451	0.91	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0.003	6	155				R4=0			
131514.92	4.23	740.32	andesita	propilítica	2	155	140.2	9.86	10.866664	0.91	75	12.50	6.25	60.43	65.43	II	0.003	6	155				R5=0			
131510.46	4.46	744.78	andesita	propilítica	2	155	141.48	9.92	10.925136	0.91	75	12.50	6.25	60.43	65.43	II	0.003	6	155				R1=0			
131506.30	4.16	748.94	andesita	propilítica	2	155	146.36	10.17	11.148152	0.91	80	13.33	6.67	60.96	65.96	II	0.002	6	155				R2=100			
131502.81	3.49	752.43	andesita	propilítica	2	155	145.29	10.11	11.099253	0.91	80	13.33	6.67	60.96	65.96	II	0.002	6	155				R3=0	0.914	149.311	64.08
131498.89	3.92	756.35	andesita	propilítica	2	155	147.56	10.23	11.202992	0.91	75	12.50	6.25	60.43	65.43	II	0	6	155				R4=0			
131494.84	4.05	760.40	andesita	propilítica	2	155	149.66	10.34	11.298962	0.91	75	12.50	6.25	60.43	65.43	II	0	6	155				R5=0			
131490.27	4.57	764.97	andesita	propilítica	2	155	153.02	10.51	11.452514	0.92	75	12.50	6.25	60.43	65.43	II	0	6	155				R1=0			
131485.98	4.29	769.26	andesita	propilítica	2	155	155.15	10.62	11.549855	0.92	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0	6	155				R2=100			
131482.40	3.58	772.84	andesita	propilítica	2	155	156.25	10.67	11.600125	0.92	70	11.67	5.83	59.86	64.86	II	0.005	6	155				R3=0			
131479.50	2.90	775.74	andesita	propilítica	2	155	157.66	10.75	11.664562	0.92	75	6.25	3.13	54.74	59.74	II	0.005	12	155				R4=0			
131476.55	2.95	778.69	andesita	propilítica	2	155	158.79	10.80	11.716203	0.92	75	6.25	3.13	54.74	59.74	II	0.003	12	155				R5=0			
131473.39	3.16	781.85	andesita	propilítica	2	155	160.69	10.90	11.803033	0.92	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.002	12	155				R1=0			
131470.07	3.32	785.17	andesita	propilítica	2	125	162.02	10.97	11.863814	0.92	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.001	12	155				R2=100			
131466.19	3.88	789.05	andesita	propilítica	3	125	163.95	11.07	11.952015	0.93	70	5.83	2.92	54.18	59.18	II	0	12	155				R3=0			
131462.32																										

Pk	avance	Pk absoluto	litologia	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI	
131356.05	4.45	899.19	andesita	propilítica	2	155	204.91	13.16	13.823887	0.95	68	5.67	2.83	53.94	58.94	II	0.006	12	152								
131351.48	4.57	903.76	andesita	propilítica	2	155	204.91	13.16	13.823887	0.95	73	6.08	3.04	54.52	59.52	II	0.002	12	152				R1=0				
131347.22	4.26	908.02	andesita	propilítica	2	155	205.16	13.17	13.835312	0.95	78	6.50	3.25	55.06	60.06	II	0.011	12	152				R2=100				
131342.72	4.50	912.52	andesita	propilítica	2	155	206.39	13.23	13.891523	0.95	78	6.50	3.25	55.06	60.06	II	0.004	12	152				R3=0	0.953	208.335	60.21	
131338.77	3.95	916.47	andesita	propilítica	2	155	207.17	13.27	13.927169	0.95	73	6.08	3.04	54.52	59.52	II	0.004	12	152				R4=0				
131334.56	4.21	920.68	andesita	propilítica	2	155	207.8	13.30	13.95596	0.95	76	6.33	3.17	54.85	59.85	II	0	12	152				R5=0				
131330.14	4.42	925.10	andesita	propilítica	2	155	208.43	13.33	13.984751	0.95	68	7.56	3.78	56.30	61.30	II	0.003	9	152								
131325.89	4.25	929.35	andesita	propilítica	2	155	208.89	13.36	14.005773	0.95	68	7.56	3.78	56.30	61.30	II	0.005	9	151	0.004	6.25	18					
131321.21	4.68	934.03	andesita	propilítica	2	155	208.73	13.35	13.998461	0.95	63	5.25	2.63	53.31	58.31	II	0.005	12	151								
131317.03	4.18	938.21	andesita	propilítica	2	200	210.89	13.46	14.097173	0.95	68	5.67	2.83	53.94	58.94	II	0.006	12	151								
131312.84	4.19	942.40	andesita	propilítica	2	200	211.09	13.47	14.106313	0.95	76	6.33	3.17	54.85	59.85	II	0.005	12	151								
131308.80	4.04	946.44	andesita	propilítica	2	200	211.8	13.51	14.13876	0.96	70	5.83	4.38	57.50	62.50	II	0.006	12	151								
131304.78	4.02	950.46	andesita	propilítica	2	200	212.19	13.53	14.156583	0.96	70	5.83	4.38	57.50	62.50	II	0	12	151								
131300.75	4.03	954.49	andesita	propilítica	2	200	211.17	13.47	14.109969	0.95	70	5.83	4.38	57.50	62.50	II	0	12	151								
131296.42	4.33	958.82	andesita	propilítica	2	200	211.51	13.49	14.125507	0.96	68	5.67	4.25	57.26	62.26	II	0.002	12	151								
131292.07	4.35	963.17	andesita	propilítica	2	230	211.77	13.51	14.137389	0.96	63	5.25	3.94	56.64	61.64	II	0.001	12	151								
131287.75	4.32	967.49	brecha	propilítica	2	230	212.02	13.52	14.148814	0.96	63	5.25	3.94	56.64	61.64	II	0.002	12	151								
131283.84	3.91	971.40	brecha	propilítica	2	280	211.8	13.51	14.13876	0.96	63	5.25	3.94	56.64	61.64	II	0.002	12	151								
131279.72	4.12	975.52	andesita	propilítica	2	280	212.21	13.53	14.157497	0.96	75	6.25	4.69	58.07	63.07	II	0	12	151								
131275.55	4.17	979.69	andesita	propilítica	2	280	212.74	13.55	14.181718	0.96	80	6.67	5.00	58.60	63.60	II	0	12	151	0.001	5.94	19			0.956	213.008	61.67
131271.36	4.19	983.88	andesita	propilítica	2	280	212.45	13.54	14.168465	0.96	72	6.00	1.50	48.72	53.72	II	0	12	151								
131267.38	3.98	987.86	andesita	propilítica	2	200	213.16	13.58	14.200912	0.96	80	6.67	4.50	57.73	62.73	II	0	12	151								
131262.83	4.55	992.41	andesita	propilítica	2	200	214.21	13.63	14.248897	0.96	72	6.00	3.33	55.27	60.27	II	0	12	151								
131258.30	4.53	996.94	andesita	propilítica	2	200	214.73	13.66	14.272661	0.96	75	6.25	4.50	57.73	62.73	II	0	12	151								
131254.09	4.21	1001.15	andesita	propilítica	2	155	215.62	13.70	14.313334	0.96	73	6.08	4.69	58.07	63.07	II	0.003	12	151								
131249.91	4.18	1005.33	andesita	propilítica	2	155	215.71	13.71	14.317447	0.96	73	6.08	4.56	57.85	62.85	II	0.001	12	151								
131245.70	4.21	1009.54	andesita	propilítica	2	155	215.79	13.71	14.321103	0.96	75	6.25	4.69	58.07	63.07	II	0.005	12	151								
131241.30	4.40	1013.94	andesita	propilítica	2	155	215.94	13.72	14.327958	0.96	73	6.08	4.56	57.85	62.85	II	0	12	151								
131236.70	4.60	1018.54	andesita	propilítica	2	185	215.87	13.71	14.324759	0.96	73	6.08	4.56	57.85	62.85	II	0.006	12	150								
131232.96	3.74	1022.28	andesita	propilítica	2	185	215.76	13.71	14.319732	0.96	76	6.33	4.75	58.18	63.18	II	0	12	150								
131229.18	3.78	1026.06	andesita	propilítica	2	185	216.68	13.76	14.361776	0.96	70	7.78	5.83	59.86	64.86	II	0	9	150								
131225.11	4.07	1030.13	andesita	propilítica	2	185	217.38	13.79	14.393766	0.96	77	6.42	4.81	58.28	63.28	II	0	12	150								
131221.15	3.96	1034.09	brecha	propilítica	2	200	218.4	13.84	14.44038	0.96	74	6.17	4.63	57.96	62.96	II	0	12	150								
131217.45	3.70	1037.79	brecha	propilítica	2	200	218.87	13.87	14.461859	0.96	73	6.08	3.04	54.52	59.52	II	0.006	12	150	0.005	6.30	20			0.959	219.242	61.60
131213.50	3.95	1041.74	brecha	propilítica	2	200	220.08	13.93	14.517156	0.96	75	6.25	3.13	54.74	59.74	II	0.01	12	150								
131209.50	4.00	1045.74	Andesita	propilítica	2	230	221.82	14.02	14.596674	0.96	75	6.25	3.13	54.74	59.74	II	0.011	12	150								
131205.00	4.50	1050.24	Andesita	propilítica	2	230	223.53	14.11	14.674821	0.96	73	6.08	3.04	54.52	59.52	II	0.011	12	150								
131201.50	3.50	1053.74	Andesita	propilítica	2	230	224.23	14.14	14.706811	0.96	70	5.83	2.92	54.18	59.18	II	0.012	12	150								
131197.20	4.30	1058.04	Andesita	propilítica	2	230	225.80	14.22	14.77856	0.96	78	6.50	3.25	55.06	60.06	II	0.012	12	150								
131193.06	4.14	1062.18	Andesita	propilítica	2	230	227.23	14.29	14.843911	0.96	75	6.25	3.13	54.74	59.74	II	0.006	12	150								
131189.03	4.03	1066.21	Andesita	propilítica	2	230	228.04	14.34	14.880928	0.96	77	6.42	3.21	54.96	59.96	II	0.015	12	150								
131184.84	4.19	1070.40	Andesita	propilítica	2	230	230.84	14.48	15.008888	0.96	82	6.83	3.42	55.48	60.48	II	0.055	12	150								
131180.65	4.19	1074.59	Andesita	propilítica	2	230	234.44	14.66	15.173408	0.97	80	6.67	3.33	55.27	60.27	II	0.035	12	150								
131176.58	4.07	1078.66	Andesita	propilítica	2	230	235.97	14.74	15.243329	0.97	85	7.08	5.31	59.09	64.09	II	0.003	12	150								
131172.50	4.08	1082.74	Andesita	propilítica	2	200	237.79	14.83	15.326503	0.97	83	6.92	5.19	58.90	63.90	II	0.006	12	150								
131167.90	4.60	1087.34	Andesita	propilítica	2	200	238.53	14.87	15.360321	0.97	83	6.92	3.46	55.57	60.57	II	0.009	12	150								
131163.95	3.95	1091.29	brecha	propilítica	2	180	239.09	14.90	15.385913	0.97	78	6.50	3.25	55.06	60.06	II	0.006	12	150								
131159.90	4.05	1095.34	brecha	propilítica	2	155	242.00	15.05	15.5189	0.97	80	6.67	3.33	55.27	60.27	II	0.007	12	150								
131155.60	4.30	1099.64	brecha	propilítica	2	155	244.81	15.19	15.647317	0.97	85	7.08	3.54	55.77	60.77	II	0.007	12	150								
131151.57	4.03	1103.67	brecha	propilítica	2	155	246.71	15.29	15.734147	0.97	83	6.92	3.54	55.77	60.77	II	0.006	12	150								
131147.30	4.27	1107.94	brecha	propilítica	2	155	247.61	15.33	15.775277	0.97	83	6.92	3.46	55.57	60.57	II	0.007	12	150								
131143.20	4.10	1112.04	Andesita	propilítica	2	200	245.9	15.25	15.69713	0.97	80	6.67	3.46	55.57	60.57	II	0.008	12	150								
131139.00	4.20	1116.24	Andesita	propilítica	2	230	246	15.25	15.7017	0.97	83	6.92	3.33	55.27	60.27	II	0.006	12	150								
131135.38	3.62	1119.86	brecha	propilítica	2	230	246.92	15.30	15.743744	0.97	80	6.67	3.46	55.57	60.57	II	0.007	12	150								
131131.61	3.77	1123.63	brecha	propilítica	2	230	246.31	15.27	15.715867	0.97	78	6.50	3.33	55.27	60.27	II	0.01	12	150								
131127.17	4.44	1128.07	brecha																								

Pk	avance	Pk absoluto	litología	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI
131027.53	4.45	1227.71	Andesita	propilitica	2	200	288.19	17.40	17.629783	0.99	73	6.08	3.04	54.52	59.52	II	0.017	12	150	0.020	4.94	24	R1=0	0.991	301.236	57.75
131023.26	4.27	1231.98	Andesita	propilitica	2	200	290.26	17.51	17.724382	0.99	68	5.67	2.83	53.94	58.94	II	0.009	12	150							
131018.89	4.37	1236.35	Andesita	propilitica	2	200	292.45	17.62	17.824465	0.99	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.009	12	150							
131014.48	4.41	1240.76	Andesita	propilitica	2	200	295.77	17.79	17.976189	0.99	63	5.25	2.63	53.31	58.31	II	0.009	12	150							
131010.20	4.28	1245.04	Andesita	propilitica	2	200	298.32	17.92	18.092724	0.99	63	5.25	2.63	53.31	58.31	II	0.009	12	150							
131006.00	4.20	1249.24	Andesita	propilitica	2	85	300.73	18.04	18.202861	0.99	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0.011	12	150							
131001.50	4.50	1253.74	Andesita	propilitica	2	85	303.15	18.17	18.313455	0.99	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.011	12	150							
130996.80	4.70	1258.44	Andesita	propilitica	2	85	305.3	18.28	18.41171	0.99	53	4.42	2.21	51.90	56.90	II	0	12	150							
130991.90	4.90	1263.34	Andesita	propilitica	2	85	307.81	18.40	18.526417	0.99	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0.012	12	150							
130987.63	4.27	1267.61	Andesita	propilitica	2	85	309.94	18.51	18.623758	0.99	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0	12	150							
130982.79	4.84	1272.45	Andesita	propilitica	2	85	309.42	18.49	18.599994	0.99	50	4.17	2.08	51.42	56.42	II	0.01	12	150							
130978.28	4.51	1276.96	Andesita	propilitica	2	85	313.49	18.69	18.785993	1.00	48	4.00	2.00	51.08	56.08	II	0.141	12	150							
130973.75	4.53	1281.49	Andesita	propilitica	3	65	315.45	18.79	18.875565	1.00	43	2.87	0.72	42.67	47.67	III	0.096	15	150							
130969.63	4.12	1285.61	Andesita	propilitica	3	65	317.23	18.88	18.956911	1.00	45	3.00	0.56	40.68	45.68	III	0.0356	15	150							
130966.13	3.50	1289.11	Andesita	propilitica	3	65	318.25	18.94	19.003525	1.00	47	3.13	0.59	41.04	46.04	III	0.002	15	150							
130960.79	5.34	1294.45	Andesita	propilitica	3	65	320.52	19.05	19.107264	1.00	40	2.67	0.50	39.72	44.72	III	0	15	150							
130957.56	3.23	1297.68	Andesita	propilitica	3	65	322.55	19.16	19.200035	1.00	45	3.00	0.56	40.68	45.68	III	0	15	150							
130953.80	3.76	1301.44	Andesita	propilitica	3	65	325.82	19.32	19.349474	1.00	41	2.73	0.68	42.28	47.28	III	0	15	150							
130950.57	3.23	1304.67	Andesita	propilitica	3	65	327.78	19.42	19.439046	1.00	48	3.20	0.80	43.57	48.57	III	0	15	150							
130947.04	3.53	1308.20	Andesita	propilitica	3	65	329.44	19.51	19.514908	1.00	43	3.58	0.90	44.50	49.50	III	0	12	150							
130943.30	3.74	1311.94	Andesita	propilitica	3	65	331.71	19.62	19.618647	1.00	43	2.87	0.72	42.67	47.67	III	0	15	150							
130939.80	3.50	1315.44	Andesita	propilitica	3	65	332.7	19.67	19.66389	1.00	40	3.33	0.83	43.90	48.90	III	0	12	150							
130936.10	3.70	1319.14	Andesita	propilitica	3	65	334.04	19.74	19.725128	1.00	40	3.33	0.83	43.90	48.90	III	0	12	150							
130932.10	4.00	1323.14	Andesita	propilitica	3	65	335.37	19.81	19.785909	1.00	38	3.17	0.79	43.48	48.48	III	0	12	150							
130927.64	4.46	1327.60	Andesita	propilitica	3	65	330.29	19.55	19.553753	1.00	33	2.75	0.69	42.33	47.33	III	0	12	150							
130923.18	4.46	1332.06	Andesita	propilitica	3	65	331.49	19.61	19.608593	1.00	35	2.33	0.58	40.98	45.98	III	0	15	150							
130919.17	4.01	1336.07	Andesita	propilitica	3	65	333.12	19.69	19.683084	1.00	42	2.80	0.70	42.48	47.48	III	0	15	150							
130915.28	3.89	1339.96	Andesita	propilitica	3	65	333.58	19.72	19.704106	1.00	45	3.00	0.75	43.04	48.04	III	0	15	150							
130910.85	4.43	1344.39	Andesita	propilitica	3	65	334.55	19.77	19.748435	1.00	48	3.20	0.80	43.57	48.57	III	0	15	150							
130906.44	4.41	1348.80	Andesita	propilitica	3	65	334.49	19.76	19.745693	1.00	55	3.67	0.92	44.69	49.69	III	0.0004	15	150							
130902.50	3.94	1352.74	Andesita	propilitica	3	65	334.35	19.76	19.739295	1.00	48	3.20	0.80	43.57	48.57	III	0.0801	15	150							
130897.60	4.90	1357.64	Andesita	propilitica	3	85	334.18	19.75	19.731526	1.00	45	3.00	0.75	43.04	48.04	III	0.009	15	150							
130892.70	4.90	1362.54	Andesita	propilitica	3	85	334.05	19.74	19.725585	1.00	43	3.58	0.90	44.50	49.50	III	0	12	150							
130888.40	4.30	1366.84	Andesita	propilitica	3	85	333.97	19.74	19.721929	1.00	45	3.75	0.94	44.87	49.87	III	0.013	12	150							
130883.87	4.53	1371.37	Andesita	propilitica	3	85	334.47	19.76	19.744779	1.00	45	3.75	0.94	44.87	49.87	III	0	12	150							
130879.37	4.50	1375.87	Andesita	propilitica	2	85	335.11	19.80	19.774027	1.00	45	3.00	0.75	43.04	48.04	III	0.0003	15	150							
130874.92	4.45	1380.32	Andesita	propilitica	2	115	335.61	19.82	19.796877	1.00	43	2.87	0.72	42.67	47.67	III	0.0082	15	150							
130870.25	4.67	1384.99	Andesita	propilitica	2	115	336.25	19.85	19.826125	1.00	48	3.20	0.80	43.57	48.57	III	0.004	15	150							
130865.47	4.78	1389.77	Andesita	propilitica	2	115	336.86	19.88	19.854002	1.00	45	3.00	0.75	43.04	48.04	III	0	15	150							
130861.35	4.12	1393.89	Andesita	propilitica	2	115	336.88	19.89	19.854916	1.00	65	4.33	1.08	46.06	51.06	II	0	15	150							
130857.18	4.17	1398.06	Andesita	propilitica	2	115	336.68	19.88	19.845776	1.00	65	4.33	1.08	46.06	51.06	II	0.0008	15	150							
130852.94	4.24	1402.30	Andesita	propilitica	2	115	336.32	19.86	19.829324	1.00	66	4.40	1.10	46.18	51.18	II	0.0008	15	150							
130848.62	4.32	1406.62	Andesita	propilitica	2	115	336.05	19.84	19.816985	1.00	67	4.47	1.12	46.30	51.30	II	0	15	150							
130844.25	4.37	1410.99	Andesita	propilitica	2	115	335.92	19.84	19.811044	1.00	68	4.53	1.27	52.11	57.11	II	0	15	150							
130839.82	4.43	1415.42	Andesita	propilitica	2	115	335.96	19.84	19.812872	1.00	68	4.53	1.27	52.11	57.11	II	0	15	150							
130835.38	4.44	1419.86	Andesita	propilitica	2	115	335.84	19.83	19.807388	1.00	61	4.07	2.03	51.22	56.22	II	0	15	150							
130830.66	4.72	1424.58	Andesita	propilitica	2	115	335.79	19.83	19.805103	1.00	67	4.47	2.23	51.99	56.99	II	0.245	15	150							
130825.79	4.87	1429.45	Andesita	propilitica	2	115	335.29	19.80	19.782253	1.00	69	4.60	2.30	52.23	57.23	II	0.241	15	150							
130820.79	5.00	1434.45	Andesita	propilitica	2	115	335.03	19.79	19.770371	1.00	68	4.53	2.27	52.11	57.11	II	0.152	15	150							
130816.18	4.61	1439.06	Andesita	propilitica																						

pk	avance	pk absoluto	litología	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI		
130702.94	4.58	1552.30	Andesita	propilítica	2	165	309.92	18.51	18.622844	0.99	64	5.33	2.67	53.44	58.44	II	0	12	150									
130698.49	4.45	1556.75	Andesita	propilítica	2	165	308.89	18.46	18.575773	0.99	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0	12	150				R1=0					
130693.93	4.56	1561.31	Andesita	propilítica	2	165	308.09	18.42	18.539213	0.99	61	5.08	2.54	53.05	58.05	II	0	12	150				R2=100					
130689.39	4.54	1565.85	Andesita	propilítica	2	165	307.21	18.37	18.498997	0.99	57	4.75	1.78	50.13	55.13	II	0	12	150									
130684.89	4.50	1570.35	Andesita	propilítica	2	125	308.3	18.43	18.54881	0.99	59	4.92	1.84	50.42	55.42	II	0	12	150									
130680.16	4.73	1575.08	Andesita	propilítica	2	125	307.45	18.38	18.509965	0.99	61	5.08	1.91	50.69	55.69	II	0.0064	12	150	0.001	5.28	30		0.993	305.656	57.55		
130675.41	4.75	1579.83	Andesita	propilítica	2	125	302.15	18.11	18.267755	0.99	63	5.25	1.97	50.95	55.95	II	0.0072	12	150				R3=0					
130670.64	4.77	1584.60	Andesita	propilítica	2	125	302.57	18.14	18.286949	0.99	70	5.83	2.92	54.18	59.18	II	0	12	150				R4=0					
130665.96	4.68	1589.28	Andesita	propilítica	2	125	302.75	18.15	18.295175	0.99	68	5.67	2.83	53.94	58.94	II	0.0004	12	150									
130661.65	4.31	1593.59	Andesita	propilítica	2	125	302.92	18.15	18.302944	0.99	70	5.83	2.92	54.18	59.18	II	0.0004	12	150									
130658.04	3.61	1597.20	Andesita	propilítica	2	125	303.67	18.19	18.337219	0.99	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.0012	12	150									
130653.95	4.09	1601.29	Andesita	propilítica	2	125	303.95	18.21	18.350015	0.99	67	5.58	2.79	53.82	58.82	II	0	12	150									
130649.67	4.28	1605.57	Andesita	propilítica	2	125	302.57	18.14	18.286949	0.99	70	5.83	2.92	54.18	59.18	II	0	12	150									
130645.91	3.76	1609.33	Andesita	propilítica	2	125	299.79	17.99	18.159903	0.99	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0	12	150									
130641.72	4.19	1613.52	Andesita	propilítica	2	125	297.16	17.86	18.039712	0.99	63	5.25	2.63	53.31	58.31	II	0	12	150									
130639.38	2.34	1615.86	Andesita	propilítica	2	125	296.32	17.82	18.001324	0.99	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0	12	150				R2=100					
130635.65	4.12	1619.98	Andesita	propilítica	2	125	295.48	17.77	17.962936	0.99	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.025	12	150									
130631.53	4.00	1623.98	Andesita	propilítica	2	125	293.83	17.69	17.887531	0.99	63	5.25	2.63	53.31	58.31	II	0.03	12	150									
130627.53	3.86	1627.84	Andesita	propilítica	2	200	293.27	17.66	17.861939	0.99	67	5.58	2.79	53.82	58.82	II	0.025	12	330				R3=0		0.989	293.904	58.21	
130623.67	3.67	1631.51	Andesita	propilítica	2	230	295.75	17.79	17.975275	0.99	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.0002	12	330									
130620.00	3.71	1635.22	Andesita	propilítica	2	185	292.32	17.61	17.818524	0.99	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.0003	12	330									
130616.29	3.75	1638.97	Andesita	propilítica	2	185	291.27	17.56	17.770539	0.99	63	5.25	2.63	53.31	58.31	II	0.0007	12	330									
130612.54	4.11	1643.08	Andesita	propilítica	2	185	290.49	17.52	17.734893	0.99	59	4.92	2.46	52.78	57.78	II	0.00077	12	330									
130608.43	4.04	1647.12	Andesita	propilítica	2	185	289.27	17.46	17.679139	0.99	63	5.25	2.63	53.31	58.31	II	0.0004	12	330									
130604.39	4.21	1651.33	Andesita	propilítica	2	185	288.62	17.42	17.649434	0.99	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.0004	12	330									
130600.18	4.02	1655.35	Andesita	propilítica	2	185	288.51	17.42	17.644407	0.99	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0	12	330									
130596.16	3.83	1659.18	Andesita	propilítica	2	230	288.68	17.43	17.652176	0.99	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0.0002	12	330									
130592.33	4.26	1663.44	Andesita	propilítica	2	230	285.7	17.28	17.51599	0.99	55	3.67	1.83	50.37	55.37	II	0.0002	15	330									
130588.07	4.06	1667.50	Andesita	propilítica	2	230	284.17	17.20	17.446069	0.99	57	3.80	1.90	50.66	55.66	II	0.0003	15	330									
130584.01	4.35	1671.85	Andesita	propilítica	2	230	282.2	17.10	17.35604	0.99	61	5.08	2.54	53.05	58.05	II	0.0002	12	330									
130579.66	4.13	1675.98	Andesita	propilítica	2	230	280.35	17.00	17.271495	0.98	62	5.17	2.58	53.18	58.18	II	0.0002	12	330									
130575.53	4.18	1680.16	Andesita	propilítica	2	230	277.24	16.84	17.129368	0.98	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.0001	12	330									
130571.35	4.18	1684.34	Andesita	propilítica	2	230	273.11	16.63	16.940627	0.98	77	6.42	3.21	54.96	59.96	II	0.0001	12	329									
130567.17	4.13	1688.47	Andesita	propilítica	2	230	269.23	16.44	16.763311	0.98	77	6.42	3.21	54.96	59.96	II	0	12	329									
130563.04	4.42	1692.89	Andesita	propilítica	2	230	265.44	16.24	16.590108	0.98	75	6.25	3.13	54.74	59.74	II	0	12	329									
130558.62	4.22	1697.11	Andesita	propilítica	2	230	264.11	16.17	16.529327	0.98	66	5.50	2.75	53.70	58.70	II	0	12	328									
130554.40	4.65	1701.76	Andesita	propilítica	2	230	262.81	16.11	16.469917	0.98	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0	12	328									
130549.75	4.15	1705.91	Andesita	propilítica	2	230	261.17	16.02	16.394969	0.98	67	5.58	2.79	53.82	58.82	II	0	12	328									
130545.60	4.20	1710.11	Andesita	propilítica	2	230	259.92	15.96	16.337844	0.98	66	5.50	2.75	53.70	58.70	II	0	12	328									
130541.40	4.40	1714.51	Andesita	propilítica	2	230	259.92	15.96	16.337844	0.98	63	5.25	2.63	53.31	58.31	II	0	12	328									
130537.00	4.00	1718.51	Andesita	propilítica	2	230	259.59	15.94	16.322763	0.98	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0.0001	12	328									
130533.00	4.25	1722.76	Andesita	propilítica	2	230	259.62	15.95	16.324134	0.98	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.0001	12	328									
130528.75	4.35	1727.11	Andesita	propilítica	2	230	258.67	15.90	16.280719	0.98	59	4.92	2.46	52.78	57.78	II	0.0001	12	328									
130524.40	4.20	1731.31	Andesita	propilítica	2	185	257.42	15.83	16.223594	0.98	57	4.75	2.38	52.49	57.49	II	0.0001	12	328									
130520.20	4.60	1735.91	Andesita	propilítica	2	185	256.37	15.78	16.175609	0.98	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0.0001	12	328									
130515.60	4.40	1740.31	Andesita	propilítica	2	185	254.35	15.68	16.083295	0.97	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0.002	12	328									
130511.20	4.02	1744.33	Andesita	propilítica	2	185	252.14	15.56	15.982298	0.97	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0.0007	12	327									
130507.18	4.55	1748.88	Andesita	propilítica	2	185	245.03	15.20	15.657371	0.97	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.0007	12	327									
130502.63	4.17	1753.05	Andesita	propilítica	2	185	245.03	15.20	15.657371	0.97	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0.0004	12	327									
130498.46	4.02	1757.07	Andesita	propilítica	2	200	245.03	15.20	15.657371	0.97	52	4.33	2.17	51.74	56.74	II	0.00042	12	327									
130494.44	4.10	1761.17	Andesita	propilítica	2	185	242.28	15.06	15.531696	0.97	53	4.42	1.10	46.21	51.21	II	0	12	327									
130490.34	4.41	1765.58	Andesita	propilítica	2	155	240.12	14.95	15.432984	0.97	43	3.58	0.90	44.50	49.50	III	0	12	327									
130485.93	4.78	1770.36	Andesita	propilítica	3	155	238.62	14.87	15.364434	0.97	61	5.08	1.91	50.69	55.69	II	0	12	327									
130481.15	4.64	1775.00	Andesita	propilítica	3	155	236.9	14.																				

Pk	avance	Pk absoluto	litología	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI
130385.15	4.04	1870.40	lutita	propilítica	2	85	196.79	12.74	13.452803	0.95	53	4.42	2.21	51.90	56.90	II	0.011	12	325							
130381.11	4.05	1874.45	lutita	propilítica	2	85	195.38	12.67	13.388366	0.95	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0.002	12	325				R1=0			
130377.06	4.20	1878.65	lutita	propilítica	2	85	191.59	12.48	13.215163	0.94	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0	12	325				R2=64,29			
130372.86	4.16	1882.81	lutita	propilítica	2	85	189.64	12.38	13.126048	0.94	58	4.83	1.61	49.31	54.31	II	0.002	12	325				R3=35,71	0.938	181.863	52.87
130368.70	4.25	1887.06	lutita	propilítica	2	85	187.34	12.26	13.020938	0.94	54	4.50	1.50	48.72	53.72	II	0.0004	12	325				R4=0			
130364.45	4.09	1891.15	lutita	propilítica	2	85	185.27	12.15	12.926339	0.94	52	4.33	1.44	48.42	53.42	II	0.011	12	325				R5=0			
130360.36	3.91	1895.06	lutita	propilítica	3	85	182.99	12.04	12.822143	0.94	52	4.33	1.44	48.42	53.42	II	0.014	12	325	0.006	4.15	36				
130356.45	4.13	1899.19	arenisca	propilítica	3	85	180.96	11.93	12.729372	0.94	48	4.00	1.33	47.76	52.76	II	0	12	325							
130352.32	4.33	1903.52	arenisca	propilítica	3	85	178.71	11.82	12.626547	0.94	50	4.17	1.39	48.09	53.09	II	0.002	12	325							
130347.99	3.60	1907.12	arenisca	propilítica	3	85	175.66	11.66	12.487162	0.93	47	3.92	0.98	45.23	50.23	III	0.04	12	325							
130344.39	3.50	1910.62	lutita	propilítica	3	75	173.74	11.57	12.399418	0.93	40	3.33	0.83	43.90	48.90	III	0.0046	12	325							
130340.89	3.40	1914.02	lutita	propilítica	3	75	171.38	11.45	12.291566	0.93	40	3.33	0.83	43.90	48.90	III	0.0004	12	325							
130337.49	3.50	1917.52	lutita	propilítica	3	75	169.8	11.36	12.21936	0.93	45	3.75	0.94	44.87	49.87	III	0	12	325							
130333.99	4.24	1921.76	lutita	propilítica	3	75	166.83	11.21	12.083631	0.93	45	3.75	0.94	44.87	49.87	III	0.0002	12	324							
130329.75	4.12	1925.88	Andesita	propilítica	2	155	164.97	11.12	11.998629	0.93	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.0024	12	324							
130325.63	4.12	1930.00	Andesita	propilítica	2	155	162.78	11.01	11.898546	0.93	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.007	12	324				R1=0			
130321.51	4.36	1934.36	Andesita	propilítica	2	155	160.42	10.89	11.790694	0.92	70	5.83	2.92	54.18	59.18	II	0.006	12	324							
130317.15	3.47	1937.83	Andesita	propilítica	2	155	158.42	10.78	11.699294	0.92	67	5.58	2.79	53.82	58.82	II	0.007	12	324				R2=100			
130313.68	4.56	1942.39	Andesita	propilítica	2	155	156.57	10.69	11.614749	0.92	68	5.67	2.83	53.94	58.94	II	0.61	12	324							
130309.12	4.55	1946.94	Andesita	propilítica	2	155	154.63	10.59	11.526091	0.92	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.61	12	324							
130304.57	3.75	1950.69	Andesita	propilítica	2	155	150.8	10.40	11.35106	0.92	47	3.92	1.96	50.91	55.91	II	0.61	12	324							
130300.82	4.16	1954.85	Andesita	propilítica	2	155	147.09	10.21	11.181513	0.91	48	4.00	2.00	51.08	56.08	II	0.0225	12	324				R3=0	0.916	150.930	56.37
130296.66	4.11	1958.96	Andesita	propilítica	2	155	143.37	10.02	11.011509	0.91	47	3.92	1.96	50.91	55.91	II	0.0225	12	324							
130292.55	4.19	1963.15	Andesita	propilítica	2	155	142.28	9.96	10.961696	0.91	53	4.42	1.66	49.54	54.54	II	0.0225	12	324				R4=0			
130288.36	3.66	1966.81	Andesita	propilítica	2	155	141.29	9.91	10.916453	0.91	48	4.00	1.50	48.72	53.72	II	0.18	12	324							
130284.70	3.80	1970.61	Andesita	propilítica	2	155	140.26	9.86	10.869382	0.91	45	3.75	1.41	48.22	53.22	II	0.285	12	323							
130280.90	4.18	1974.79	Andesita	propilítica	2	155	139.21	9.80	10.821397	0.91	45	3.00	1.13	46.40	51.40	II	0.005	15	323							
130276.72	4.12	1978.91	Andesita	propilítica	2	155	136.5	9.67	10.69755	0.90	48	3.20	1.20	46.90	51.90	II	0.355	15	323							
130272.60	3.70	1982.61	Andesita	propilítica	2	155	136.5	9.67	10.69755	0.90	53	3.53	1.33	47.74	52.74	II	1.86	15	323				R1=0			
130268.90	3.40	1986.01	Andesita	propilítica	2	155	133.42	9.51	10.556794	0.90	58	3.87	1.45	48.45	53.45	II	1.3	15	323							
130265.50	3.97	1989.98	Andesita	propilítica	2	155	130.02	9.34	10.401414	0.90	55	3.67	1.38	48.04	53.04	II	1.755	15	323				R2=38,46			
130261.53	4.12	1994.10	Andesita	propilítica	2	155	125.31	9.10	10.186167	0.89	65	4.33	1.63	49.41	54.41	II	0.005	15	324							
130257.41	3.56	1997.66	Andesita	propilítica	2	155	122.38	8.95	10.052266	0.89	65	4.33	0.81	43.70	48.70	III	0.04	15	324							
130253.85	4.11	2001.77	Andesita	propilítica	2	155	122.24	8.94	10.045868	0.89	58	3.87	0.48	39.44	44.44	III	3.505	15	324				R3=61,54	0.896	128.057	49.33
130249.74	4.22	2005.99	Andesita	propilítica	2	155	122.11	8.93	10.039927	0.89	63	4.20	0.79	43.44	48.44	III	0.005	15	324							
130245.52	4.24	2010.23	Andesita	propilítica	2	155	122.67	8.96	10.065519	0.89	65	4.33	0.81	43.70	48.70	III	0.075	15	324							
130241.28	4.06	2014.29	Andesita	propilítica	2	155	124.57	9.06	10.152349	0.89	68	4.53	0.85	44.07	49.07	III	0.0395	15	324				R4=0			
130237.22	4.85	2019.14	Andesita	propilítica	2	155	127.61	9.21	10.291277	0.90	65	4.33	0.81	43.70	48.70	III	0.0415	15	324							
130232.37	4.32	2023.46	Andesita	propilítica	2	155	130.01	9.34	10.400957	0.90	53	3.53	0.44	38.70	43.70	III	0.0315	15	324							
130228.05	3.23	2026.69	Andesita	propilítica	2	155	131.4	9.41	10.46448	0.90	55	3.67	0.46	39.00	44.00	III	0	15	324				R5=0			
130224.82	4.12	2030.81	Andesita	propilítica	3	155	132.24	9.45	10.502868	0.90	60	5.00	0.63	41.55	46.55	III	0	12	324							
130220.70	4.29	2035.10	Andesita	propilítica	3	155	133.75	9.53	10.571875	0.90	60	5.00	1.88	50.55	55.55	II	0	12	324				R1=0			
130216.41	4.12	2039.22	Andesita	propilítica	3	155	133.75	9.53	10.571875	0.90	63	5.25	1.97	50.95	55.95	II	0	12	324							
130212.29	4.10	2043.32	Andesita	propilítica	3	155	134.18	9.55	10.591526	0.90	55	4.58	2.29	52.19	57.19	II	0	12	325				R2=92,31			
130208.19	3.87	2047.19	Andesita	propilítica	3	155	135.16	9.60	10.636312	0.90	63	5.25	2.63	53.33	58.33	II	0.009	12	325							
130204.32	3.96	2051.15	Andesita	propilítica	3	155	135.54	9.62	10.653678	0.90	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.008	12	325							
130200.36	4.23	2055.38	Andesita	propilítica	3	155	135.22	9.60	10.639054	0.90	56	4.67	2.33	52.34	57.34	II	0.04	12	325				R3=7,69	0.901	133.373	56.18
130196.13	4.00	2059.38	Andesita	propilítica	3	155	135.29	9.60	10.642253	0.90	55	4.58	2.29	52.19	57.19	II	0.0065	12	325							
130192.13	4.54	2063.92	Andesita	propilítica	3	155	135.18	9.60	10.637226	0.90	58	4.83	2.42	52.65	57.65	II	0.0055	12	325							
130187.59	4.03	2067.95	Andesita	propilítica	3	155	134.49	9.56	10.605693	0.90	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.008	12	325				R4=0			
130183.56	4.46	2072.41	Andesita	propilítica	3	155	131.89	9.43	10.486873	0.90	58	4.83	2.42	52.65	57.65	II	0.008	12	325							
130179.10	4.59	2077.00	Andesita	propilítica	3	155	129.7	9.32	10.38679	0.90	55	4.58	1.72	49.85	54.85	II	0.008	12	325							
130174.51	4.43	2081.43	Andesita	propilítica	3	155	127.46	9.21	10.284422	0.90	60	5.00	1.88	50.58	55.58	II	0.009	12	325							
130170.08	4.40	2085.83	Andesita	propilítica	3	155	125.89	9.13	10.212673	0.89	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0.009	12	325							
130165.68	4.05	2089.88	Andesita	propilítica	3	155	124.24	9.04	10.137268	0.89	60	5.00	1.88	50.55	55.55	II	0.009	12	325				R1=0			

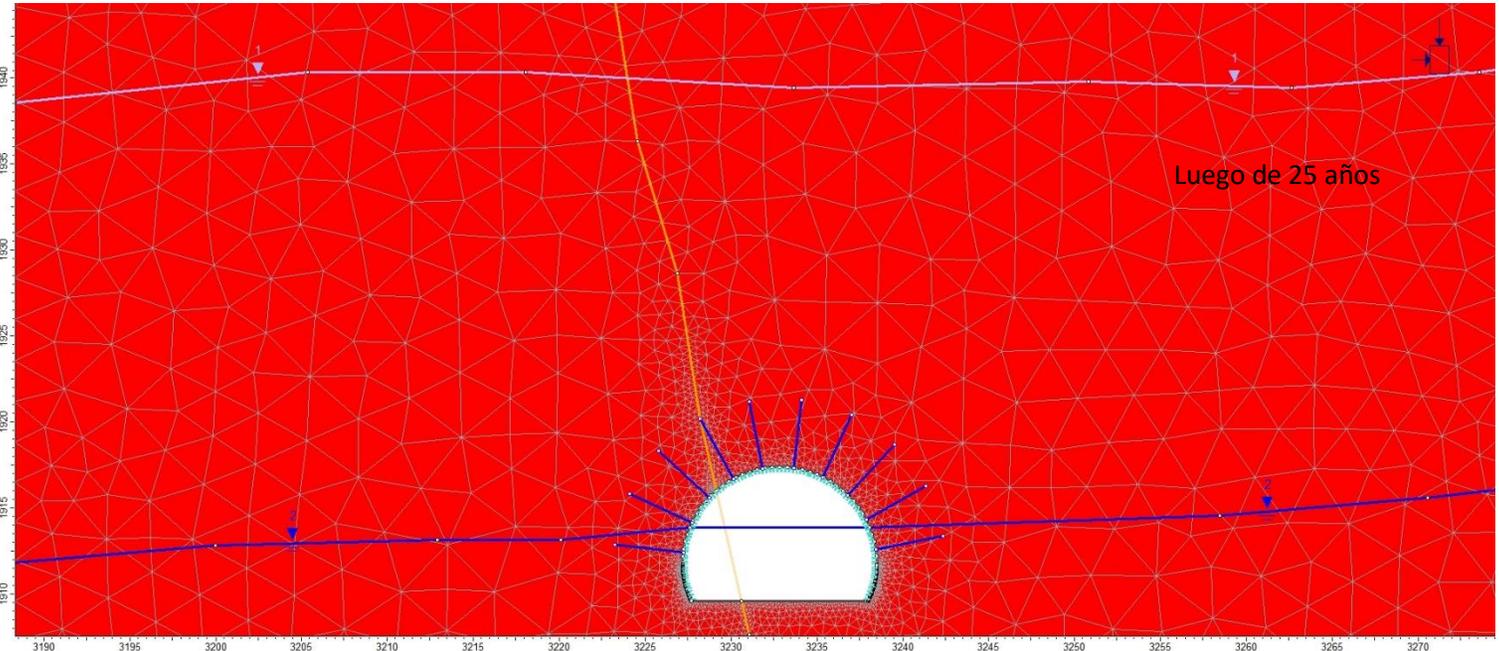
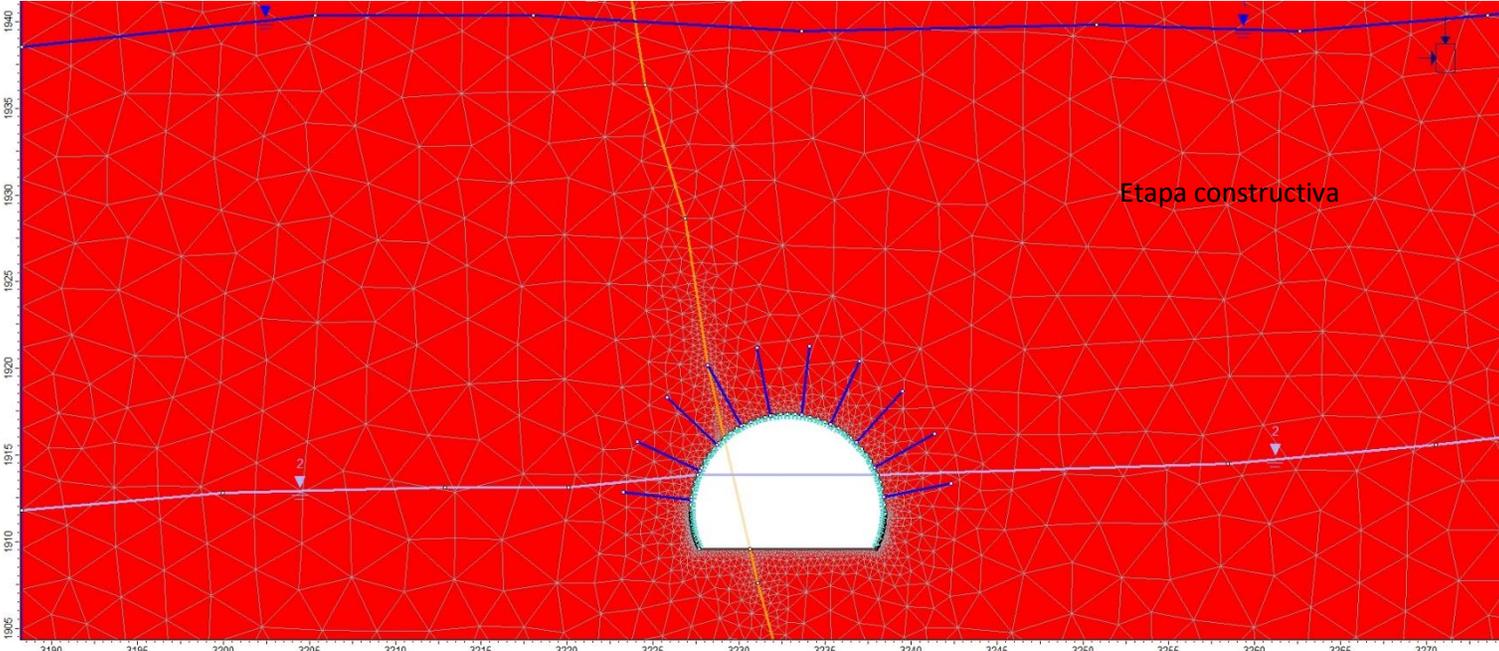
Pk	avance	Pk absoluto	litología	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI
130065.10	4.07	2190.48	Andesita	propilitica	2	155	102.42	7.93	9.140094	0.87	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.0035	12	327	0.527	5.56	42	R1=0	0.870	104.712	60.51
130061.03	3.83	2194.31	Andesita	propilitica	2	155	103.80	8.00	9.20316	0.87	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0.12	12	327							
130057.20	4.70	2199.01	Andesita	propilitica	2	155	104.47	8.03	9.233779	0.87	63	5.25	2.63	53.31	58.31	II	2.85	12	327							
130052.50	4.23	2203.24	Andesita	propilitica	2	155	105.80	8.10	9.29456	0.87	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	2.15	12	327							
130048.27	4.44	2207.68	Andesita	propilitica	2	155	105.46	8.08	9.279022	0.87	80	6.67	3.33	55.27	60.27	II	1.575	12	328							
130043.83	4.32	2212.00	Andesita	propilitica	2	185	105.63	8.09	9.286791	0.87	80	6.67	3.33	55.27	60.27	II	0	12	328							
130039.51	4.34	2216.34	Andesita	propilitica	2	185	105.17	8.07	9.265769	0.87	75	6.25	4.69	58.07	63.07	II	0	12	328							
130035.17	4.09	2220.43	Andesita	propilitica	2	185	105.71	8.10	9.290447	0.87	75	6.25	4.69	58.07	63.07	II	0	12	328							
130031.08	4.65	2225.08	Andesita	propilitica	2	185	105.80	8.10	9.29456	0.87	68	5.67	4.25	57.26	62.26	II	0.05	12	328							
130026.43	4.59	2229.67	Andesita	propilitica	2	185	105.50	8.09	9.28085	0.87	70	5.83	4.38	57.50	62.50	II	0.05	12	328							
130021.84	4.54	2234.21	Andesita	propilitica	2	185	105.09	8.06	9.262113	0.87	65	5.42	4.06	56.89	61.89	II	0.05	12	328							
130017.30	4.02	2238.23	Andesita	propilitica	2	185	103.59	7.99	9.193563	0.87	68	4.53	3.40	55.43	60.43	II	0	15	328							
130013.28	4.48	2242.71	Andesita	propilitica	2	185	102.81	7.95	9.157917	0.87	68	4.53	3.40	55.43	60.43	II	0	15	331							
130008.80	4.00	2246.71	Andesita	propilitica	2	185	101.80	7.90	9.11176	0.87	70	4.67	3.50	55.67	60.67	II	0	15	331							
130004.80	4.70	2251.41	Andesita	propilitica	2	185	101.62	7.89	9.103534	0.87	68	4.53	2.27	52.11	57.11	II	0.0675	15	331							
130000.10	3.72	2255.13	Andesita	propilitica	2	185	100.19	7.81	9.038183	0.86	75	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.0675	15	331							
129996.38	4.40	2259.53	Andesita	propilitica	2	185	98.57	7.73	8.964149	0.86	80	5.33	4.00	56.77	61.77	II	0.05	15	331							
129991.98	4.33	2263.86	Andesita	propilitica	2	185	98.05	7.71	8.940385	0.86	78	5.20	3.90	56.56	61.56	II	0.05	15	331							
129987.65	4.36	2268.22	Andesita	propilitica	2	185	96.84	7.64	8.885088	0.86	78	6.50	3.25	55.06	60.06	II	0.05	12	329							
129983.29	4.47	2272.69	Andesita	propilitica	2	185	93.58	7.48	8.736106	0.86	75	6.25	2.34	52.38	57.38	II	0	12	329							
129978.82	4.87	2277.56	Andesita	propilitica	2	185	91.74	7.38	8.652018	0.85	70	5.83	2.19	51.82	56.82	II	0	12	329							
129973.95	5.12	2282.68	Andesita	propilitica	2	75	90.07	7.30	8.575699	0.85	50	4.17	1.04	45.73	50.73	II	0	12	329							
129968.83	4.99	2287.67	brecha	propilitica	2	85	88.86	7.24	8.520402	0.85	58	4.83	2.42	52.64	57.64	II	0	12	329							
129963.84	3.62	2291.29	brecha	propilitica	2	155	84.14	7.00	8.304698	0.84	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0	12	329							
129960.22	3.97	2295.26	brecha	propilitica	2	185	77.02	6.63	7.979314	0.83	65	7.22	3.61	55.93	60.93	II	0	9	329							
129956.25	4.41	2299.67	corneana	argilica	3	185	77.02	6.63	7.979314	0.83	63	7.00	3.50	55.67	60.67	II	0	9	329							
129951.84	4.06	2303.73	corneana	argilica	3	185	76.8	6.62	7.96926	0.83	58	6.44	3.22	54.99	59.99	II	0	9	329							
129947.78	4.20	2307.93	corneana	argilica	3	185	76.74	6.62	7.966518	0.83	57	6.33	3.17	54.85	59.85	II	0.05	9	329							
129943.58	4.57	2312.50	corneana	argilica	3	185	76.59	6.61	7.959663	0.83	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0.05	12	329							
129939.01	4.28	2316.78	corneana	argilica	3	185	73.7	6.46	7.82759	0.83	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0.05	12	330							
129934.73	3.92	2320.70	corneana	argilica	3	185	71.3	6.34	7.71791	0.82	50	4.17	2.08	51.42	56.42	II	0.05	12	330							
129930.81	4.02	2324.72	Andesita	argilica	3	155	71.17	6.33	7.711969	0.82	45	3.75	1.88	50.55	55.55	II	0.05	12	330							
129926.79	3.83	2328.55	Andesita	argilica	3	155	71.03	6.33	7.705571	0.82	50	4.17	2.08	51.42	56.42	II	0.05	12	330							
129922.96	3.99	2332.54	corneana	argilica	3	185	70.89	6.32	7.699173	0.82	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0.05	12	330							
129918.97	4.21	2336.75	corneana	propilitica	3	185	74.12	6.49	7.846784	0.83	50	4.17	2.08	51.41	56.41	II	0.05	12	330							
129914.76	4.24	2340.99	corneana	propilitica	3	185	74.12	6.49	7.846784	0.83	50	4.17	2.08	51.41	56.41	II	0.05	12	330							
129910.52	3.59	2344.58	Andesita	propilitica	3	155	74.56	6.51	7.866892	0.83	45	3.75	1.88	50.58	55.58	II	0.05	12	330							
129906.93	3.47	2348.05	Andesita	propilitica	3	155	77.79	6.67	8.014503	0.83	45	3.75	1.88	50.58	55.58	II	0.05	12	331							
129903.46	3.61	2351.66	Andesita	propilitica	3	155	80.28	6.80	8.128296	0.84	50	4.17	2.08	51.41	56.41	II	0.05	12	331							
129899.85	3.26	2354.92	Andesita	propilitica	3	155	79.5	6.76	8.09265	0.84	45	3.75	1.41	48.22	53.22	II	0.05	12	331							
129896.59	2.46	2357.38	Andesita	propilitica	3	85	78.63	6.72	8.052891	0.83	40	3.33	1.25	47.23	52.23	II	0.05	12	331							
129894.13	2.60	2359.98	Corneana	Argilica	4	85	78.66	6.72	8.054262	0.83	40	3.33	1.25	47.23	52.23	II	0.05	12	331							
129891.53	4.08	2364.06	Corneana	Argilica	4	85	79.12	6.74	8.075284	0.83	45	3.75	1.41	48.22	53.22	II	0.05	12	333							
129887.45	3.49	2367.55	Corneana	Argilica	4	85	79.69	6.77	8.101333	0.84	50	5.56	2.08	51.41	56.41	II	0.05	9	333							
129883.96	3.66	2371.21	Corneana	Argilica	4	85	81.4	6.86	8.17948	0.84	50	5.56	2.78	53.78	58.78	II	0.05	9	333							
129880.30	4.32	2375.53	Corneana	Argilica	3	155	82.13	6.89	8.212841	0.84	50	5.56	2.78	53.78	58.78	II	0.05	9	333							
129875.98	4.41	2379.94	Corneana	Argilica	3	155	81.82	6.88	8.198674	0.84	50	5.56	2.78	53.78	58.78	II	0	9	333							
129871.57	4.31	2384.25	Corneana	Argilica	3	155	81.48	6.86	8.183136	0.84	55	6.11	3.06	54.56	59.56	II	0	9	333							
129867.26	4.21	2388.46	Corneana	Argilica	3	155	82.24	6.90	8.217868	0.84	45	3.75	1.41	48.20	53.20	II	0	12	333							
129863.05	4.40	2392.86	Corneana	Argilica	3	185	83.58	6.97	8.279106	0.84	50	4.17	2.08	51.42	56.42	II	0	12	333							
129858.65	4.62	2397.48	Corneana	Argilica	3	185	84.79	7.03	8.334403	0.84	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0	12	333							
129854.03	4.72	2402.20	Corneana	Argilica	3	185	84.61	7.02	8.326177	0.84	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0	12	333							
129849.31	4.19	2406.39	Corneana	Argilica	3	185	86.72	7.13	8.422604	0.85	50	4.17	2.08	51.42	56.42	II	0	12	333							
129845.12	3.23	2409.62	Corneana	propilitica	3	155	88.59	7.22	8.508063	0.85	60	6.67	3.33	55.27	60.27	II	0	9	333							
129841.89	3.68	2413.30	Corneana	propilitica	3	155	90.45	7.32	8.593065	0.85	50	4.17	2.08	51.42	56.42	II	0.05	12	333							
129838.21	3.23	2416.53	Corneana	propilitica	3	155	92.14	7.40	8.670298	0.85	70	7.78	3.89	56.54	61.54	II	0.05	9	333							
129834.98	3.15	2419.68	Corneana	propilitica	3	155	93.37	7.47	8.726509	0.86	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.05	12	333							
129831.83	2.92	2422.60	Corneana	propilitica	3	155	95.06	7.55	8.803742	0.86	65	5.42	2.71	53.57	58.57	II	0.05	12	333							
129828.91	3.09	2425.69	Corneana	propilitica	3	155	95.76	7.59	8.835732	0.86	60	5.00	2.50	52.91	57.91	II	0.05	12	333							
129825.82	3.02	2428.71	Corneana	propilitica	3	155	95.6	7.58	8.82842	0.86	50	4.17	2.08	51.42	56.42	II	0.05	12	333							
129822.80	3.67	2432.38	Andesita	propilitica	3	155	96.36	7.62	8.863152	0.86	50	4.17	2.08	51.42	56.42	II	0.05	12	333							
129819.13	3.42	2435.80	Andesita	propilitica	3	155	97.29	7.67	8.905653	0.86	55	4.58	2.29	52.20	57.20	II	0	12	333							
129815.71	4.45	2440.25	Andesita	propilitica	3	155	97.69	7.69	8.923933	0.86	55	9.17	4.58	57.88	62.88	II	0	6	333							
129811.26	4.33	2444.58	Andesita	propilitica	2	155	97.51	7.68	8.915707	0.86	65	10.83	5.42	59.26	64.26	II	0	6	333							
129806.93	4.37	2448.95	Andesita	propilitica	2	85	96.67	7.64	8.877319	0.86	65	10.83	4.06	56.89	61.89	II	0	6								

Pk	avance	Pk absoluto	litologia	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI
129741.61	4.77	2514.67	Andesita	Ox.Fe/Arc	2	85	103.84	8.00	9.204988	0.87	45	7.50	2.50	52.91	57.91	II	0	6	333	0.000	5.44	48	R1=0	0.859	96.362	57.04
129736.84	3.90	2518.57	Andesita	Ox.Fe/Arc	2	85	104.68	8.04	9.243376	0.87	50	4.17	1.56	49.06	54.06	II	0	12	333							
129732.94	4.51	2523.08	Andesita	Ox.Fe/Arc	2	85	104.26	8.02	9.224182	0.87	45	5.00	1.88	50.55	55.55	II	0	9	333							
129728.43	3.29	2526.37	Andesita	Ox.Fe/Arc	2	155	101.3	7.87	9.08891	0.87	45	5.00	1.88	50.55	55.55	II	0	9	333							
129725.14	4.20	2530.57	Andesita	Ox.Fe/Arc	2	155	97.5	7.68	8.91525	0.86	40	4.44	1.67	49.59	54.59	II	0	9	333							
129720.94	4.09	2534.66	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	97.5	7.68	8.91525	0.86	30	3.33	1.25	47.23	52.23	II	0	9	334							
129716.85	4.66	2539.32	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	75	96.1	7.61	8.85127	0.86	35	3.89	1.46	48.49	53.49	II	0	9	334							
129712.19	4.11	2543.43	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	125	95.07	7.55	8.804199	0.86	48	5.33	2.67	53.44	58.44	II	0	9	334							
129708.08	4.03	2547.46	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	93.78	7.49	8.745246	0.86	58	6.44	3.22	54.99	59.99	II	0	9	334							
129704.05	4.55	2552.01	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	92.67	7.43	8.694519	0.85	55	6.11	3.06	54.56	59.56	II	0	9	334							
129699.50	4.70	2556.71	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	90.74	7.33	8.606318	0.85	55	6.11	3.06	54.56	59.56	II	0	9	334							
129694.80	4.01	2560.72	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	88.36	7.21	8.497552	0.85	60	6.67	3.33	55.27	60.27	II	0	9	334							
129690.79	5.11	2565.83	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	86.9	7.14	8.43083	0.85	60	6.67	3.33	55.27	60.27	II	0	9	334							
129685.68	4.56	2570.39	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	85.19	7.05	8.352683	0.84	55	6.11	2.29	52.20	57.20	II	0	9	334							
129681.12	4.31	2574.70	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	83.00	6.94	8.2526	0.84	50	5.56	2.78	53.78	58.78	II	0	9	334							
129676.81	4.61	2579.31	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	81.52	6.86	8.184964	0.84	50	5.56	2.78	53.78	58.78	II	0	9	334							
129672.20	3.82	2583.13	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	80.02	6.79	8.116414	0.84	45	3.75	1.88	50.55	55.55	II	0	12	334							
129668.38	4.29	2587.42	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	77.85	6.68	8.017245	0.83	45	3.75	0.75	43.04	48.04	III	0	12	334							
129664.09	3.09	2590.51	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	74.63	6.51	7.870091	0.83	43	4.78	0.96	45.03	50.03	III	0	9	334							
129661.00	1.58	2592.09	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	72.43	6.40	7.769551	0.82	45	5.00	1.00	45.40	50.40	III	0	9	334							
129659.42	3.36	2595.45	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	70.58	6.30	7.685006	0.82	45	5.00	1.00	45.40	50.40	III	0	9	334							
129656.06	3.51	2598.96	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	69.53	6.25	7.637021	0.82	50	5.56	1.11	46.26	51.26	II	0	9	336							
129652.55	3.09	2602.05	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	67.99	6.17	7.566643	0.82	45	7.50	1.13	46.37	51.37	II	0	6	336							
129649.46	4.02	2606.07	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	67.34	6.14	7.536938	0.81	50	8.33	1.25	47.23	52.23	II	0	6	336							
129645.44	3.77	2609.84	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	67.06	6.13	7.524142	0.81	60	10.00	2.00	51.08	56.08	II	0	6	336							
129641.67	2.25	2612.09	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	65.78	6.06	7.456546	0.81	55	6.11	1.22	47.03	52.03	II	0	9	336							
129639.42	3.84	2615.93	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	63.07	5.92	7.341799	0.81	55	6.11	1.22	47.03	52.03	II	0	9	336							
129635.58	4.05	2619.98	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	61.89	5.86	7.287873	0.80	50	5.56	1.11	46.26	51.26	II	0	9	336							
129631.53	4.59	2624.57	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	61.79	5.86	7.283303	0.80	50	8.33	0.83	43.87	48.87	III	0	6	336							
129626.94	4.39	2628.96	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	60.11	5.77	7.206527	0.80	55	6.11	1.22	47.03	52.03	II	0	9	337							
129622.55	2.99	2631.95	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	58.47	5.69	7.131579	0.80	50	5.56	1.67	49.61	54.61	II	0	9	337							
129619.56	4.09	2636.04	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	155	57.39	5.63	7.082223	0.80	60	5.00	1.00	45.40	50.40	III	0	12	337							
129615.47	4.24	2640.28	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	56.46	5.58	7.039722	0.79	60	5.00	0.75	43.04	48.04	III	0	12	337							
129611.23	4.70	2644.98	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	56.24	5.57	7.029668	0.79	59	4.92	0.74	42.93	47.93	III	0.0035	12	337							
129606.53	3.97	2648.95	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	54.34	5.48	6.942838	0.79	57	4.75	0.71	42.59	47.59	III	0	12	337							
129602.56	3.75	2652.70	Andesita	Ox.Fe/Arc	3	85	50.85	5.30	6.783345	0.78	65	5.42	0.81	43.67	48.67	III	0.0035	12	337							
129598.81	3.15	2655.85	Andesita	propilitica	3	85	50.75	5.29	6.778775	0.78	60	5.00	0.38	37.36	42.36	III	0	12	337							
129595.66	1.52	2657.37	Andesita	propilitica	3	85	48.7	5.19	6.68509	0.78	55	4.58	0.34	36.64	41.64	III	0	12	337							
129594.14	3.09	2660.46	Andesita	propilitica	3	85	47.22	5.11	6.617454	0.77	55	6.11	0.61	41.36	46.36	III	0	9	337							
129591.05	1.90	2662.36	Andesita	propilitica	3	85	46.15	5.06	6.568555	0.77	50	5.56	0.56	40.58	45.58	III	0	9	337							
129589.15	2.16	2664.52	Andesita	propilitica	3	85	45.77	5.04	6.551189	0.77	40	3.33	0.33	36.39	41.39	III	0	12	337							
129586.99	2.35	2666.87	Andesita	propilitica	3	85	44.67	4.98	6.500919	0.77	40	3.33	0.25	34.03	39.03	III	0	12	337							
129584.64	2.35	2669.22	Andesita	propilitica	3	35	43.04	4.90	6.426428	0.76	37	3.08	0.15	30.07	35.07	III	0	12	337							
129582.29	2.09	2671.31	Andesita	propilitica	3	35	41.95	4.84	6.376615	0.76	33	2.75	0.07	23.45	28.45	IV	0	12	337							
129580.20	2.00	2673.31	Andesita	propilitica	3	35	40.86	4.79	6.326802	0.76	30	2.50	0.06	22.66	27.66	IV	0	12	337							
129578.20	2.41	2675.72	Andesita	propilitica	3	35	40.41	4.77	6.306237	0.76	27	2.25	0.06	21.80	26.80	IV	0	12	337							
129575.79	1.84	2677.56	Andesita	propilitica	3	35	38.93	4.69	6.238601	0.75	27	2.25	0.06	21.80	26.80	IV	0	12	337							
129573.95	1.32	2678.88	Andesita	propilitica	3	35	38.21	4.65	6.205697	0.75	27	2.25	0.06	21.80	26.80	IV	0	12	337							
129572.63	1.71	2680.59	Andesita	propilitica	3	35	37.49	4.62	6.172793	0.75	23	1.92	0.05	20.49	25.49	IV	0	12	337							
129570.92	1.70	2682.29	Andesita	propilitica	4	15	37.25	4.60	6.161825	0.75	25	2.08	0.05	21.17	26.17	IV	0	12	337							
129569.22	1.58	2683.87	Andesita	propilitica	4	15	36.51	4.57	6.128007	0.75	28	1.87	0.05	20.27	25.27	IV	0	15	337							
129567.64	2.16	2686.03	Andesita	propilitica	4	15	35.78	4.53	6.094646	0.74	30	2.50	0.06	22.66	27.66	IV	0	12	337							
129565.48	1.82	2687.85	Andesita	argilica	4	15	35.41	4.51	6.077737	0.74	25	1.67	0.04	19.34	24.34	IV	0	15	337							
129563.66	1.45	2689.30	Andesita	argilica	4	15	35.22	4.50	6.069054	0.74	23	1.53	0.04	18.66	23.66	IV	0	15	337							
129562.21	1.14	2690.44	Andesita	argilica	4	15	34.99	4.49	6.058543	0.74	25	1.67	0.04	19.34	24.34	IV	0	15	337							
129561.07	1.79	2692.23	Andesita	argilica	4	15	34.99	4.49	6.058543	0.74	20	1.33	0.03	17.51	22.51	IV	0	15	337							
129559.28	2.39	2694.62	Andesita	argilica	4	15	34.45	4.46	6.033865	0.74	20	1.33	0.03	17.51	22.51	IV	0	15	337							
129556.89	2.41	2697.03	Andesita	argilica	4	15	34.26	4.45	6.025182	0.74	27	1.80	0.05	19.97	24.97	IV	0	15	337							
129554.48	1.93	2698.96	Andesita	argilica	4	15	33.77	4.43	6.002789	0.74	25	1.67	0.04	19.34	24.34	IV	0	15	337							
129552.55	2.21	2701.17	Andesita	argilica	4	15	33.37	4.41	5.984509	0.74	25	1.67	0.04	19.34	24.34	IV	0	15	337							
129550.34	1.56	2702.73	Andesita	argilica	4	15	33.02	4.39	5.968514	0.74	24	1.60	0.04	19.01	24.01	IV	0	15	337							
129548.78	2.47	2705.20	Andesita	argilica	4	15	32.73	4.37	5.955261	0.73	24	1.60	0.04	19.01	24.01	IV	0	15	337							
129546.31	3.47	2708.67	Andesita	argilica	4	15	32.36	4.36	5.938352	0.73	20	1.33	0.04	19.87	24.87	IV	0	15	337							
129542.84	1.68	2710.35	Andesita	argilica	4	15	31.92	4.33	5.918244	0.73	28	1.87	0.06	22.63	27.63	IV	0	15	337							
129541.16	1.81	2712.16	Andesita	argilica	4	15	32.55	4.37	5.947035	0.73	25	1.67	0.06	21.70	26.70	IV	0	15	337							
129539.35	2.16	2714.32	Andesita	argilica	4	15	32.94	4.38	5.964858	0.74	23	1.53</														

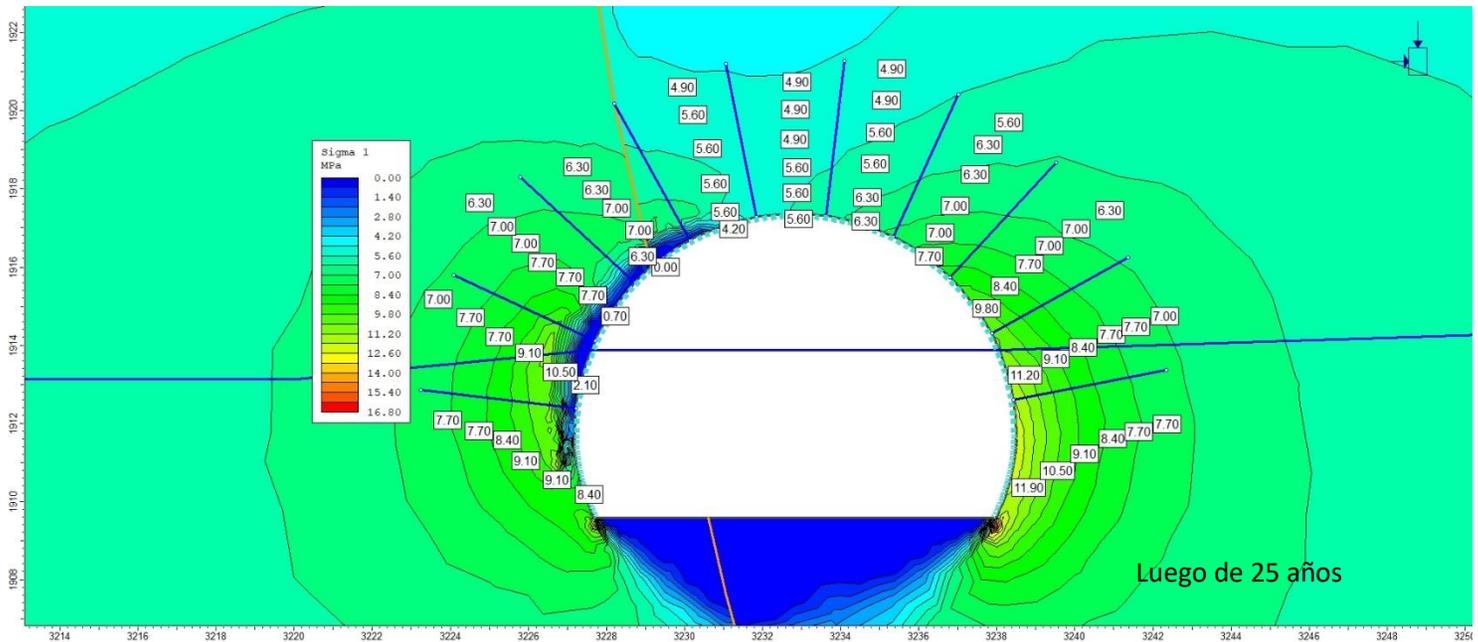
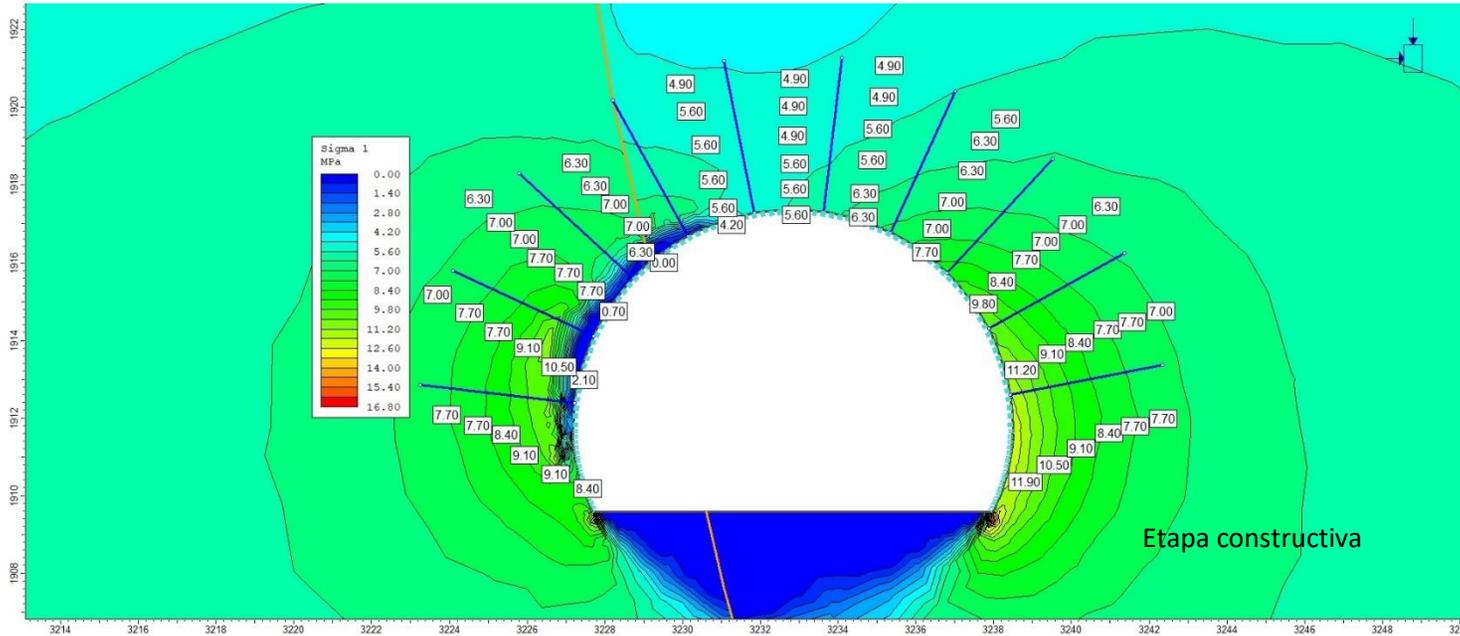
Pk	avance	Pk absoluto	litología	alteración	grado de meteorización	resistencia (Mpa)	cobertura	esfuerzo vertical	esfuerzo horizontal maximo	coeficiente esfuerzos(Galarce,2014)	RQD	Tamaño de bloque	Q de Barton	RMR	GSI	clase roca	agua (l/s)	Jn	azimut	Promedio de agua	Promedio tamaño bloque	tramo	porcentaje de roca	Promedio coeficientes por tramos	promedio de profundidades	Promedio GSI
129529.10	1.21	2723.62	toba	argilica	4	15	28.267	4.15	5.7513019	0.72	20	1.00	0.02	11.83	16.83	V	0	20	335	0.000	1.33	52	R1=0	0.725	29.696	17.70
129527.89	1.40	2725.02	toba	argilica	4	15	29.82	4.23	5.822274	0.73	15	1.00	0.02	11.83	16.83	V	0	15	335							
129526.49	1.19	2726.21	toba	argilica	5	15	29.82	4.23	5.822274	0.73	20	1.00	0.02	11.83	16.83	V	0	20	335							
129525.30	1.36	2727.57	toba	argilica	5	15	29.82	4.23	5.822274	0.73	15	0.75	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129523.94	0.77	2728.34	toba	argilica	5	15	29.82	4.23	5.822274	0.73	15	0.75	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129523.17	1.32	2729.66	toba	argilica	5	15	29.81	4.23	5.821817	0.73	15	0.75	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129521.85	0.84	2730.50	toba	argilica	5	15	29.82	4.23	5.822274	0.73	20	1.00	0.02	11.83	16.83	V	0	20	335							
129521.01	2.83	2733.33	toba	argilica	5	15	30.6	4.27	5.85792	0.73	22	1.10	0.02	12.61	17.61	V	0	20	335							
129518.18	1.90	2735.23	toba	argilica	5	15	31.375	4.31	5.8933375	0.73	20	1.00	0.02	11.83	16.83	V	0	20	335							
129516.28	1.33	2736.56	toba	argilica	5	15	31.375	4.31	5.8933375	0.73	20	1.00	0.02	11.83	16.83	V	0	20	335							
129514.95	1.65	2738.21	toba	argilica	5	15	31.034	4.29	5.877538	0.73	22	1.10	0.02	12.61	17.61	V	0	20	335							
129513.30	3.01	2741.22	Andesita	argilica	5	15	31.034	4.29	5.877538	0.73	23	1.15	0.02	12.97	17.97	V	0	20	335							
129510.29	3.04	2744.26	Andesita	argilica	5	15	31.034	4.29	5.877538	0.73	32	2.67	0.07	23.19	28.19	IV	0	12	335							
129507.25	2.65	2746.91	Andesita	argilica	5	15	30.69	4.27	5.862033	0.73	35	2.92	0.07	23.93	28.93	IV	0	12	335							
129504.60	3.81	2750.72	Andesita	argilica	5	15	30.53	4.26	5.854721	0.73	30	2.50	0.06	22.66	27.66	IV	0	12	335							
129500.79	2.39	2753.11	Andesita	argilica	5	5	30.35	4.25	5.846495	0.73	28	2.33	0.03	16.42	21.42	IV	0	12	335							
129498.40	2.27	2755.38	Andesita	argilica	5	5	30.01	4.24	5.830957	0.73	25	2.08	0.03	15.49	20.49	IV	0	12	335							
129496.13	1.73	2757.11	Andesita	argilica	5	5	30.01	4.24	5.830957	0.73	22	1.47	0.02	12.61	17.61	V	0	15	335							
129494.40	1.94	2759.05	Andesita	argilica	5	5	29.61	4.22	5.812677	0.73	22	1.47	0.02	12.61	17.61	V	0	15	335							
129492.46	0.52	2759.57	Andesita	argilica	5	5	29.61	4.22	5.812677	0.73	22	1.47	0.02	12.61	17.61	V	0	15	335							
129491.94	1.62	2761.19	Andesita	argilica	5	5	29.20	4.19	5.79394	0.72	22	1.47	0.02	12.61	17.61	V	0	15	335							
129490.32	1.95	2763.14	Andesita	argilica	5	5	29.20	4.19	5.79394	0.72	23	1.53	0.02	12.97	17.97	V	0	15	335							
129488.37	1.57	2764.71	Andesita	argilica	5	5	29.20	4.19	5.79394	0.72	20	1.00	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129486.80	1.60	2766.31	andesita	argilica	5	5	29.20	4.19	5.79394	0.72	20	1.00	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129485.20	1.10	2767.41	andesita	argilica	5	5	28.79	4.17	5.775203	0.72	20	1.00	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129484.10	1.85	2769.26	Toba	argilica	5	5	28.79	4.17	5.775203	0.72	20	1.00	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129482.25	0.96	2770.22	Toba	argilica	5	5	28.55	4.16	5.764235	0.72	20	1.00	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129481.29	0.53	2770.75	Toba	argilica	5	5	28.39	4.15	5.756923	0.72	23	1.15	0.01	10.61	15.61	V	0	20	335							
129480.76	1.28	2772.03	Toba	argilica	5	5	28.39	4.15	5.756923	0.72	23	1.15	0.01	10.61	15.61	V	0	20	335							
129479.48	0.50	2772.53	Toba	argilica	5	5	28.39	4.15	5.756923	0.72	25	1.25	0.02	11.30	16.30	V	0	20	335							
129478.98	1.38	2773.91	Toba	argilica	5	5	28.05	4.14	5.741385	0.72	25	1.25	0.02	11.30	16.30	V	0	20	335							
129477.60	1.14	2775.05	Toba	argilica	5	5	26.91	4.08	5.689287	0.72	23	1.15	0.01	10.61	15.61	V	0	20	335							
129476.46	0.69	2775.74	Toba	argilica	5	5	23.91	3.92	5.552187	0.71	20	1.00	0.02	12.79	17.79	V	0	20	335							
129475.77	0.79	2776.53	Toba	argilica	5	5	23.91	3.92	5.552187	0.71	20	1.00	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129474.98	1.02	2777.55	Toba	argilica	5	5	23.91	3.92	5.552187	0.71	25	1.25	0.02	11.30	16.30	V	0	20	335							
129473.96	2.41	2779.96	Toba	argilica	5	5	23.91	3.92	5.552187	0.71	20	1.00	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129471.55	1.81	2781.77	Toba	argilica	5	5	23.91	3.92	5.552187	0.71	20	1.00	0.01	9.47	14.47	V	0	20	335							
129469.74	1.07	2782.84	Toba	argilica	5	5	20.3	3.74	5.38721	0.69	20	1.00	0.01	3.78	8.78	V	0	20	335							
129468.67	0.94	2783.78	Toba	argilica	5	5	15.35	3.49	5.160995	0.68	25	2.50	0.01	7.97	12.97	V	0	10	335							
129467.73	0.99	2784.77	Toba	argilica	5	5	15.35	3.49	5.160995	0.68	25	0.83	0.01	7.97	12.97	V	0	30	335							
129466.74	1.02	2785.79	Toba	argilica	5	5	11.4	3.29	4.98048	0.66	20	0.50	0.01	3.78	8.78	V	0	40	335							
129465.72	1.72	2787.51	Toba	argilica	5	5	11.35	3.28	4.978195	0.66	20	0.50	0.01	3.78	8.78	V	0	40	335							
129464.00	0.81	2788.32	Toba	argilica	5	5	11.35	3.28	4.978195	0.66	10	0.25	0.01	3.78	8.78	V	0	40	335							
129463.19	0.65	2788.97	andesita	argilica	5	5	11.35	3.28	4.978195	0.66	10	0.33	0.01	6.14	11.14	V	0	30	335							
129462.54	1.61	2790.58	andesita	argilica	5	5	11.35	3.28	4.978195	0.66	10	0.33	0.01	6.14	11.14	V	0	30	335							
129460.93	4.23	2794.81	andesita	argilica	5	5	2.33	2.82	4.565981	0.62	10	0.25	0.02	11.83	16.83	V	0	40	335							
129456.70	0	2794.81	andesita	argilica	5	5	2.33	2.82	4.565981	0.62	20	0.50	0.02	12.79	17.79	V	0	40	335							

Anexos B. Resultados de modelos de Phase2

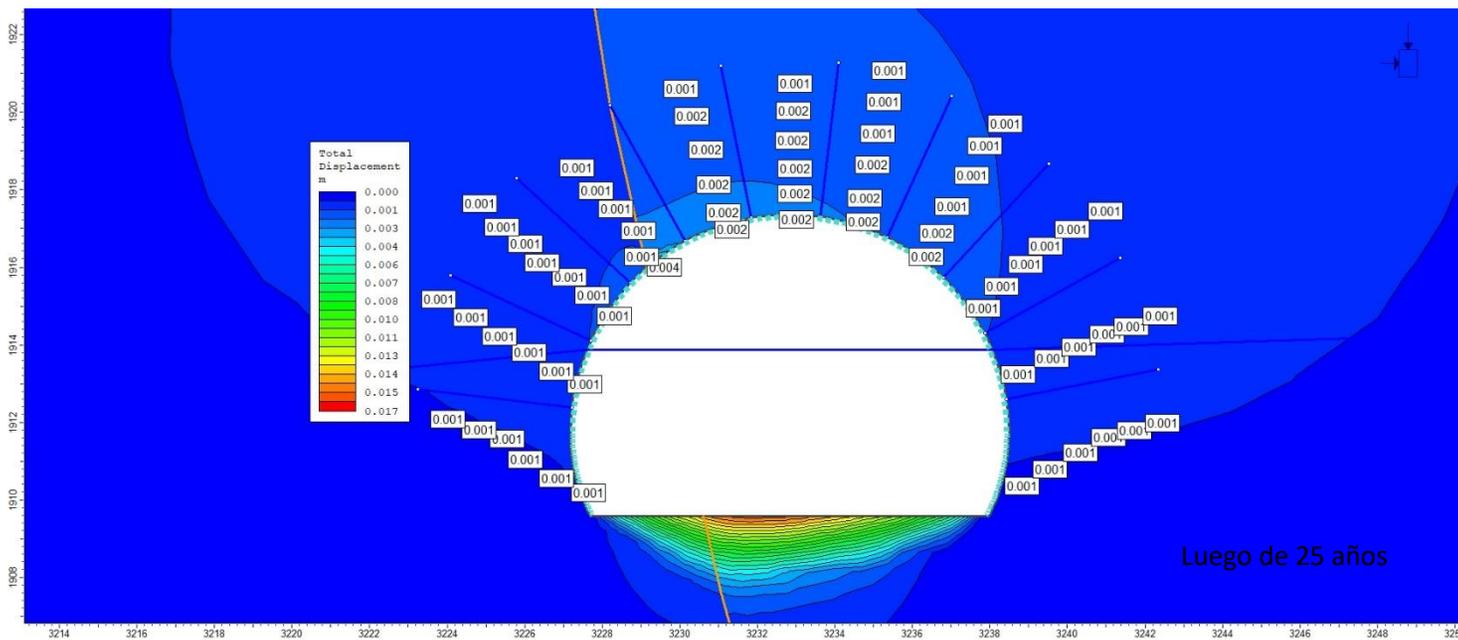
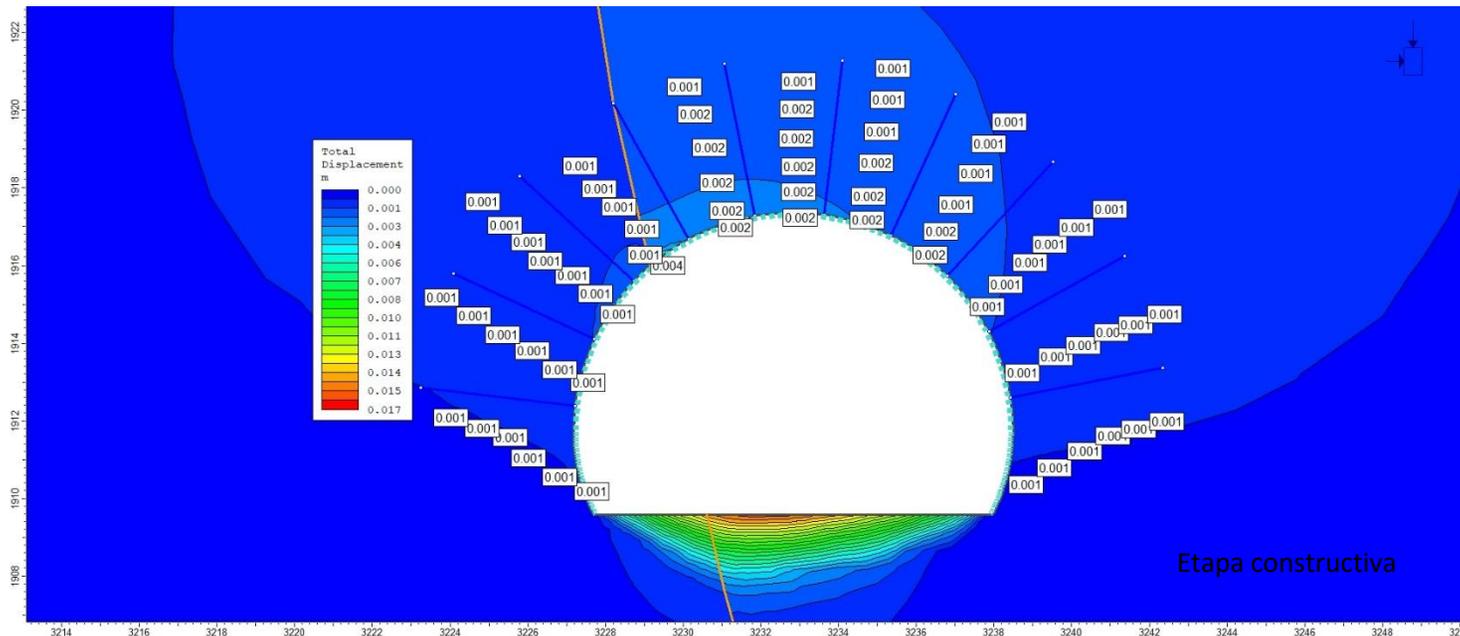
Sector 1 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



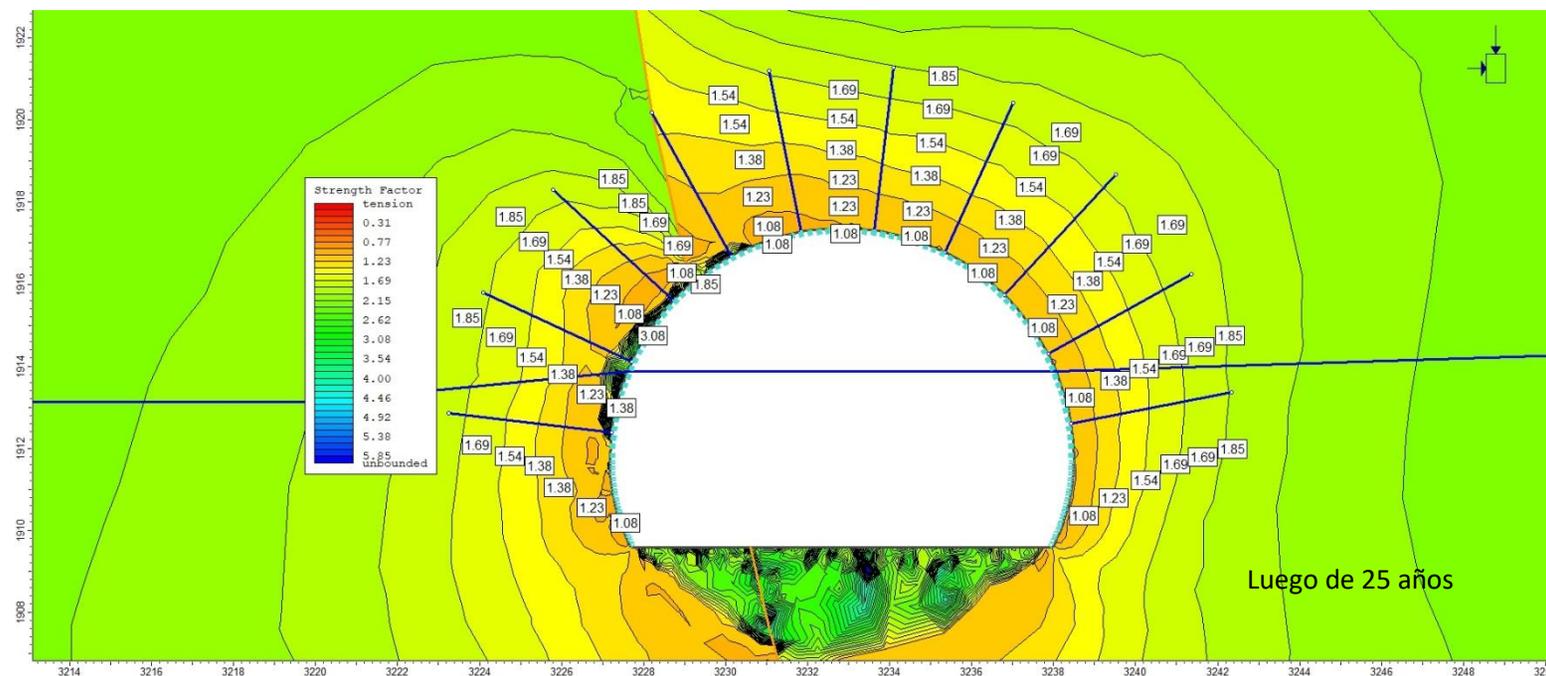
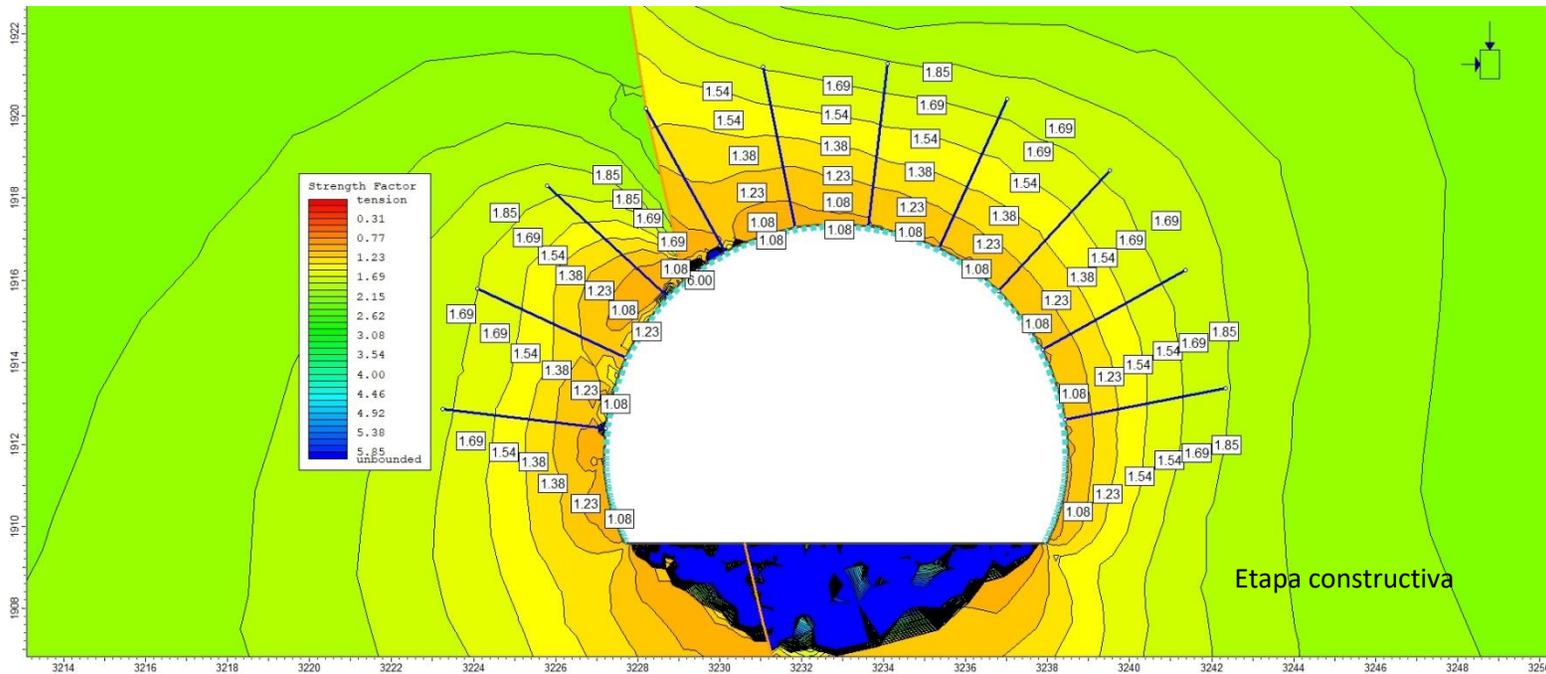
Sector 1 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 1 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

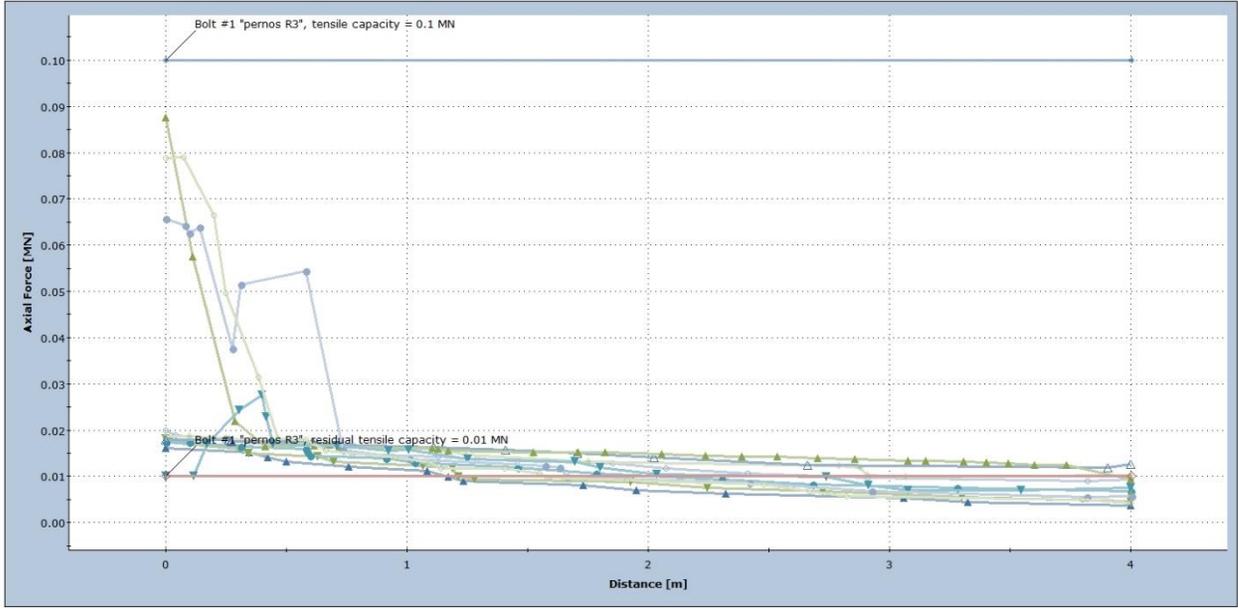


Sector 1 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



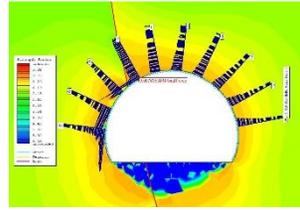
Sector 1 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

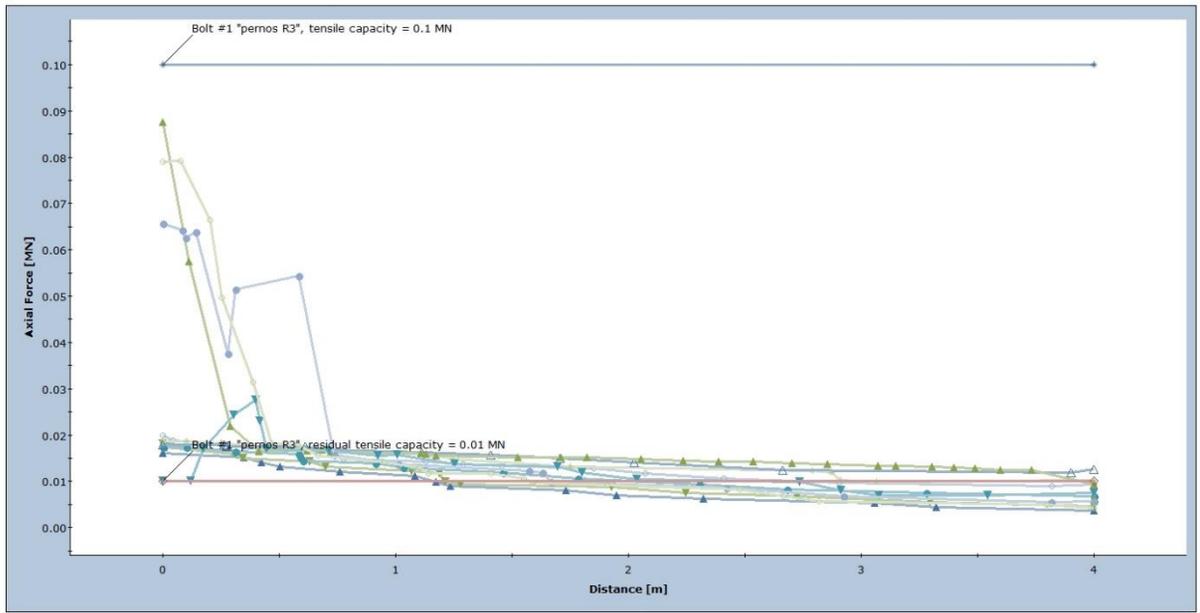


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: etapa constructiva
- △ Bolt #5 Stage: etapa constructiva
- ▽ Bolt #6 Stage: etapa constructiva
- ◆ Bolt #7 Stage: etapa constructiva
- ◇ Bolt #8 Stage: etapa constructiva
- ⊙ Bolt #9 Stage: etapa constructiva
- ⊕ Bolt #10 Stage: etapa constructiva
- ⊖ Bolt #1 Capacity
- ⊗ Bolt #1 Residual Capacity

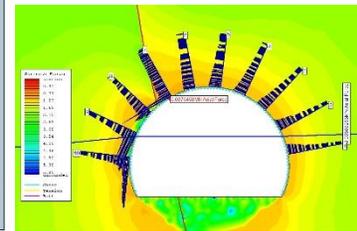


Axial Force



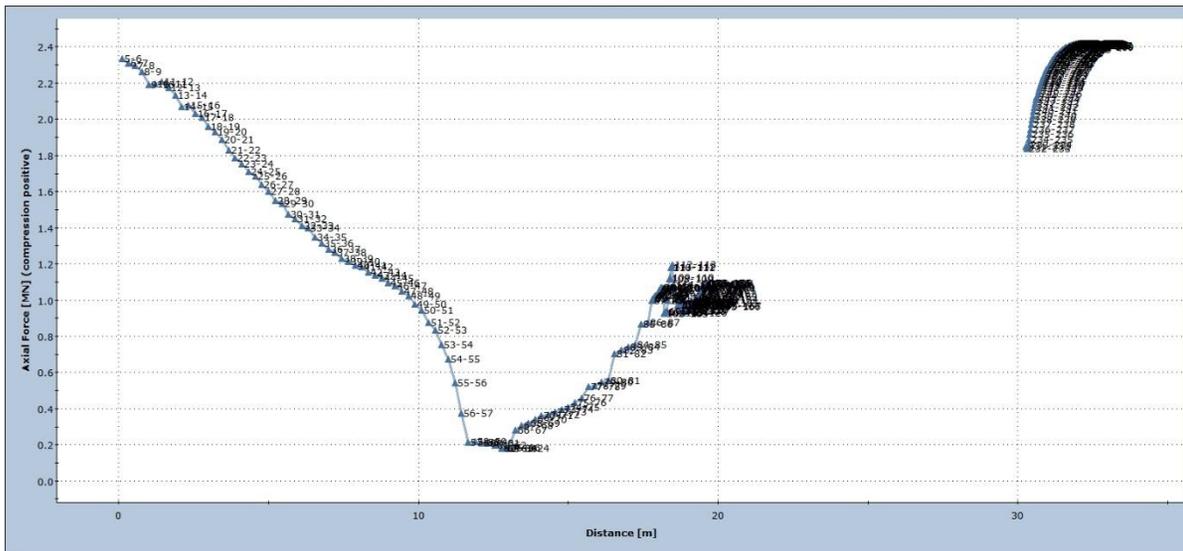
Luego de 25 años

- ▲ Bolt #1 Stage: resistencia pasado 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: resistencia pasado 25 años
- Bolt #3 Stage: resistencia pasado 25 años
- Bolt #4 Stage: resistencia pasado 25 años
- △ Bolt #5 Stage: resistencia pasado 25 años
- ▽ Bolt #6 Stage: resistencia pasado 25 años
- ◆ Bolt #7 Stage: resistencia pasado 25 años
- ◇ Bolt #8 Stage: resistencia pasado 25 años
- ⊙ Bolt #9 Stage: resistencia pasado 25 años
- ⊕ Bolt #10 Stage: resistencia pasado 25 años
- ⊖ Bolt #1 Capacity
- ⊗ Bolt #1 Residual Capacity



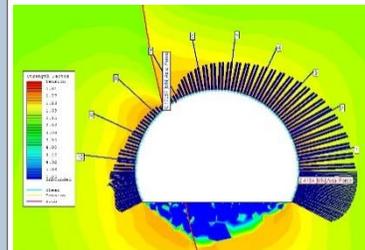
Sector 1 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

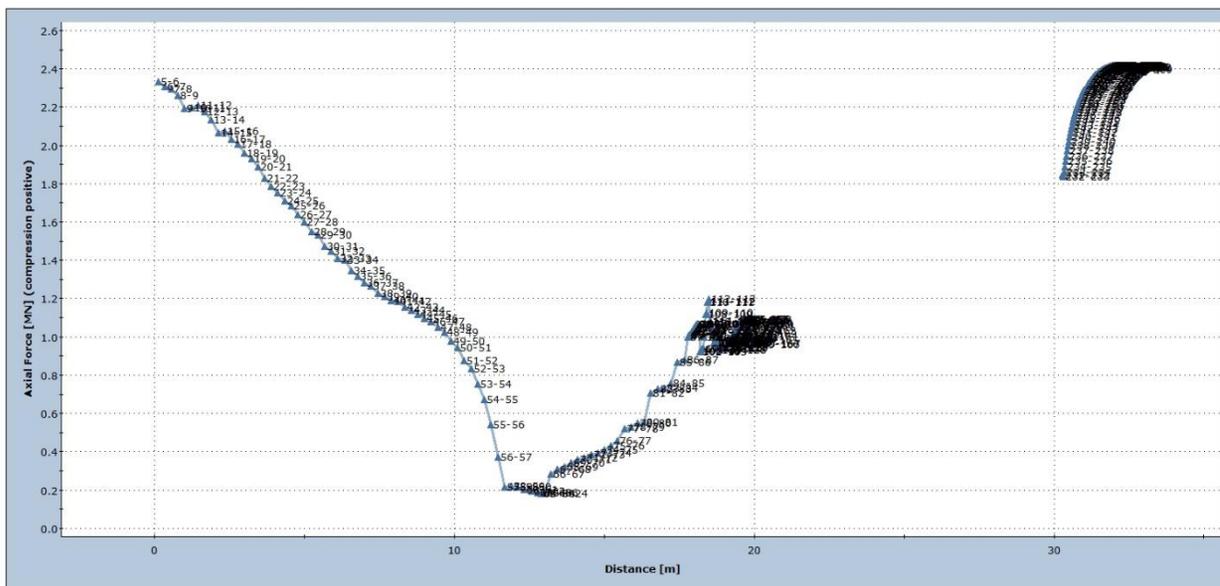


Etapa constructiva

—▲ etapa constructiva

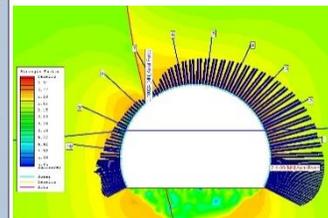


Axial Force

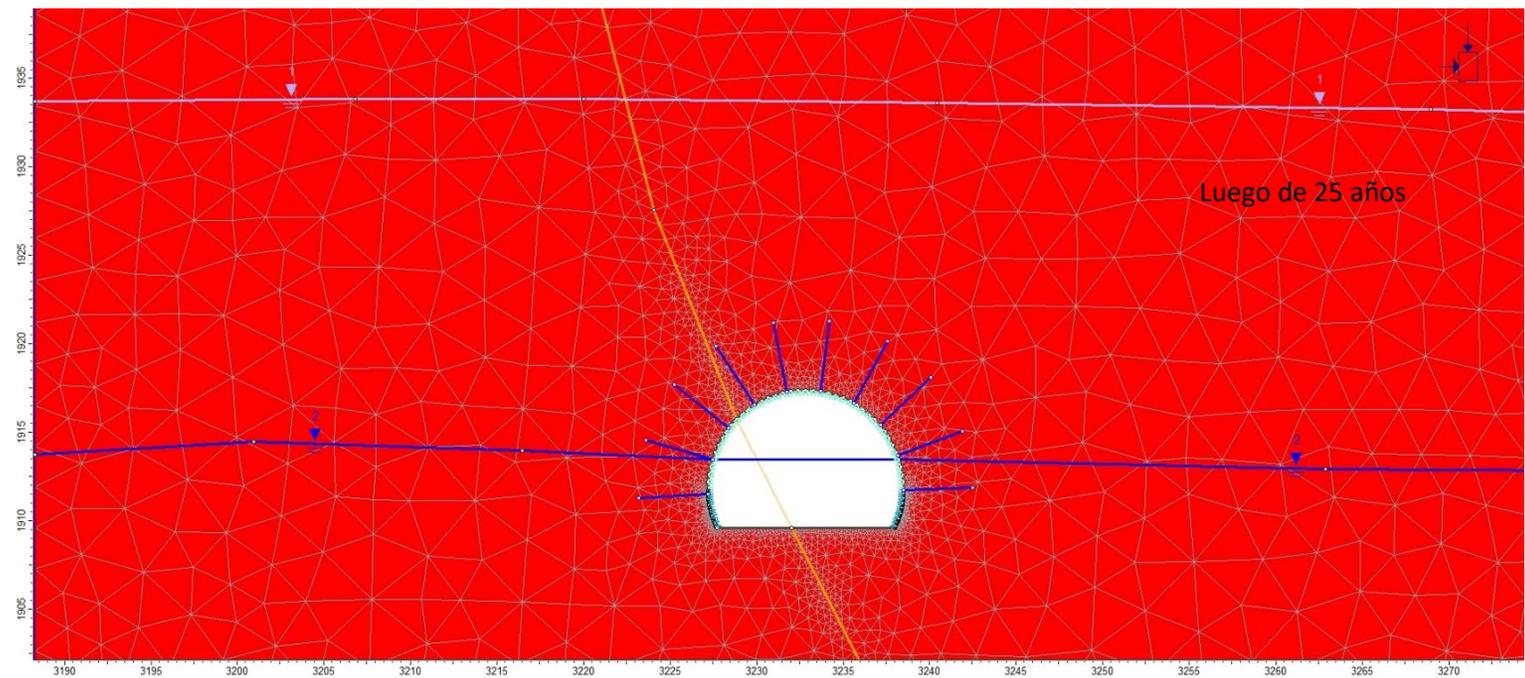
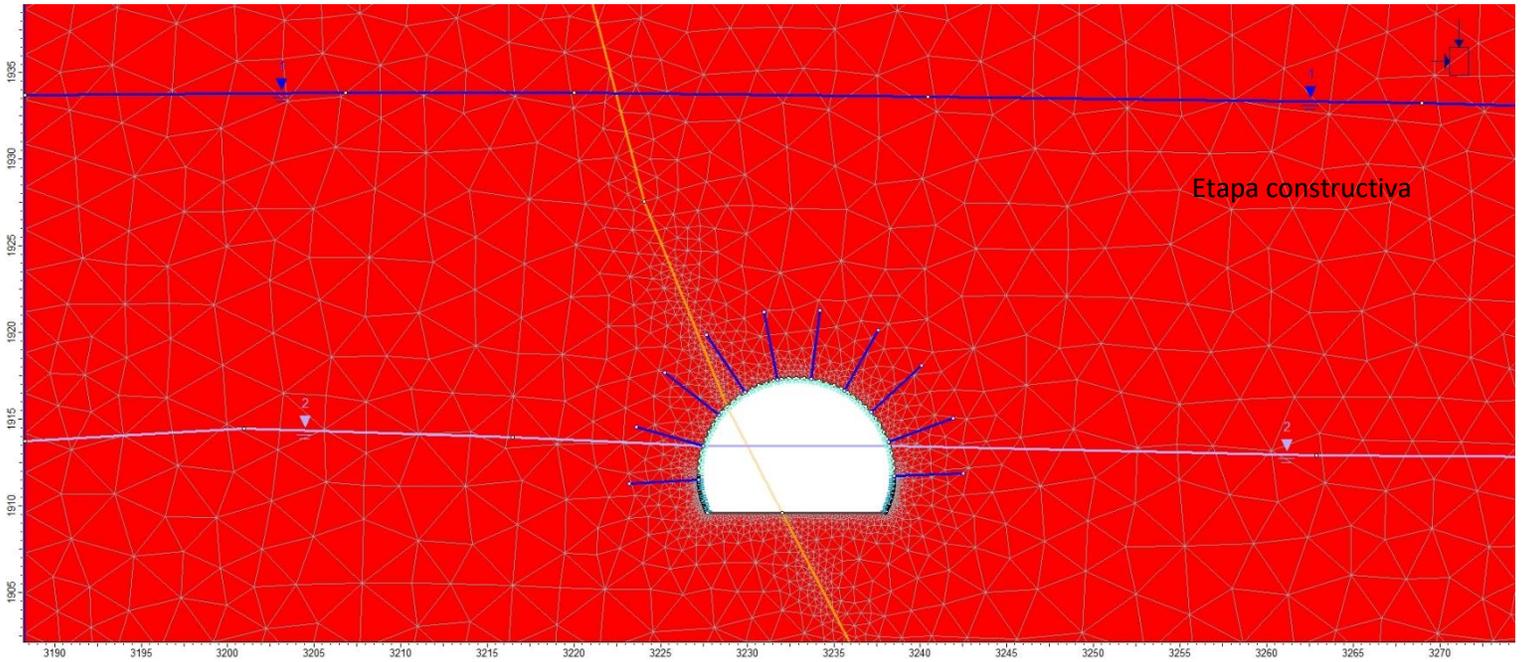


Luego de 25 años

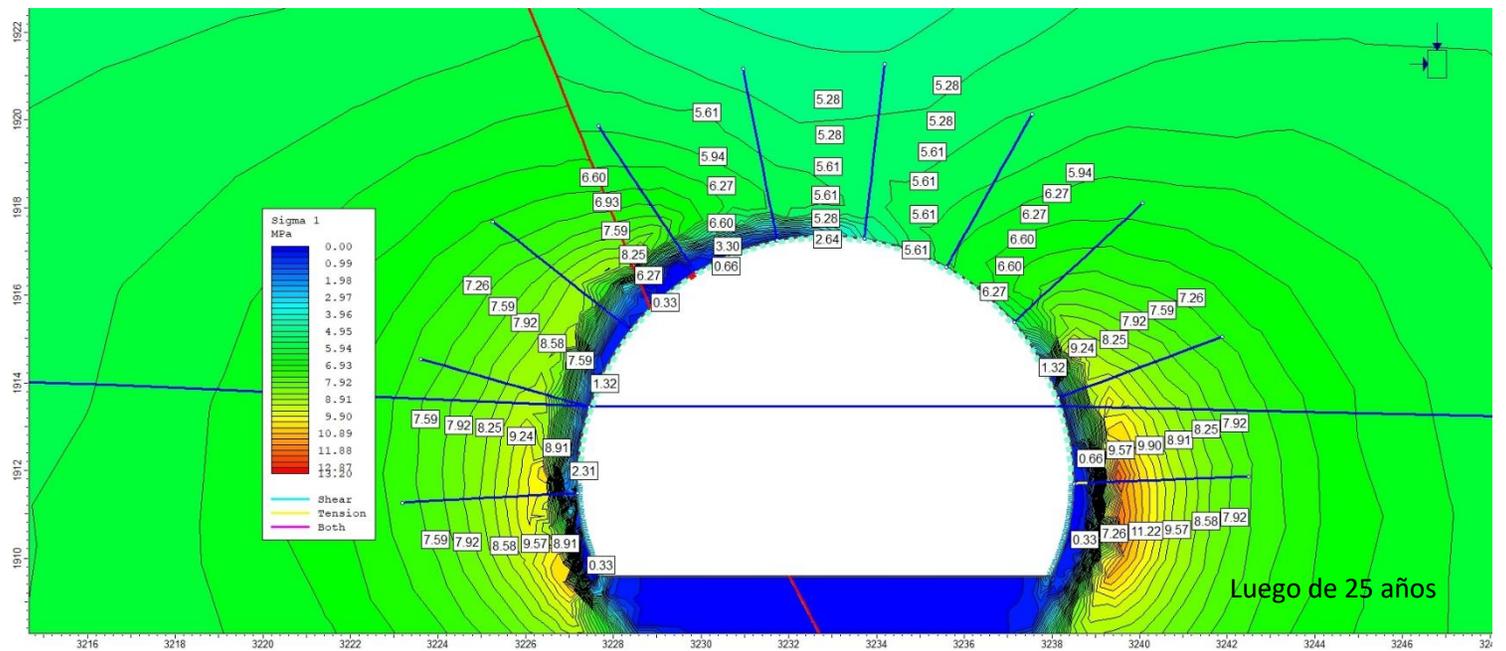
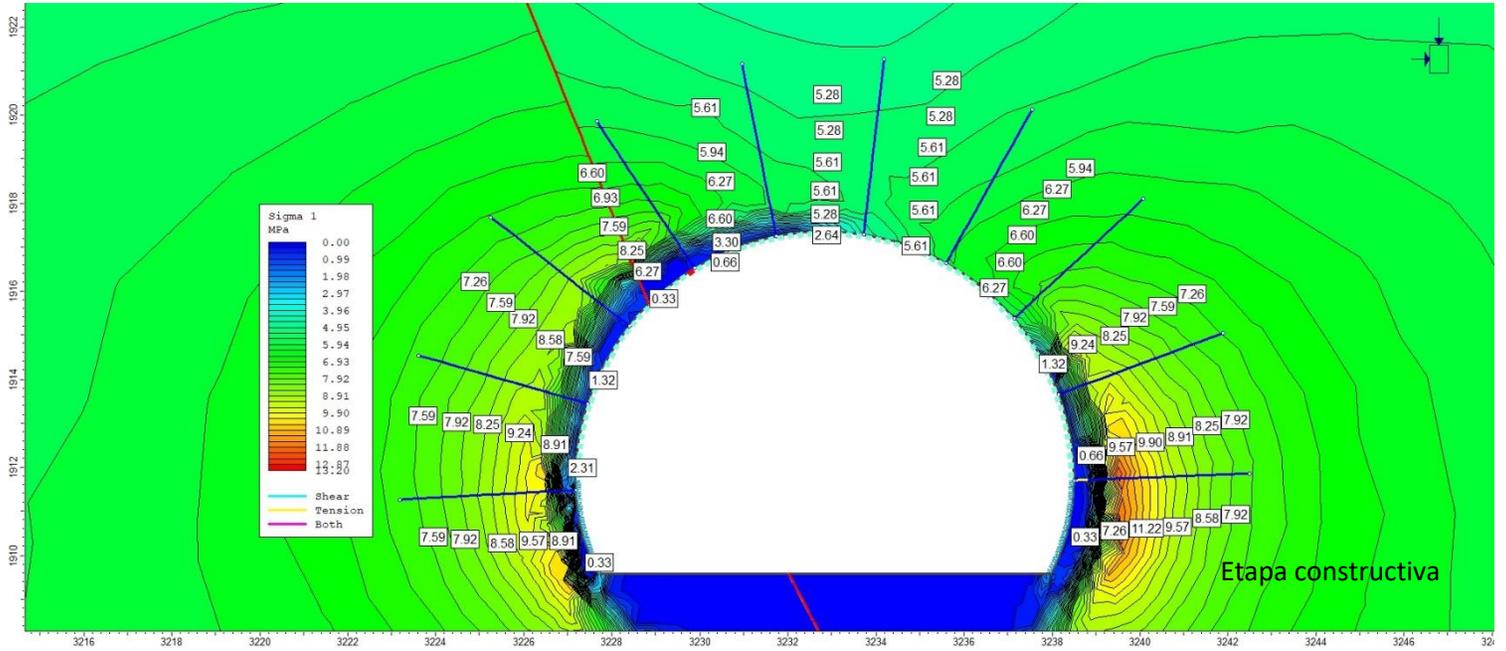
—▲ resistencia pasado 25 años



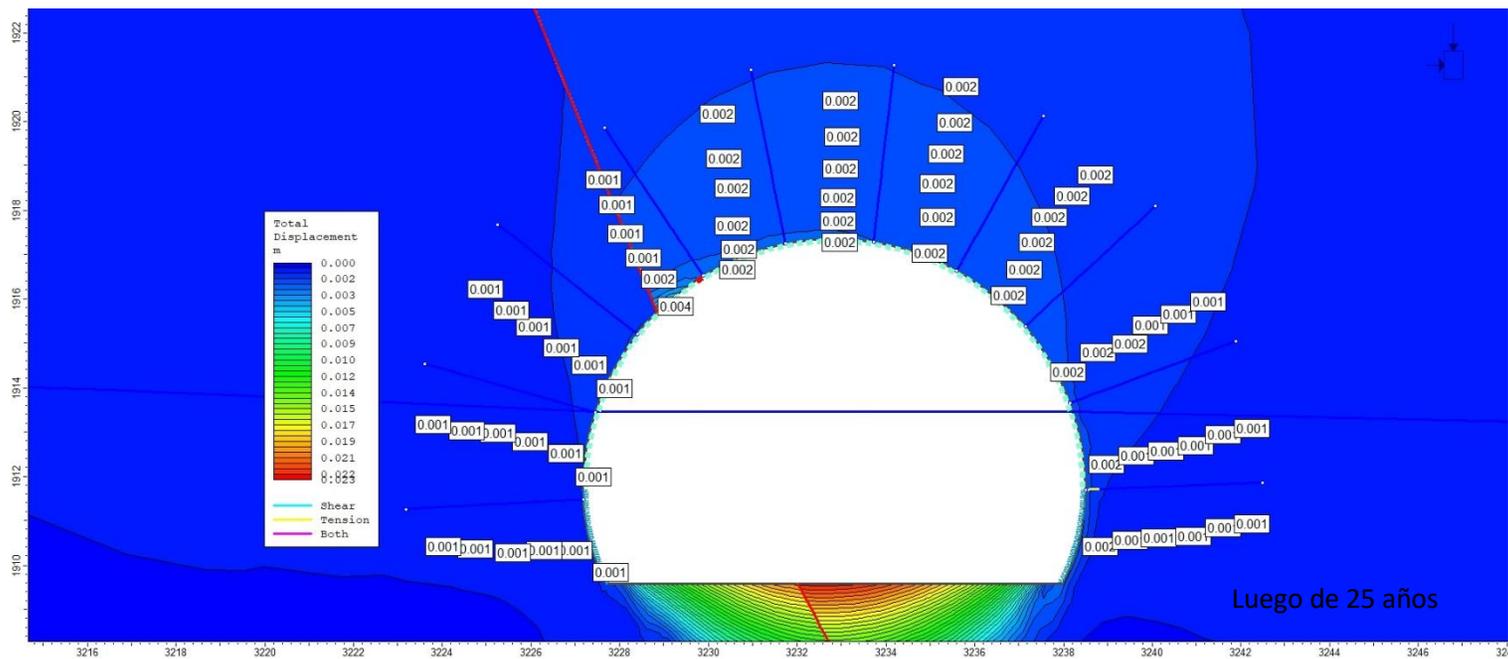
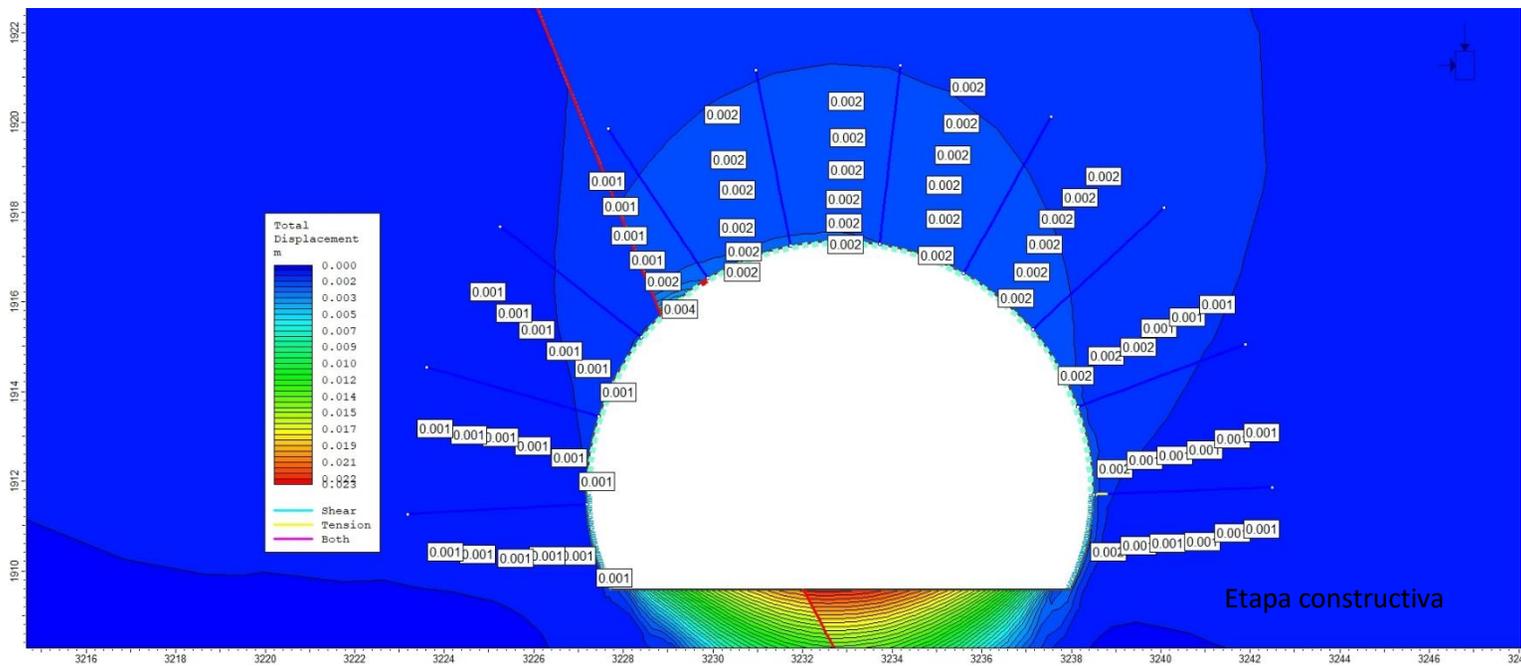
Sector 2 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



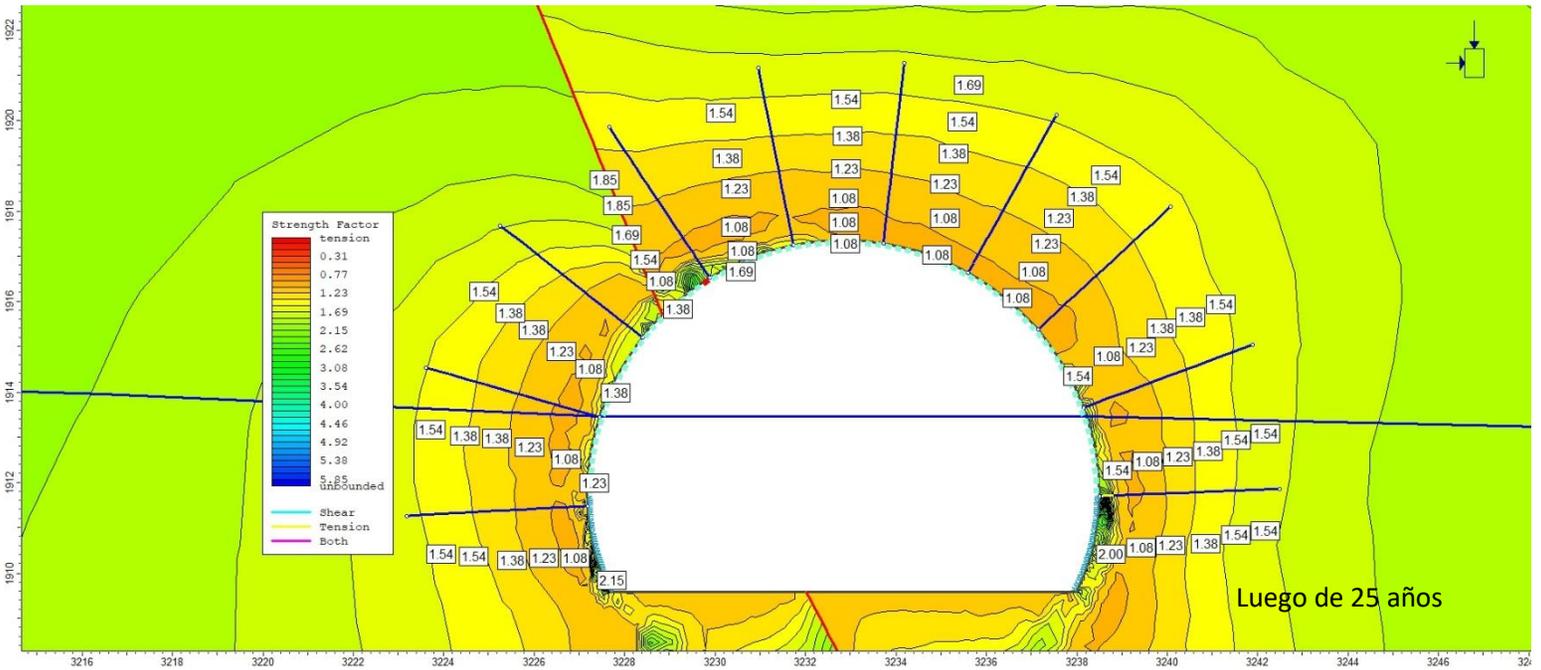
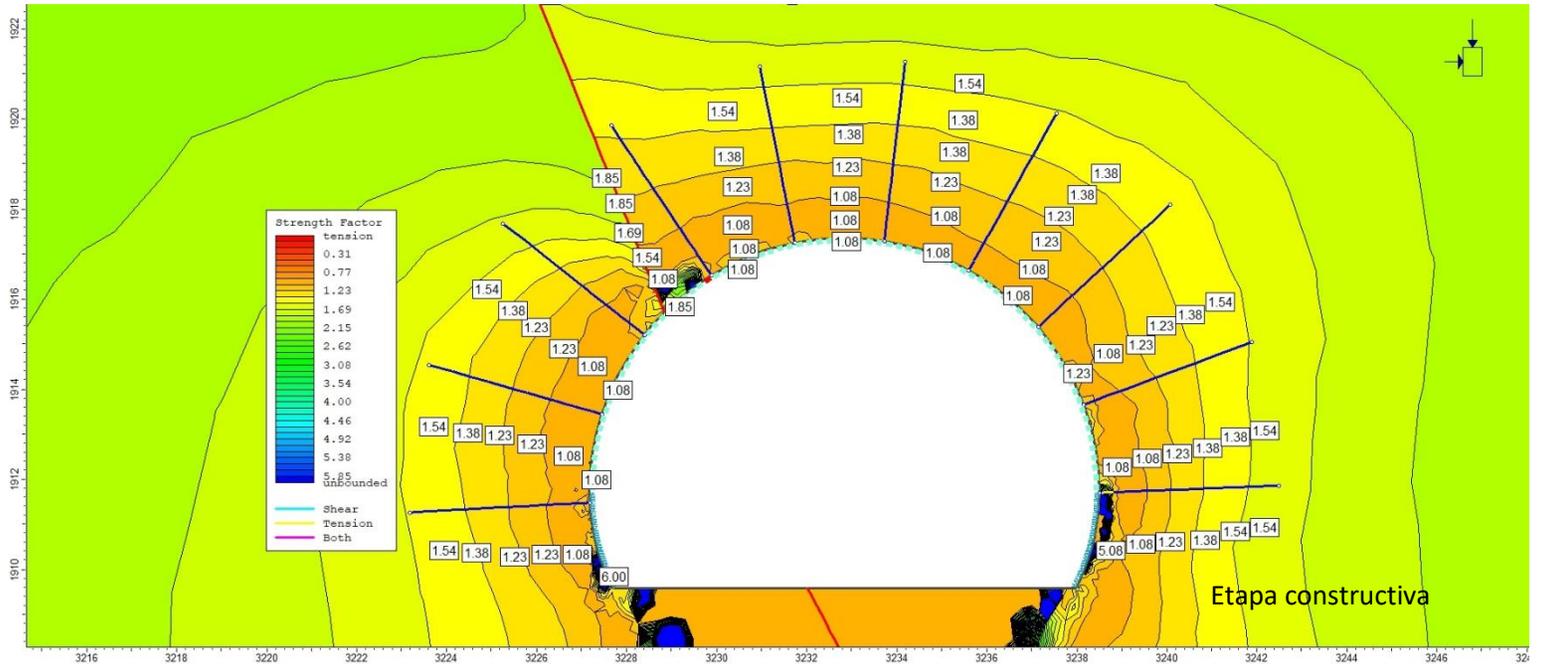
Sector 2 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 2 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

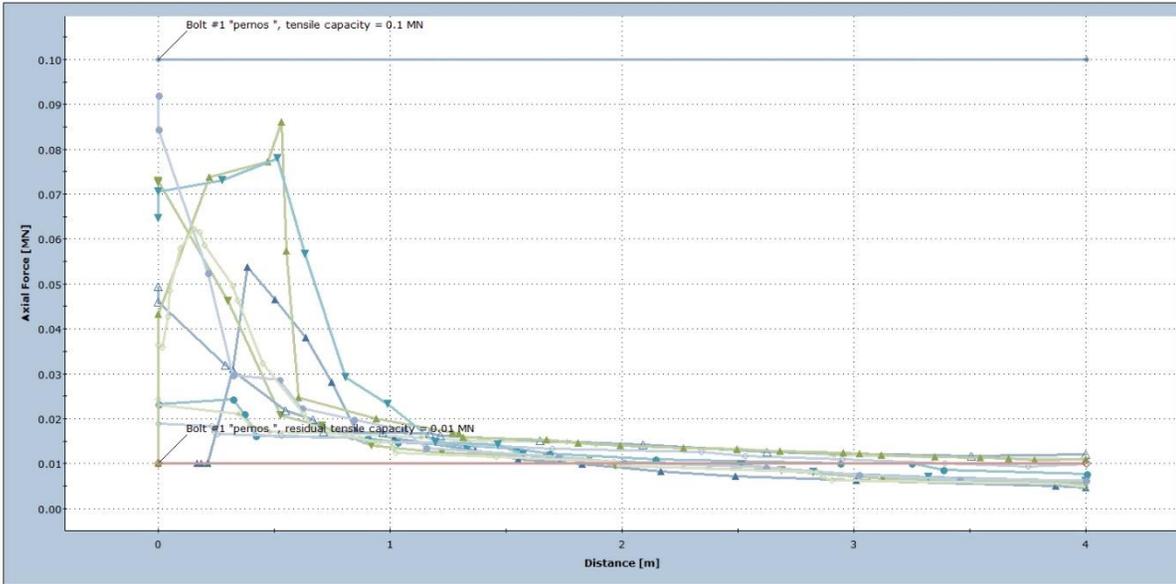


Sector 2 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



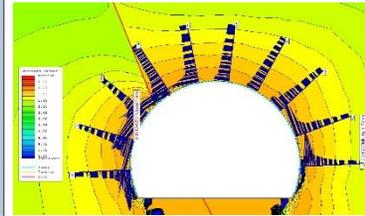
Sector 2 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

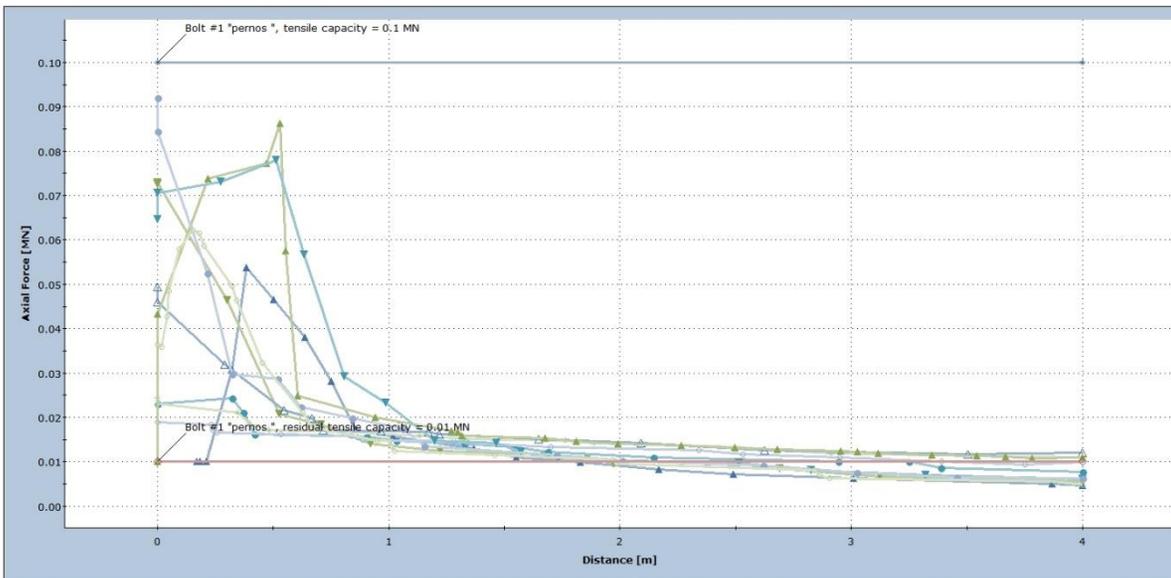


Etapa constructiva

- Bolt #1 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #2 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #5 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #6 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #7 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #8 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #10 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

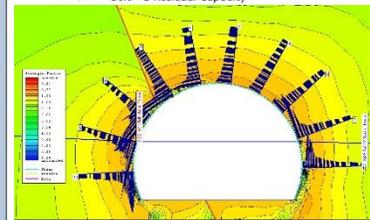


Axial Force



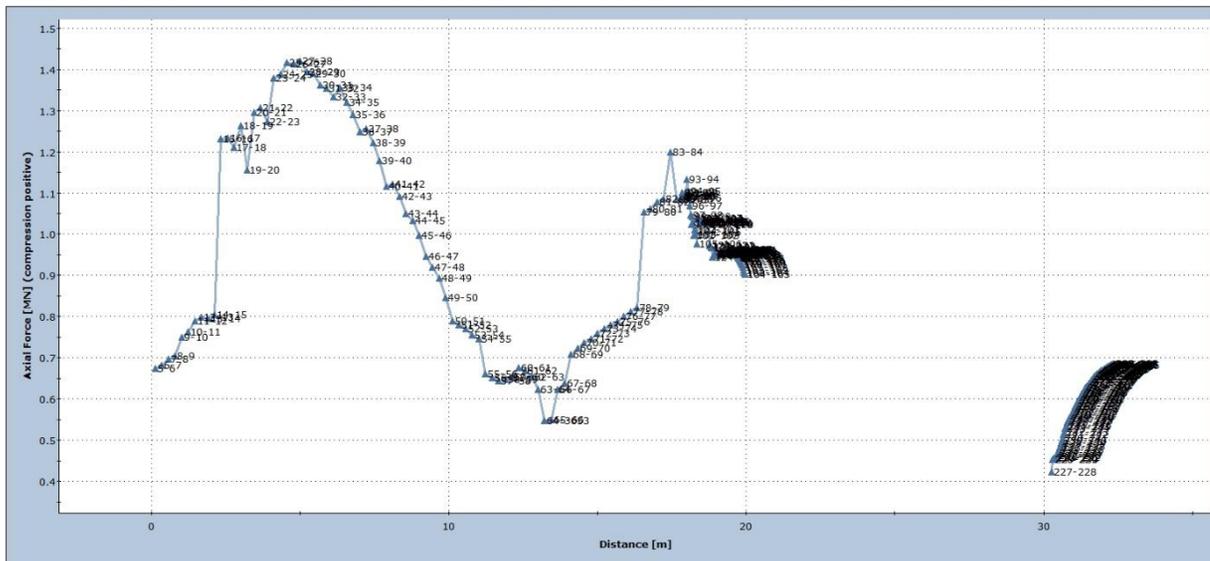
Luego de 25 años

- Bolt #1 Stage: luego de 25 años
- Bolt #2 Stage: luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: luego de 25 años
- Bolt #5 Stage: luego de 25 años
- Bolt #6 Stage: luego de 25 años
- Bolt #7 Stage: luego de 25 años
- Bolt #8 Stage: luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: luego de 25 años
- Bolt #10 Stage: luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

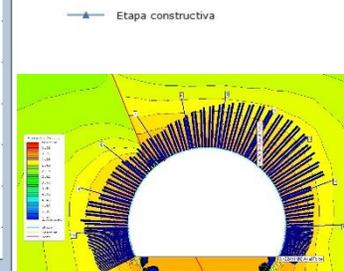


Sector 2 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

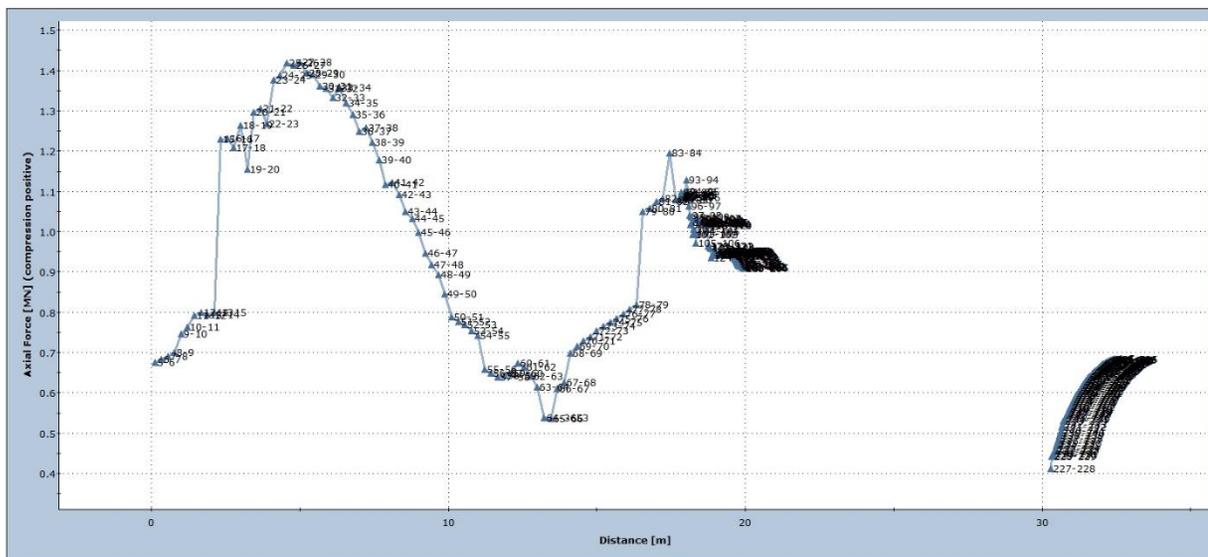
Axial Force



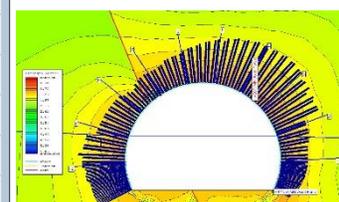
Etapa constructiva



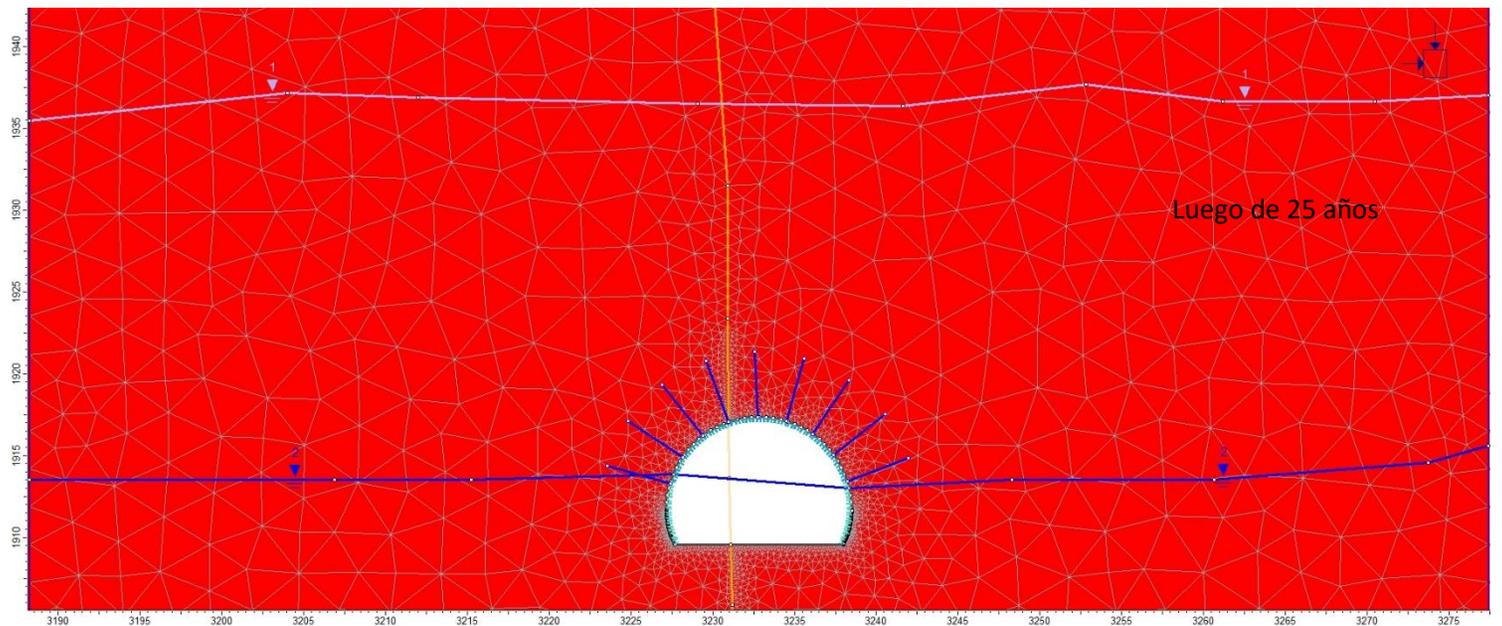
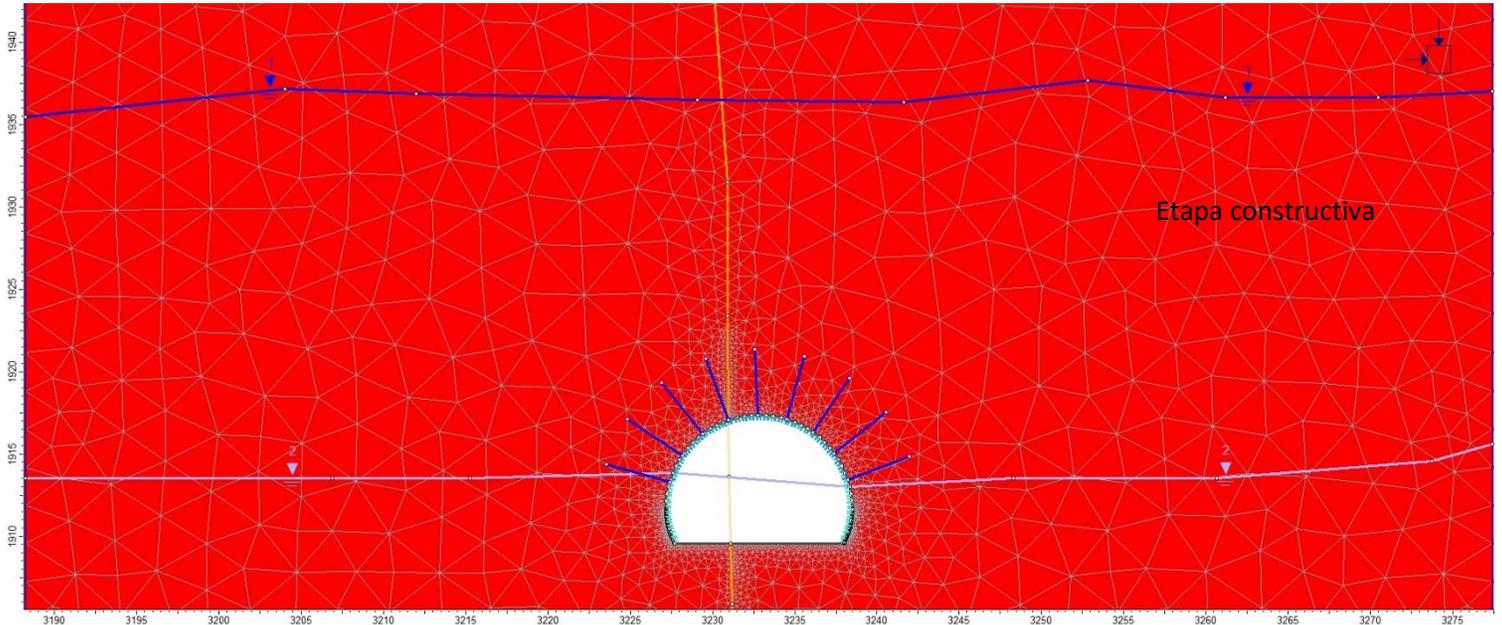
Axial Force



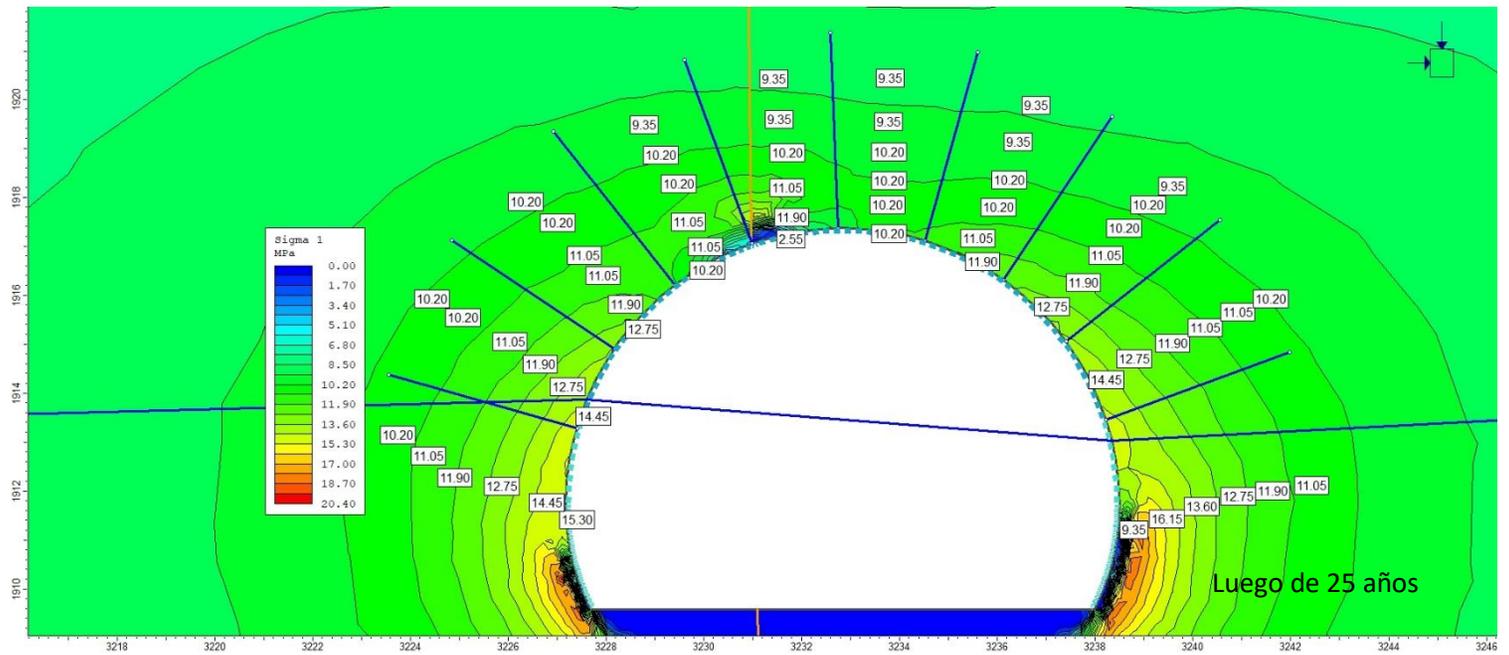
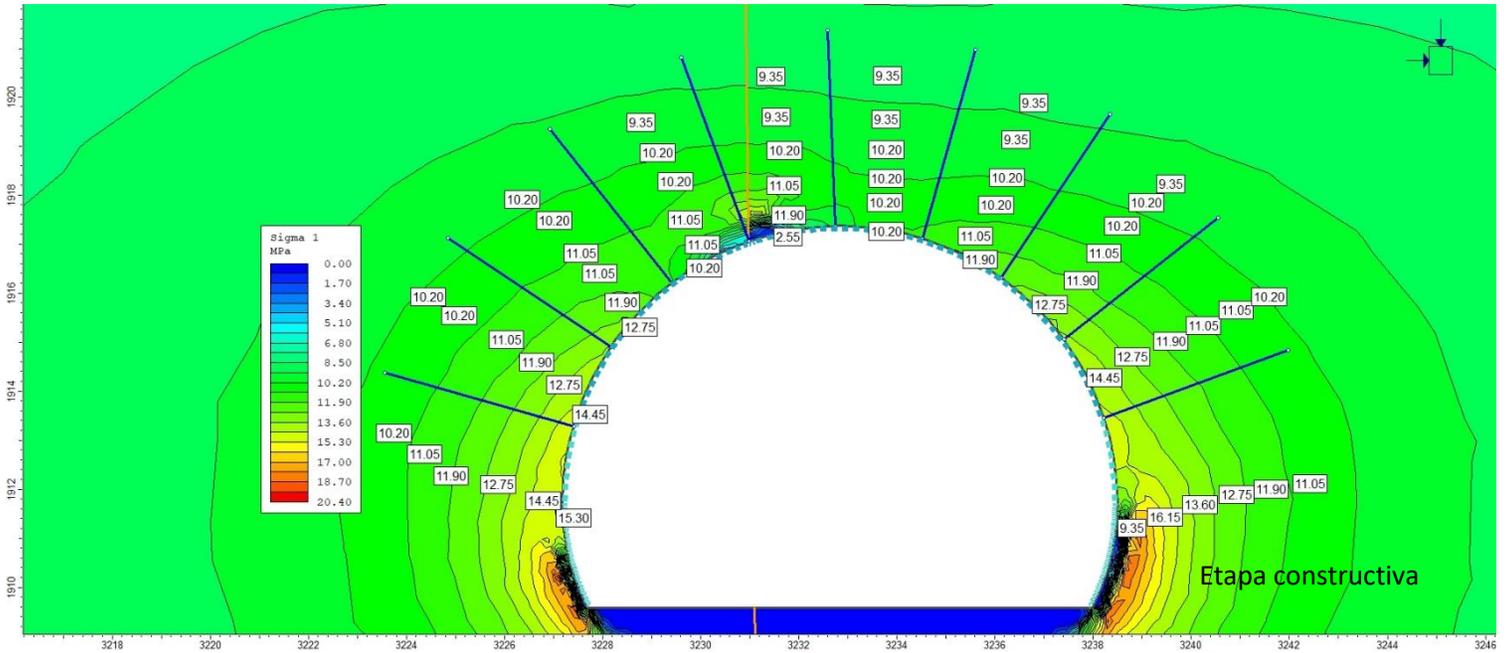
Luego de 25 años



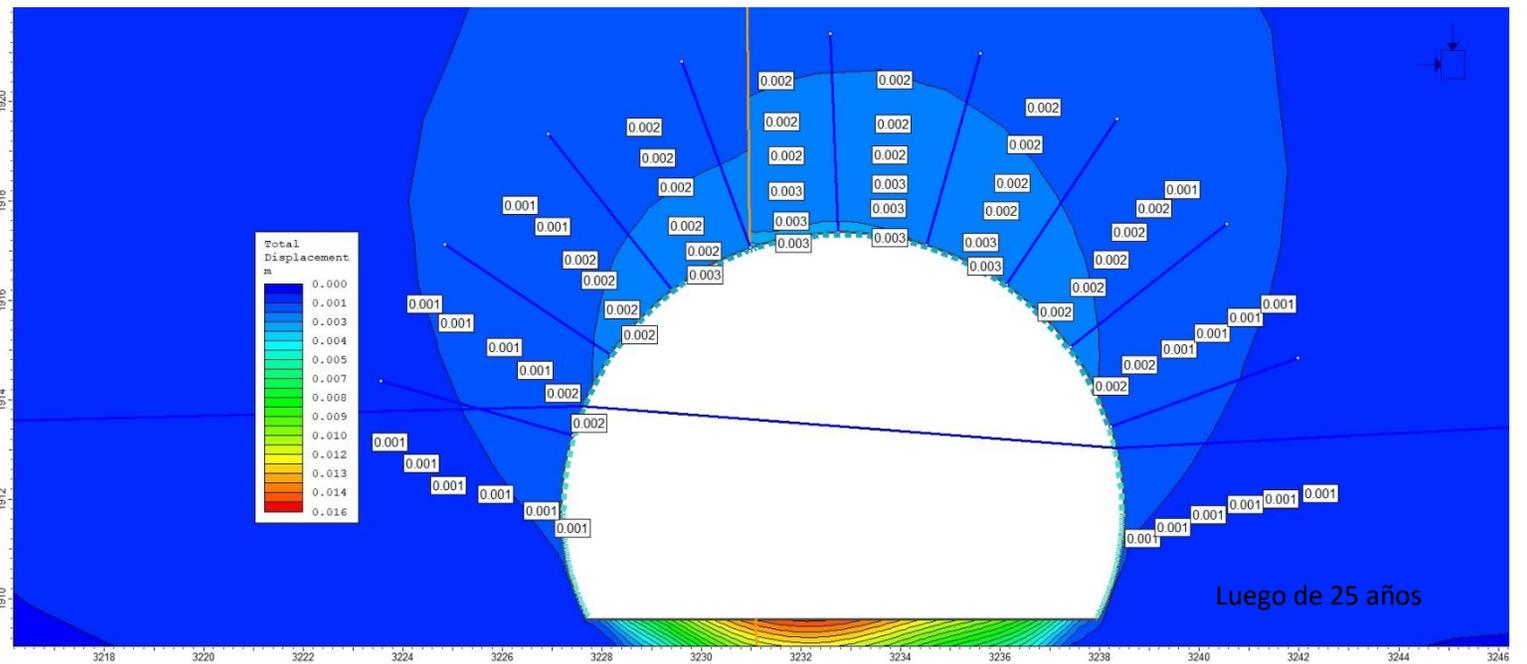
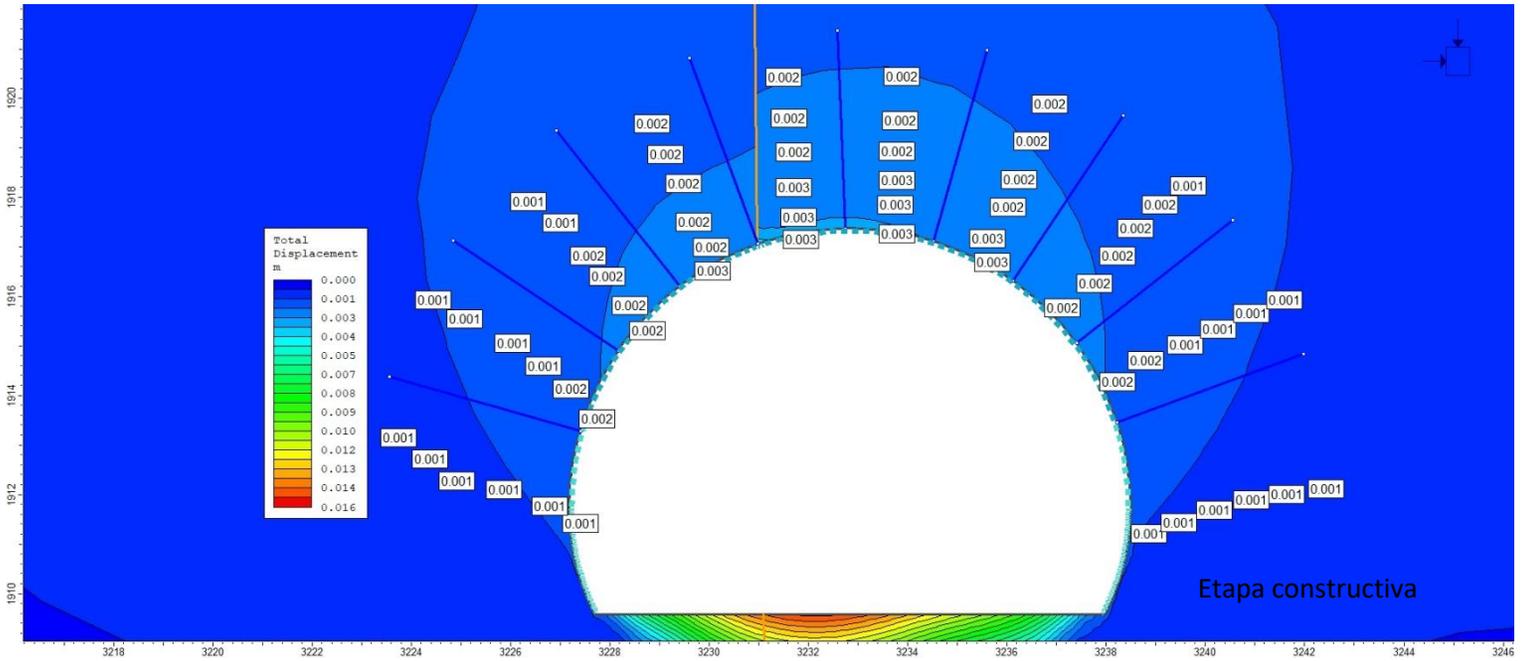
Sector 3 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



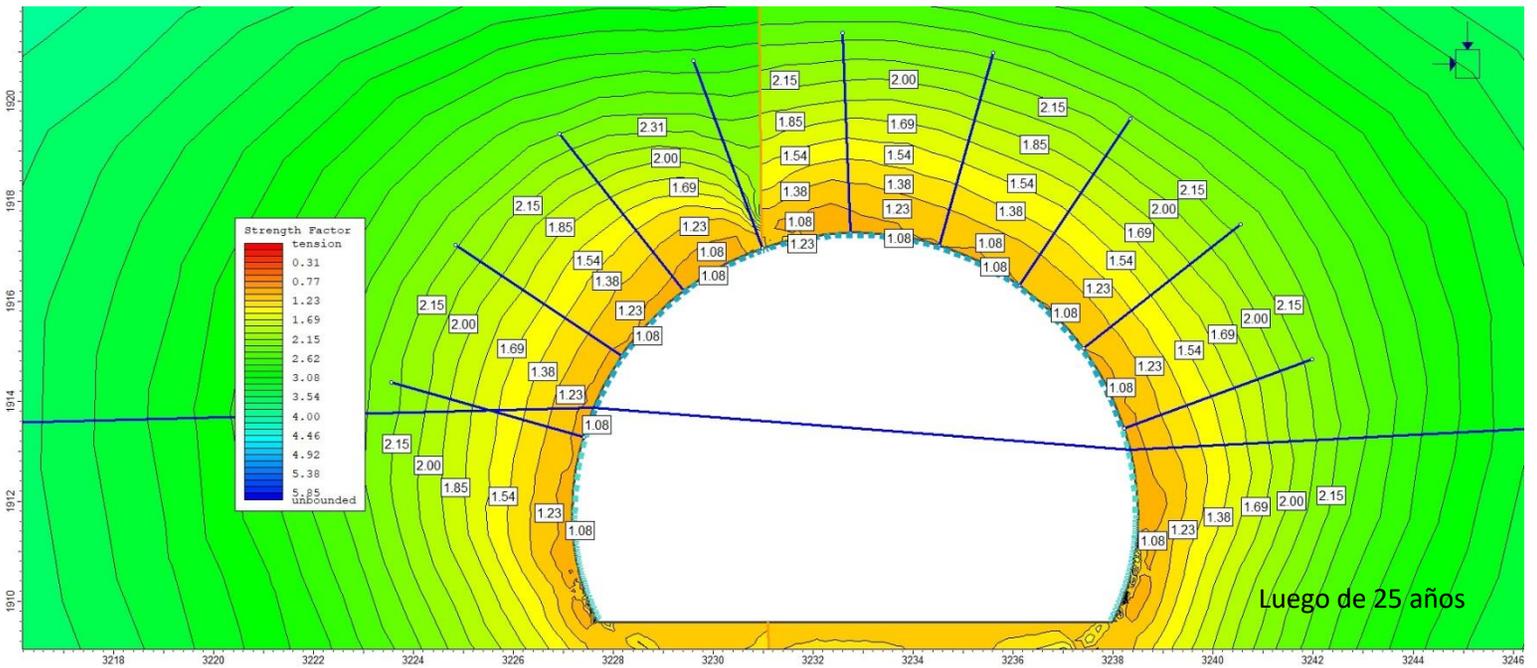
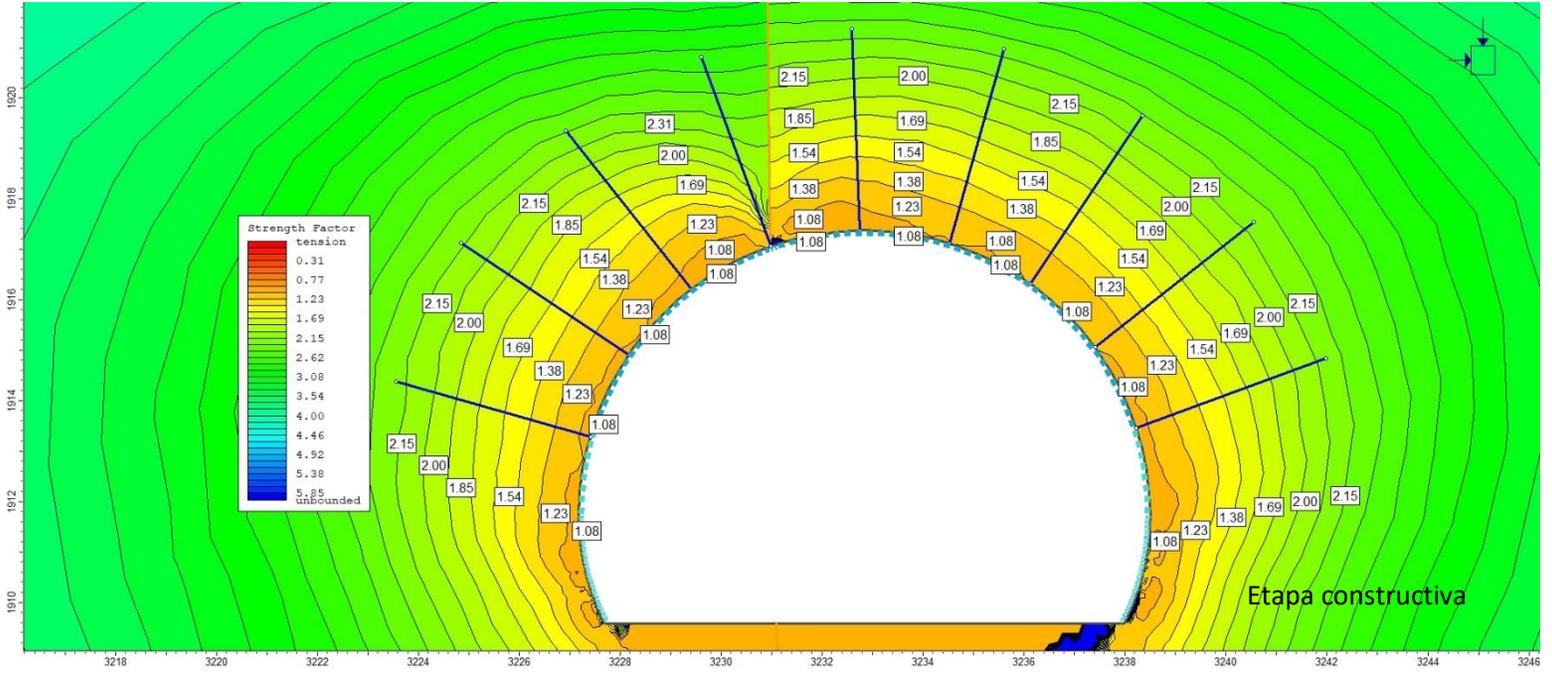
Sector 3 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 3 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

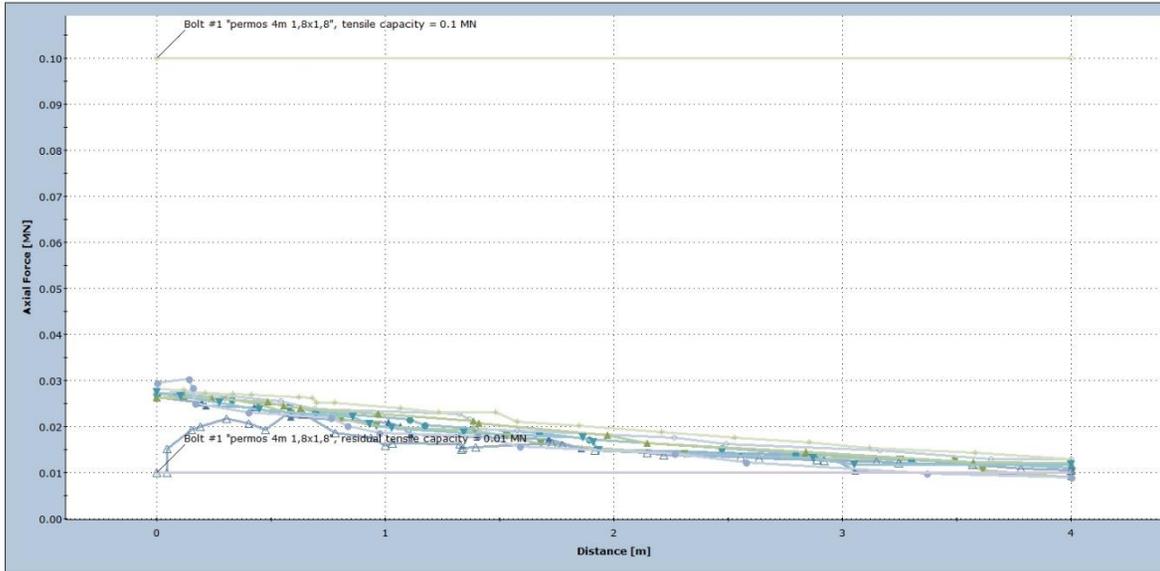


Sector 3 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



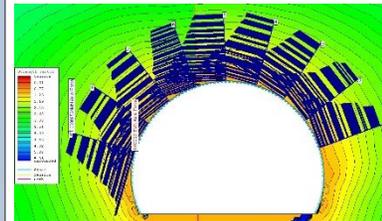
Sector 3 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

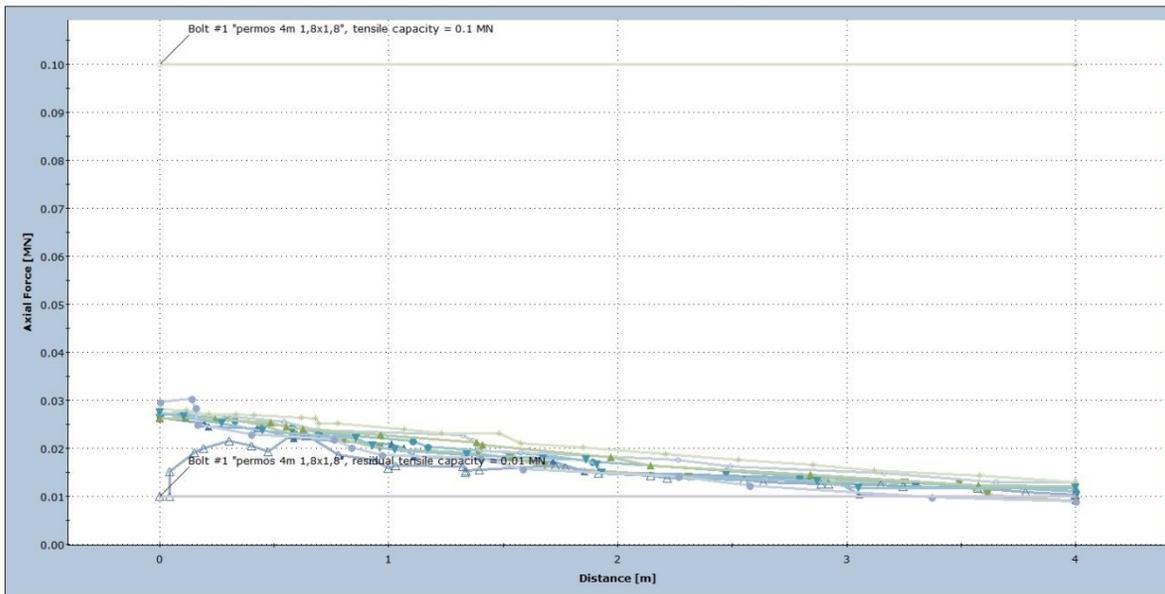


Etapa constructiva

- Bolt #1 Stage: etapa constructiva
- Bolt #2 Stage: etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: etapa constructiva
- Bolt #5 Stage: etapa constructiva
- Bolt #6 Stage: etapa constructiva
- Bolt #7 Stage: etapa constructiva
- Bolt #8 Stage: etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

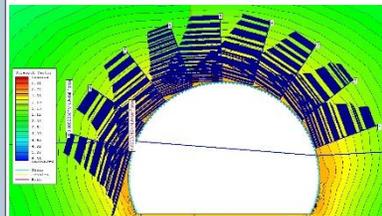


Axial Force



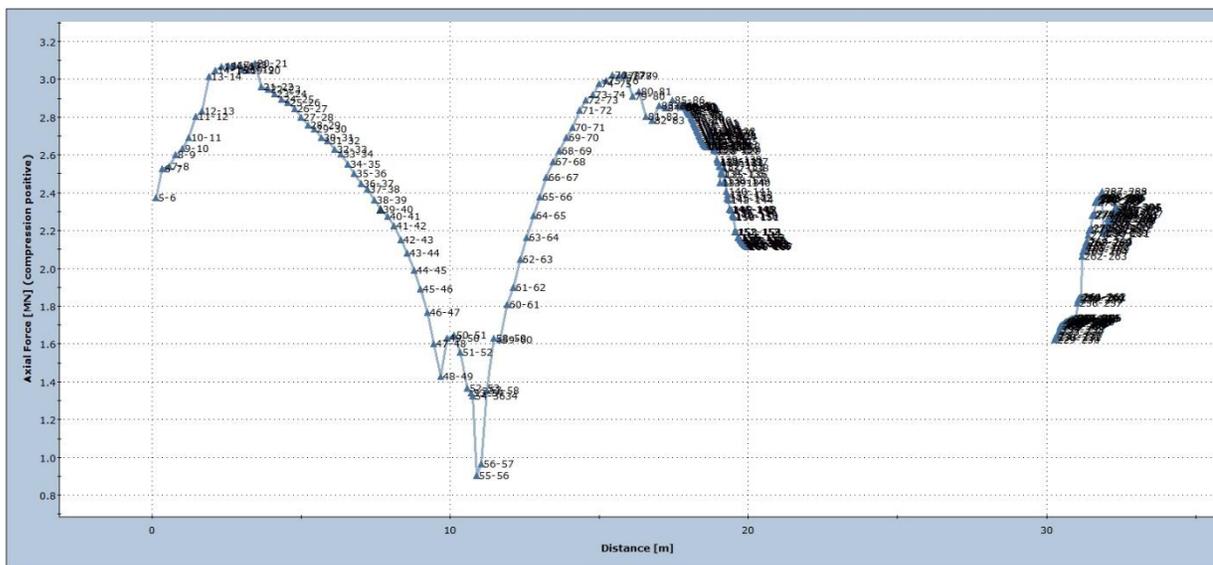
Luego de 25 años

- Bolt #1 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #2 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #5 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #6 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #7 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #8 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

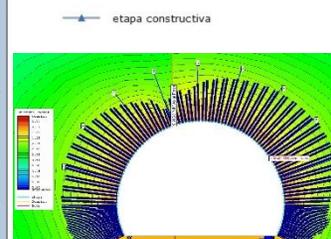


Sector 3 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

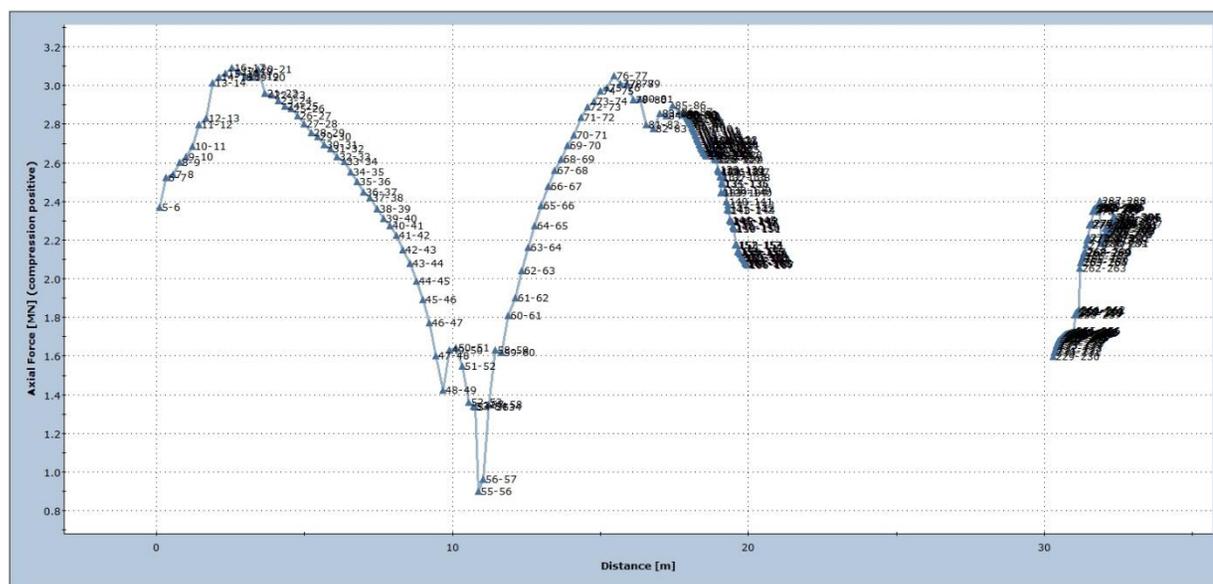
Axial Force



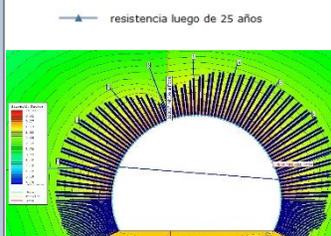
Etapa constructiva



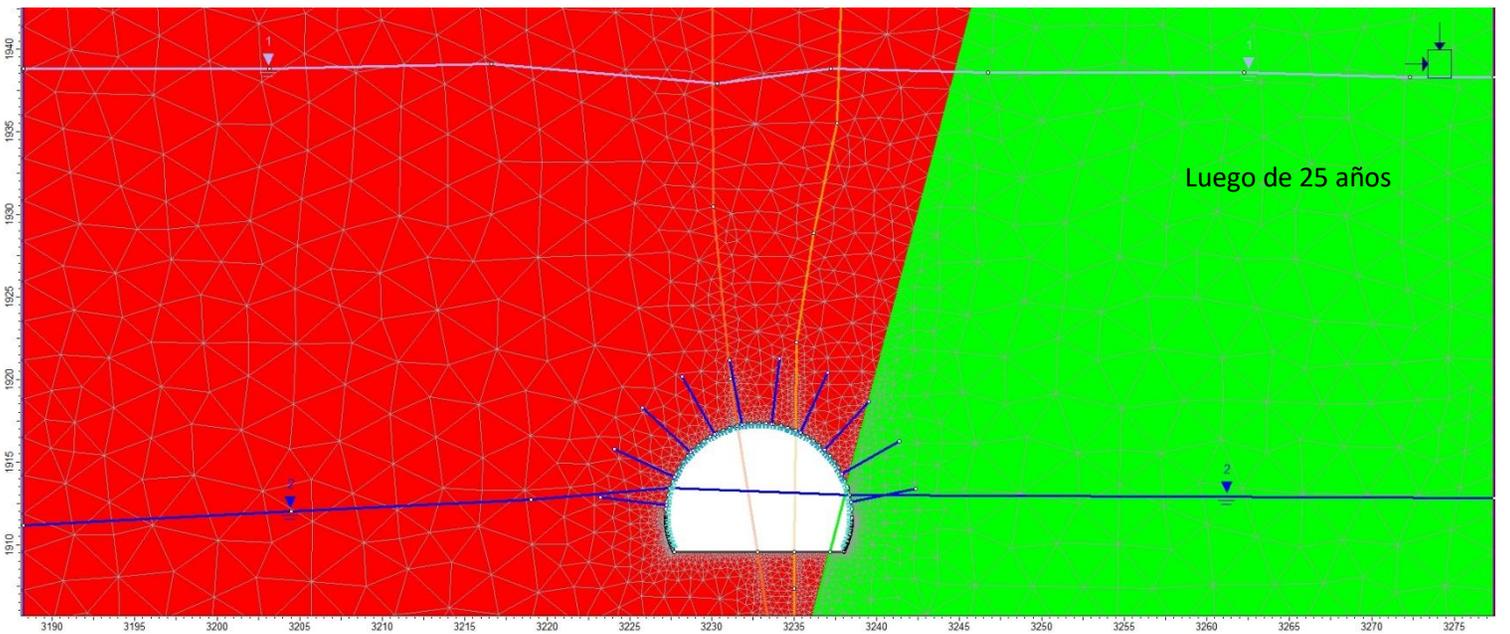
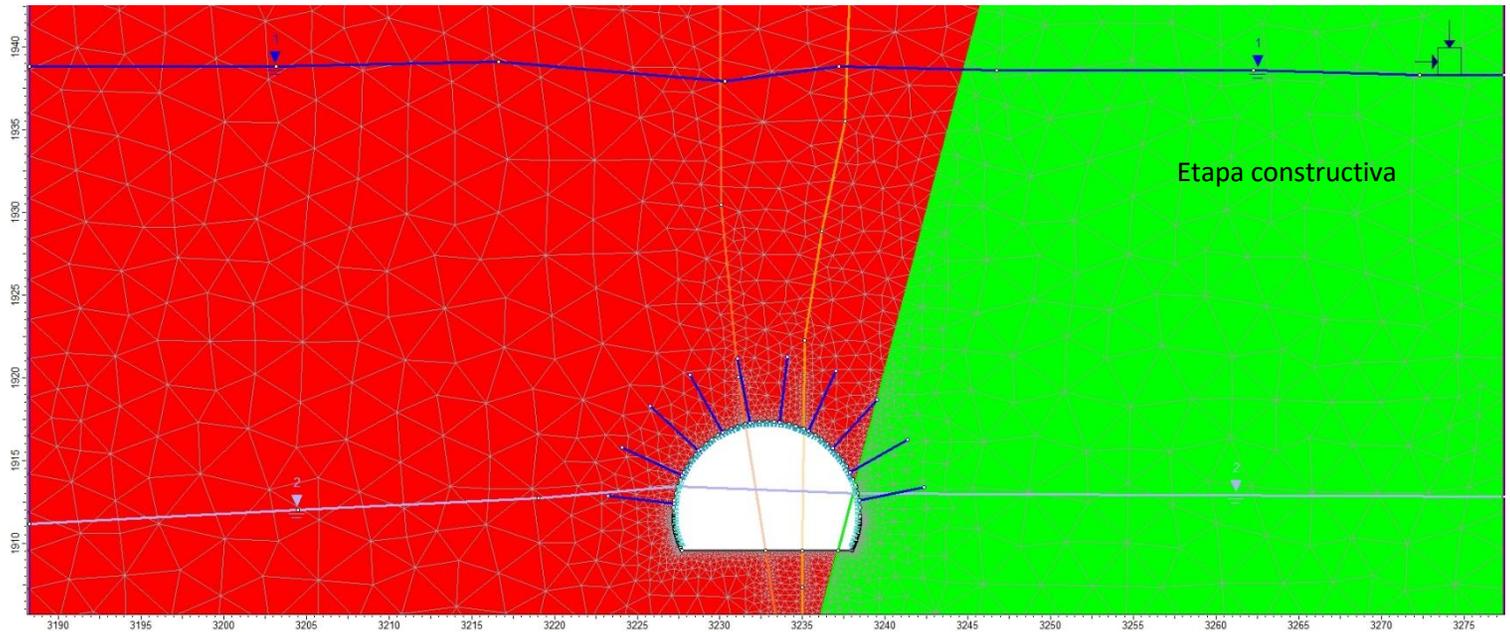
Axial Force



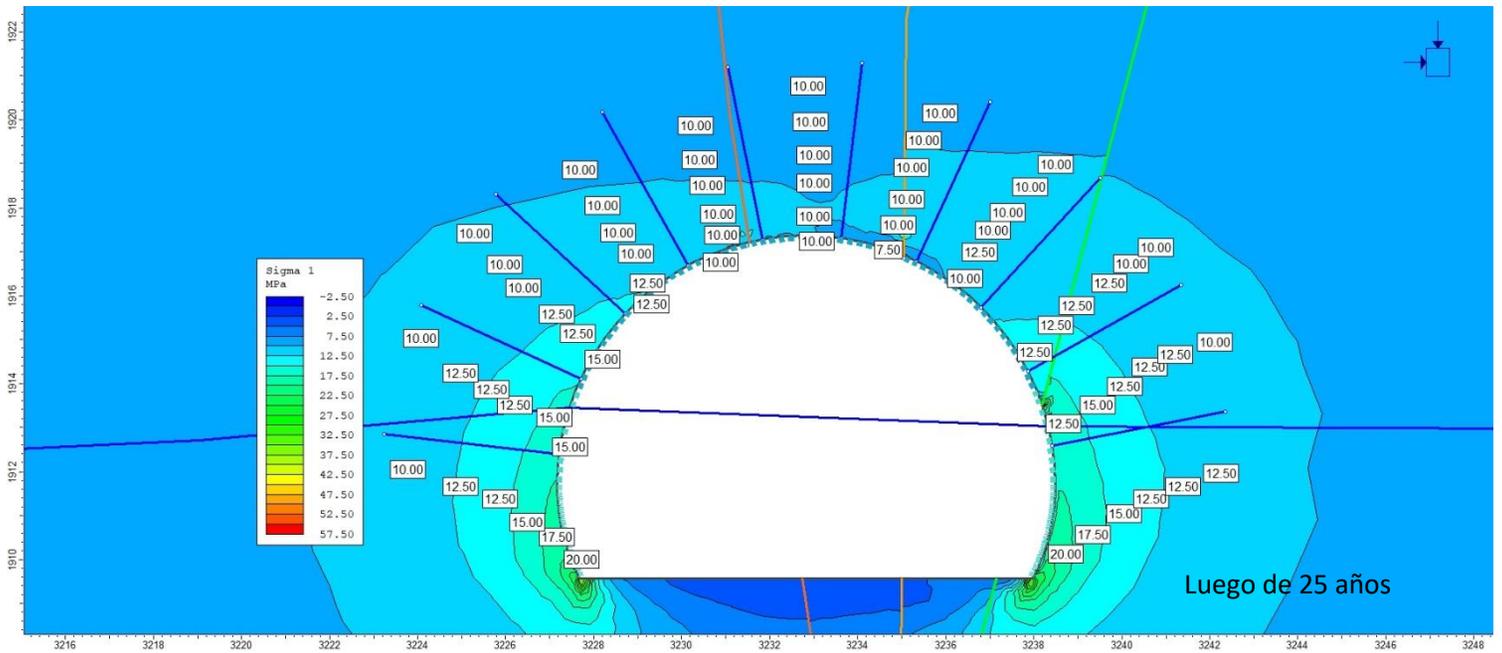
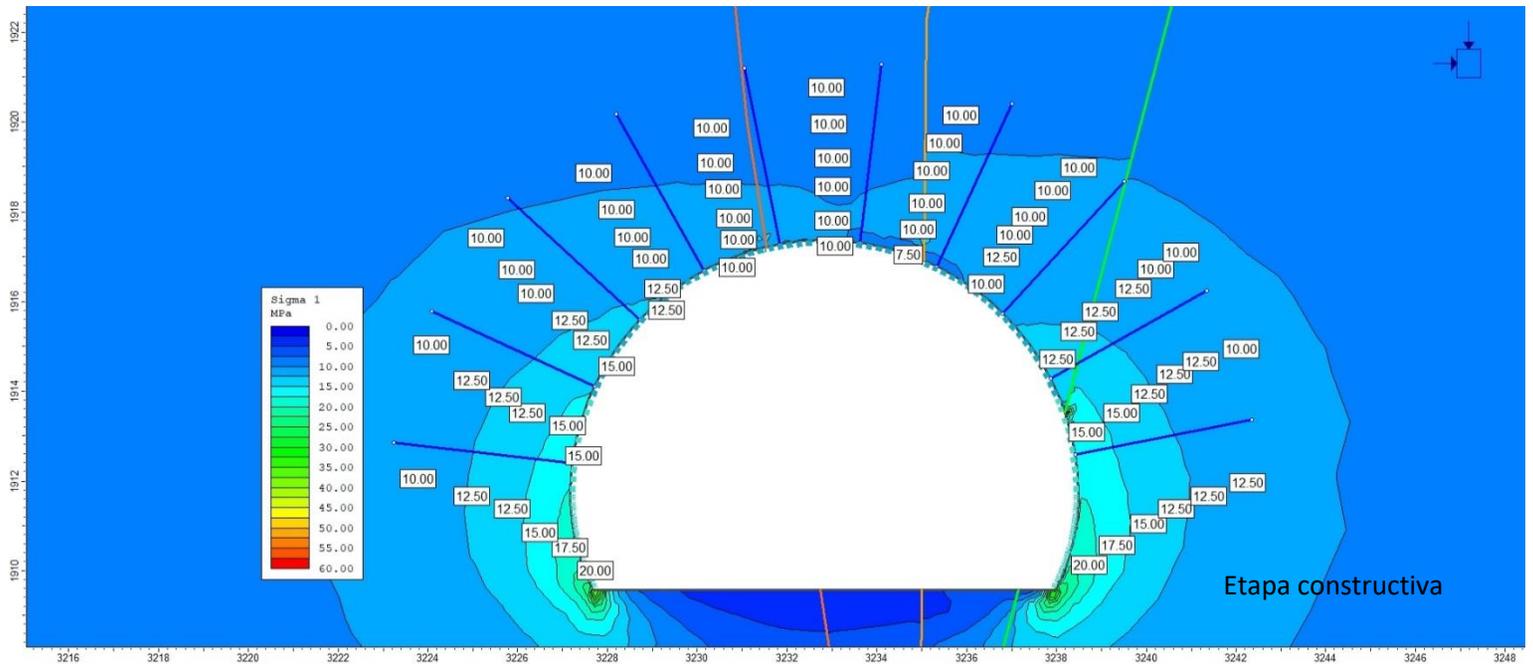
Luego de 25 años



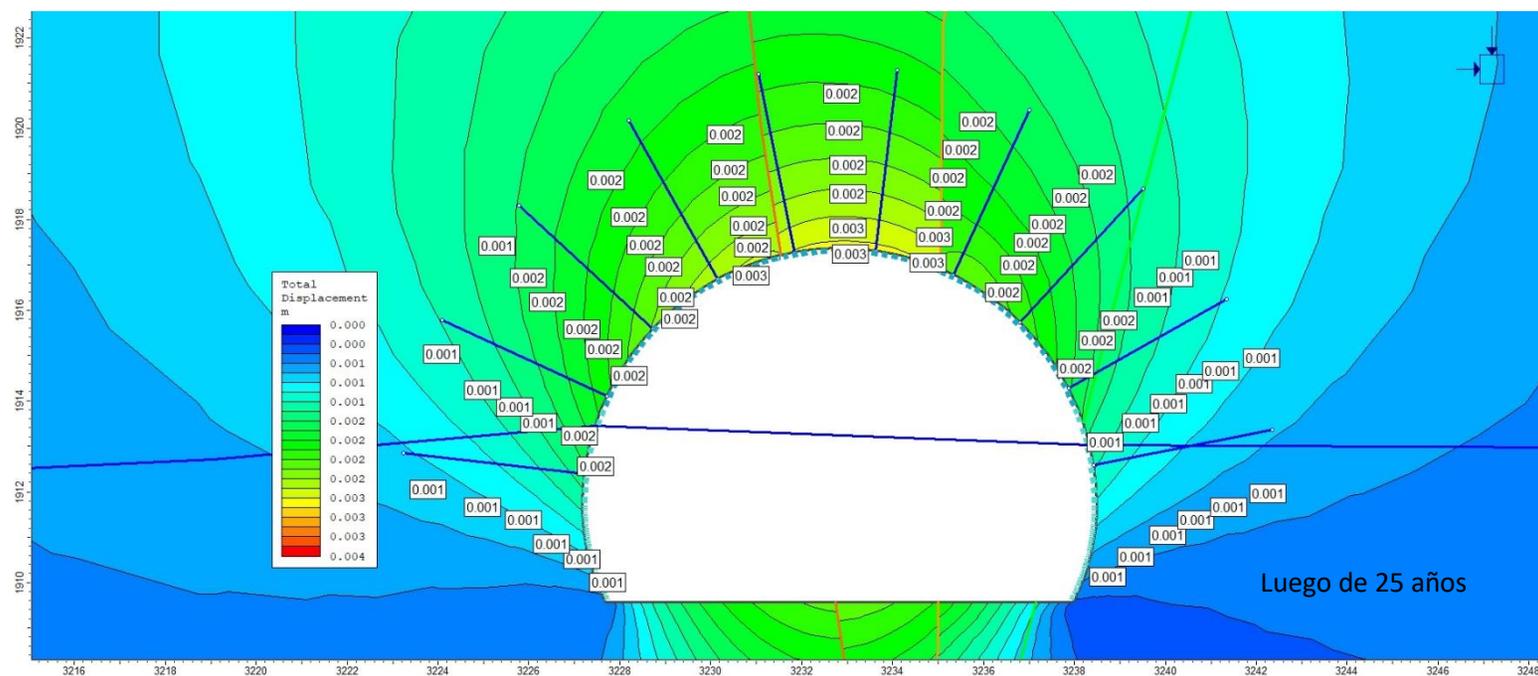
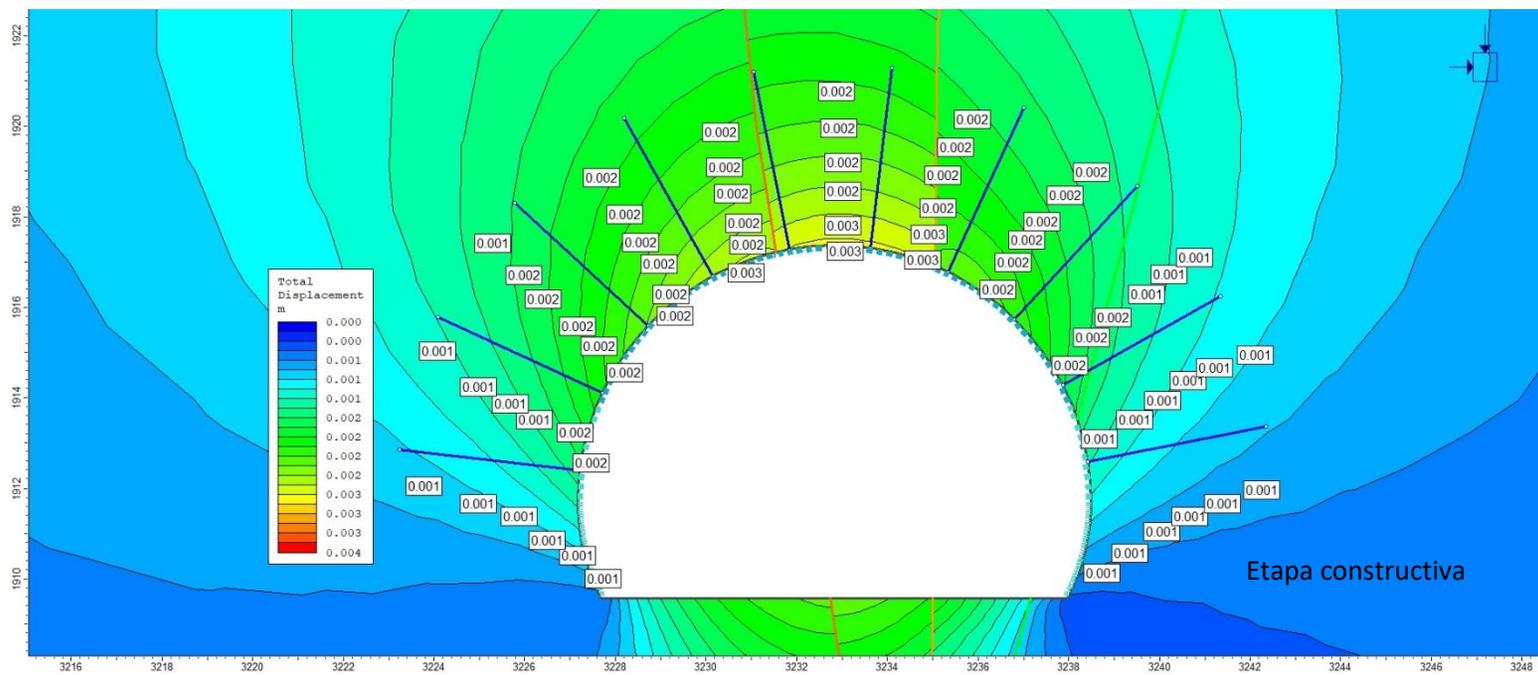
Sector 4 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



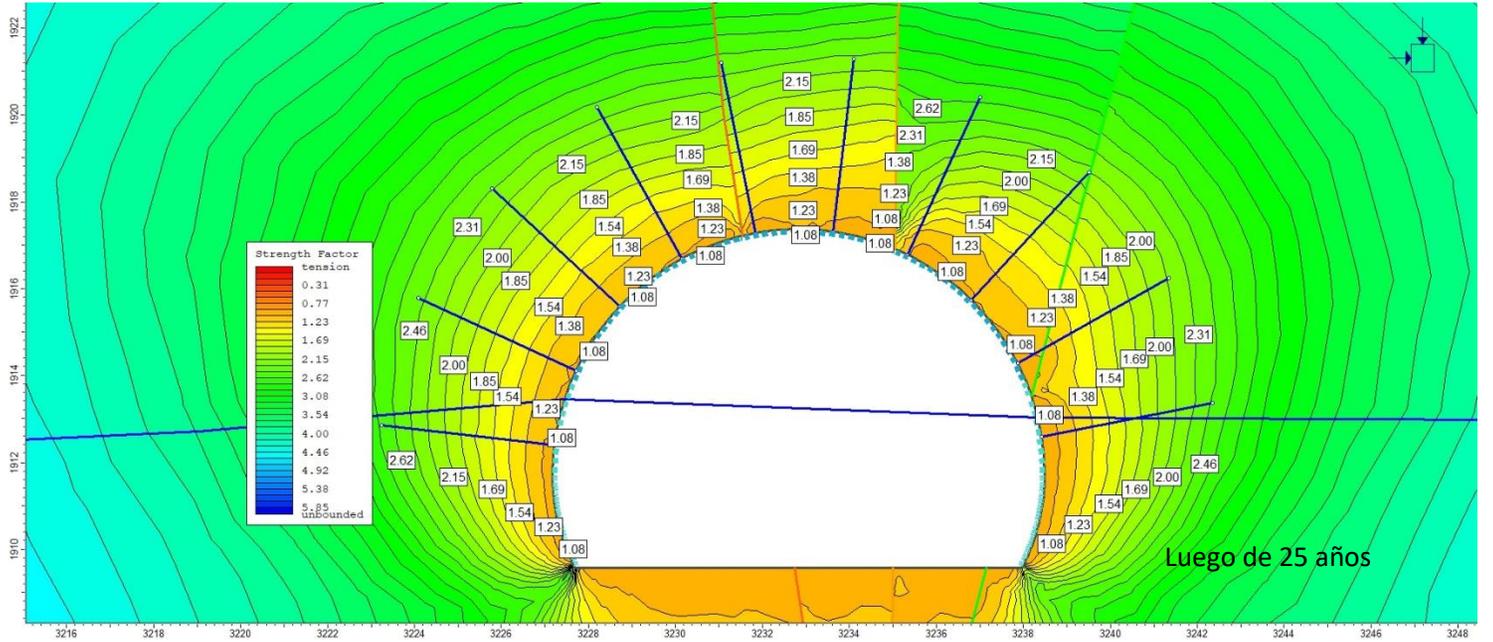
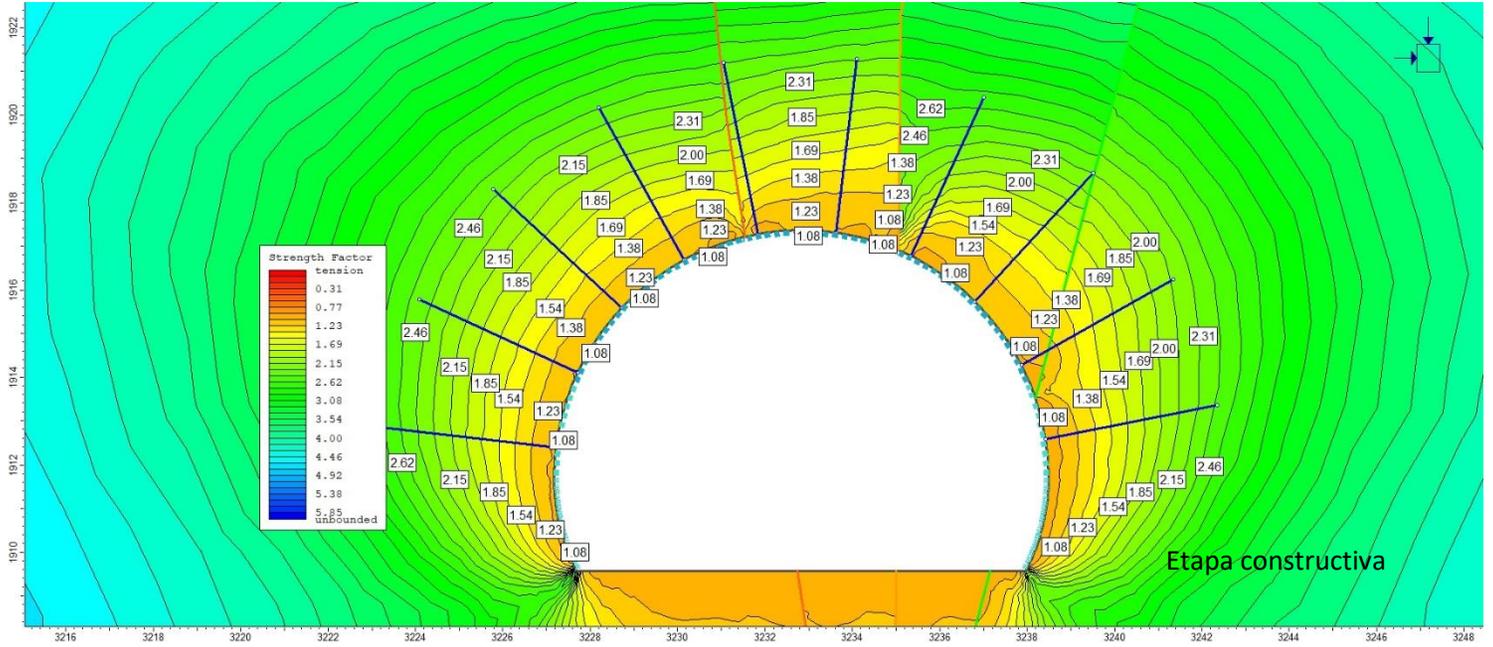
Sector 4 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 4 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

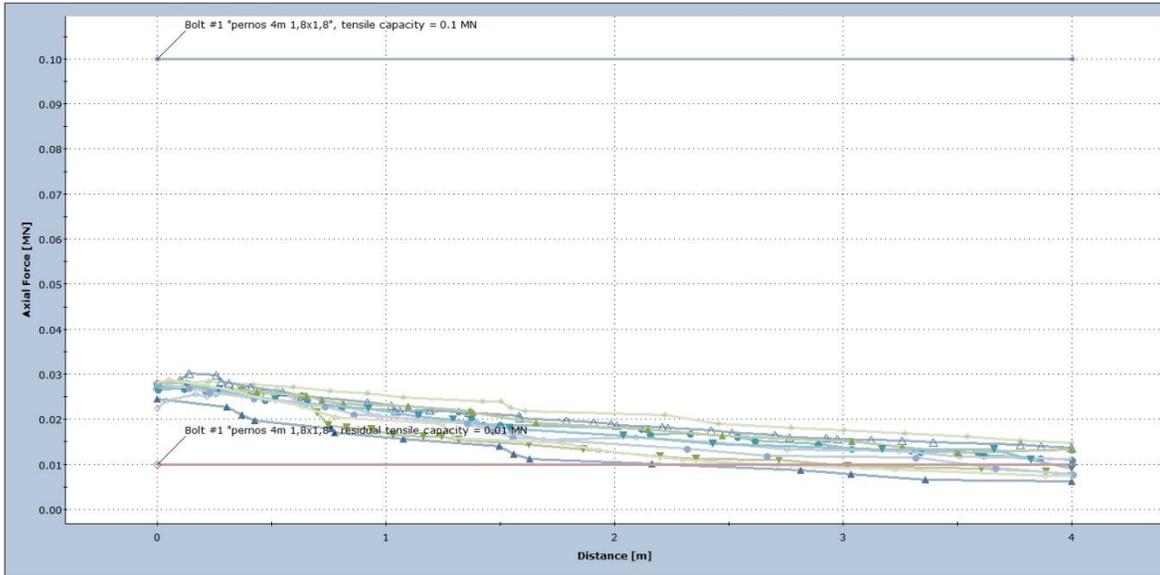


Sector 4 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



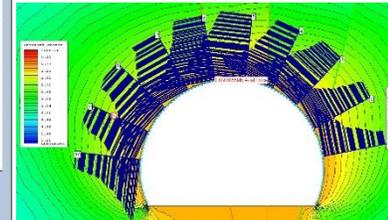
Sector 4 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

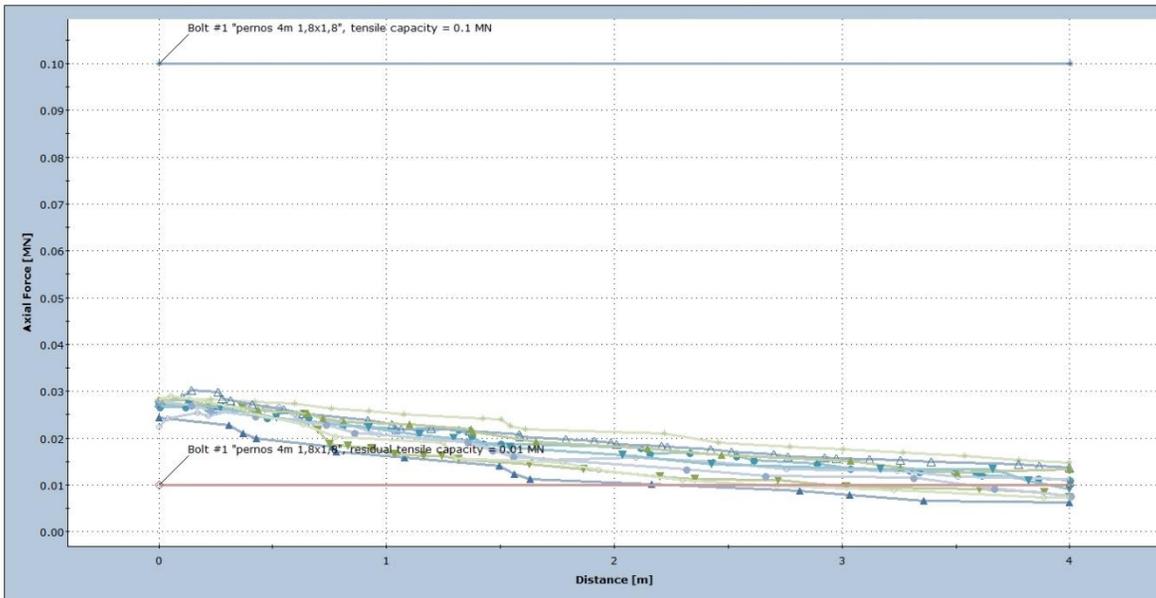


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: Etapa constructiva
- ◆ Bolt #5 Stage: Etapa constructiva
- △ Bolt #6 Stage: Etapa constructiva
- ▲ Bolt #7 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #8 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #10 Stage: Etapa constructiva
- ▲ Bolt #1 Capacity
- ◆ Bolt #1 Residual Capacity

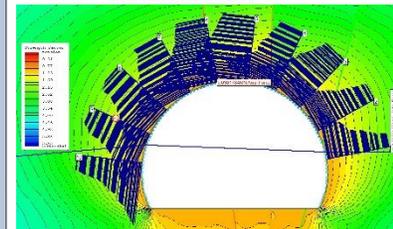


Axial Force



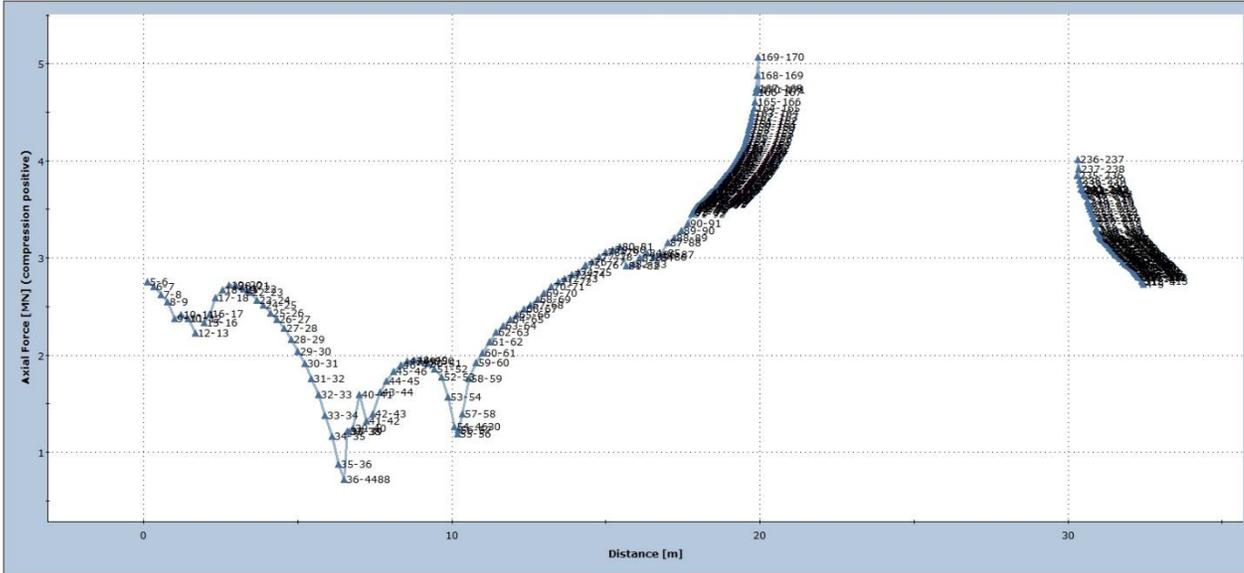
Luego de 25 años

- ▲ Bolt #1 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ◆ Bolt #5 Stage: Resistencia luego de 25 años
- △ Bolt #6 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▲ Bolt #7 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #8 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #10 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▲ Bolt #1 Capacity
- ◆ Bolt #1 Residual Capacity

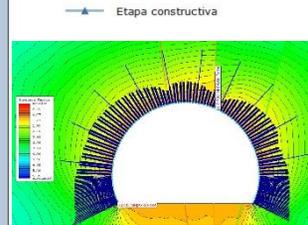


Sector 4 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

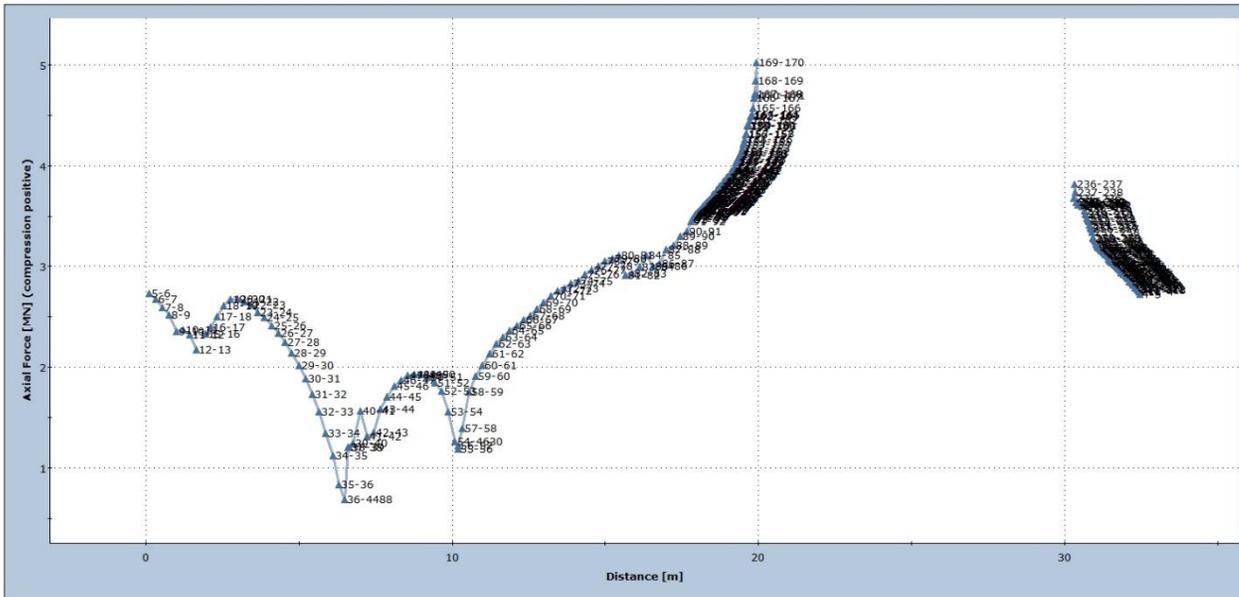
Axial Force



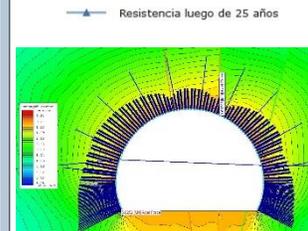
Etapa constructiva



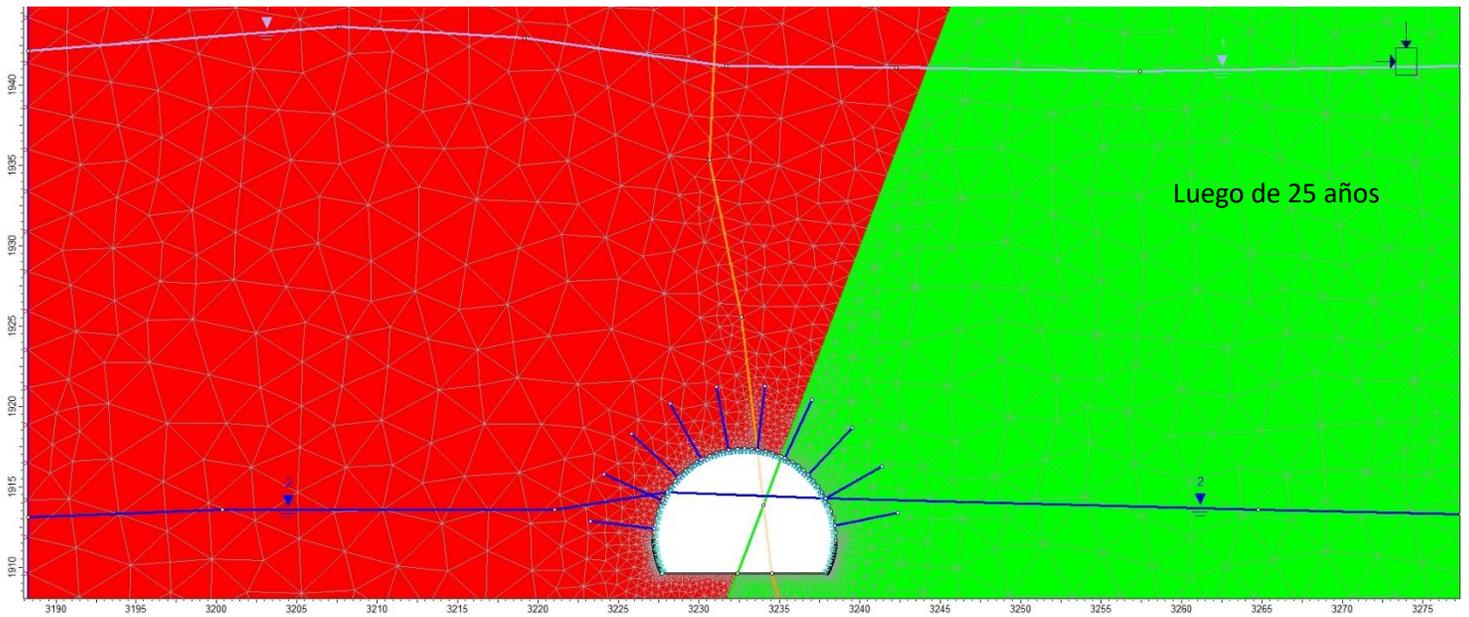
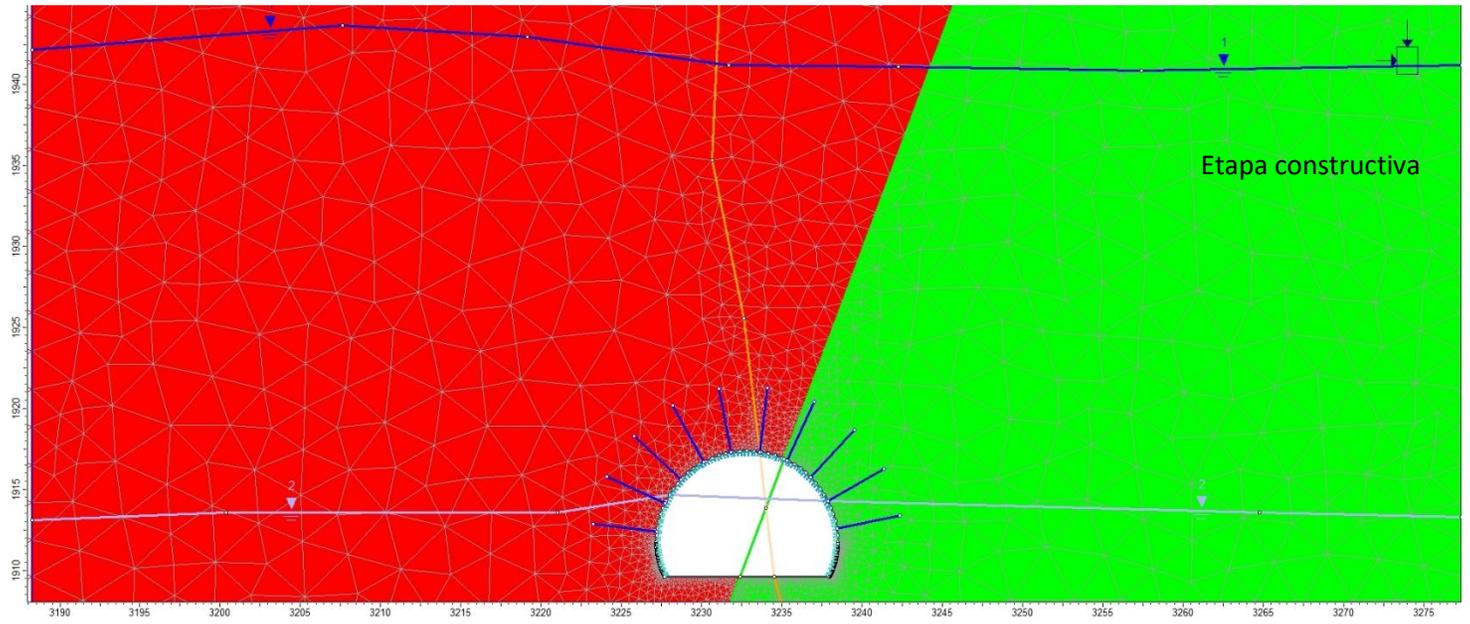
Axial Force



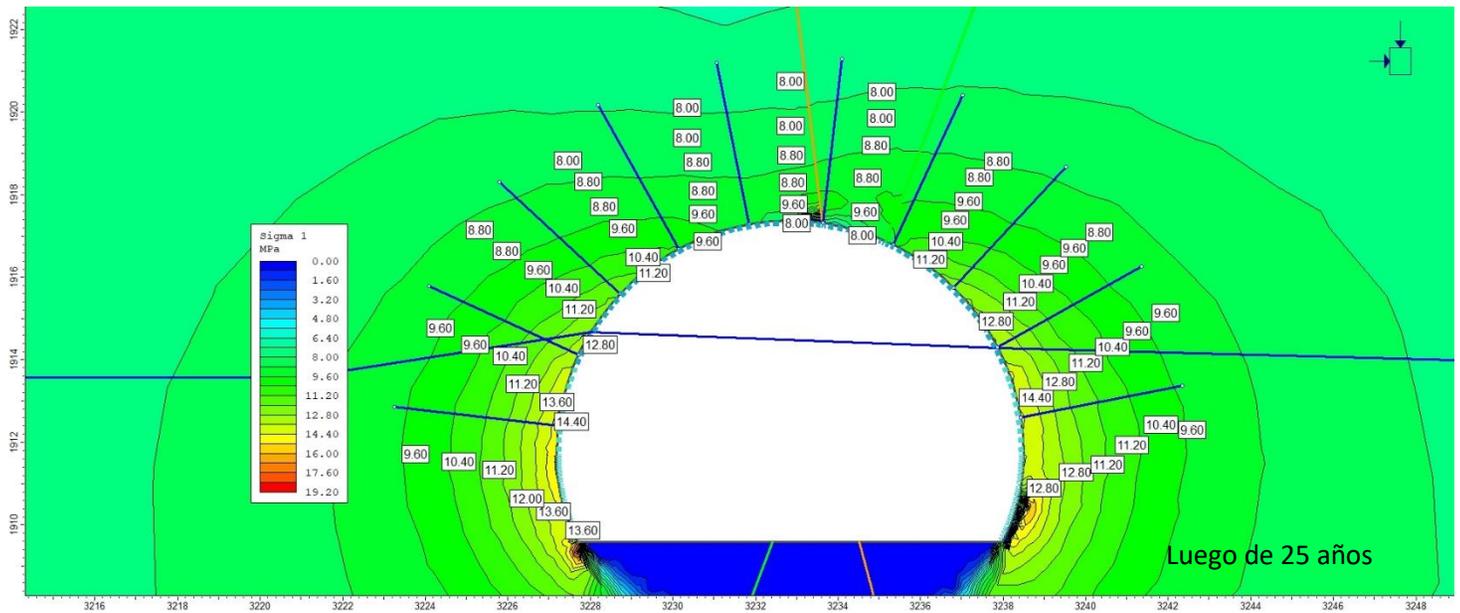
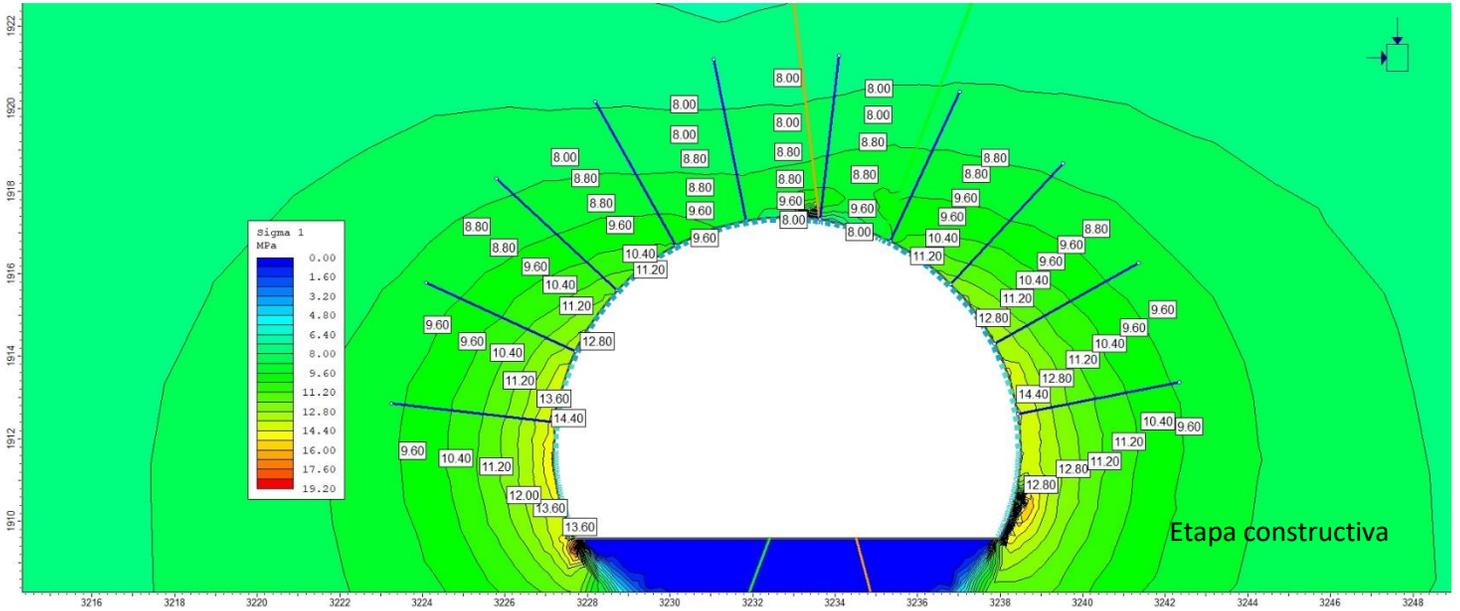
Luego de 25 años



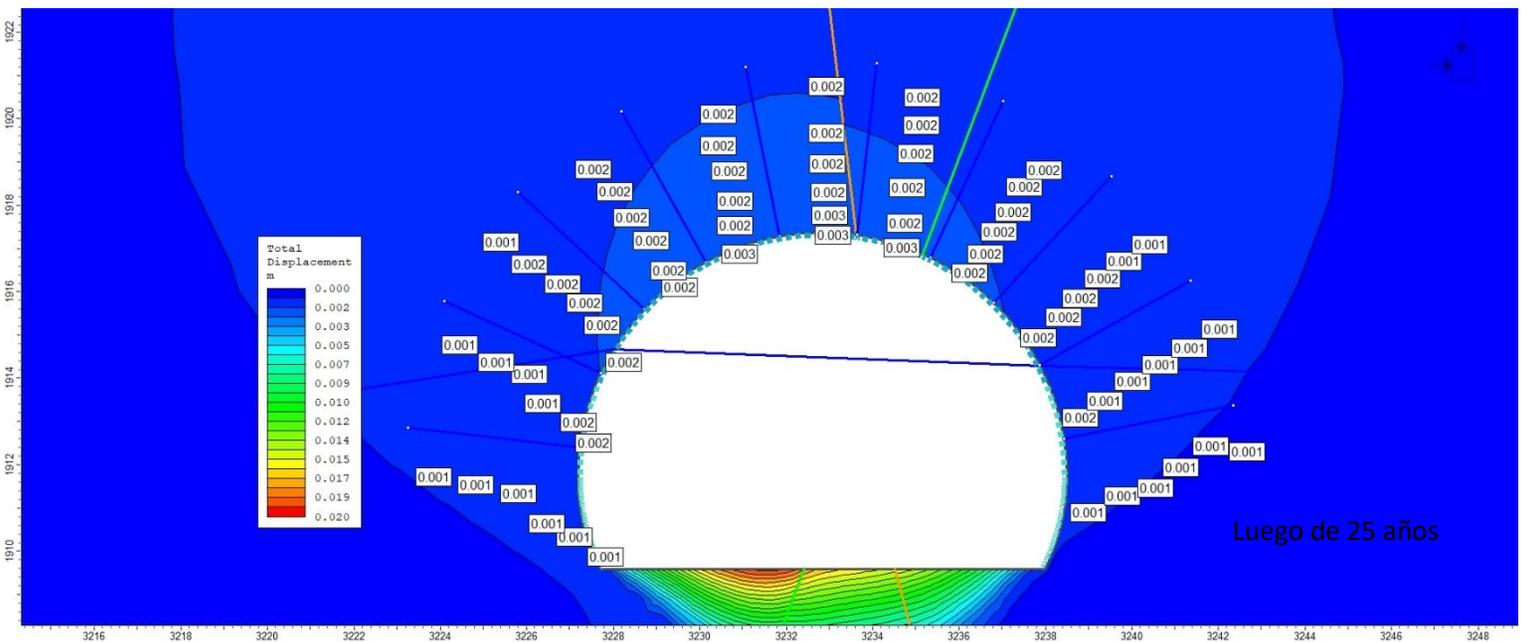
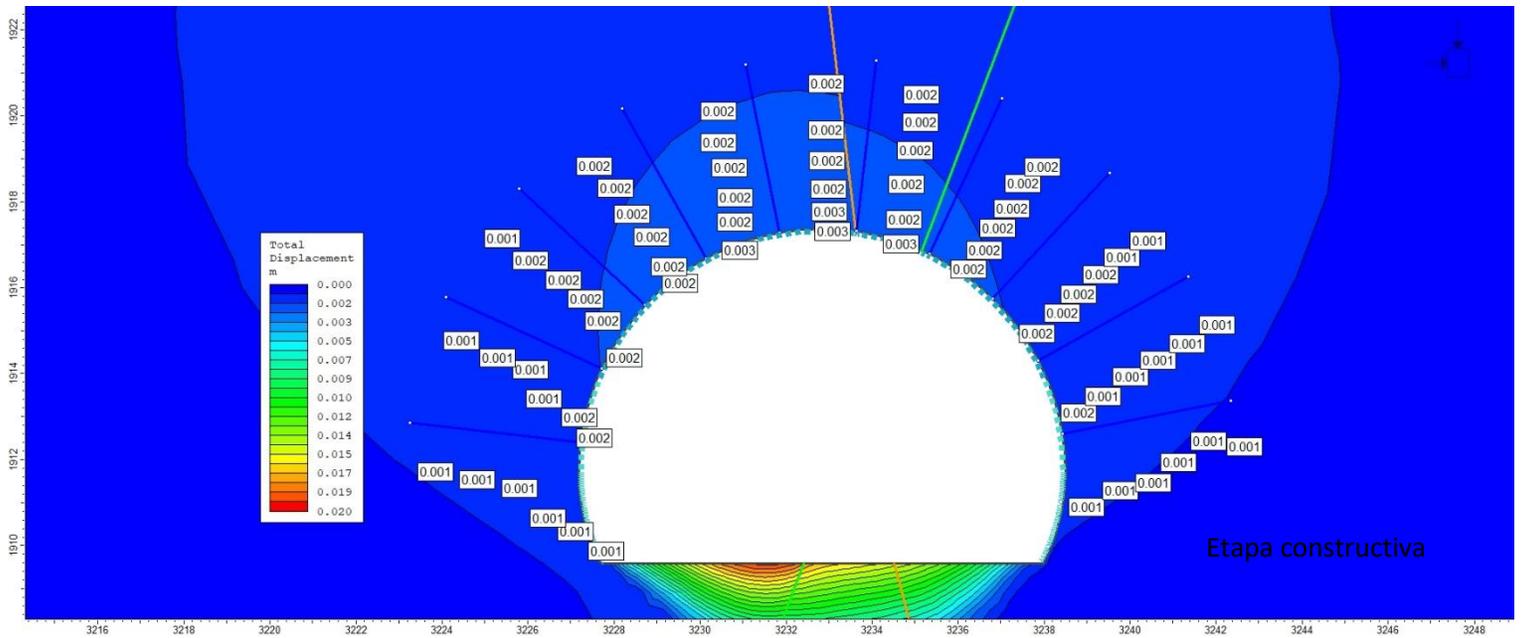
Sector 5 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



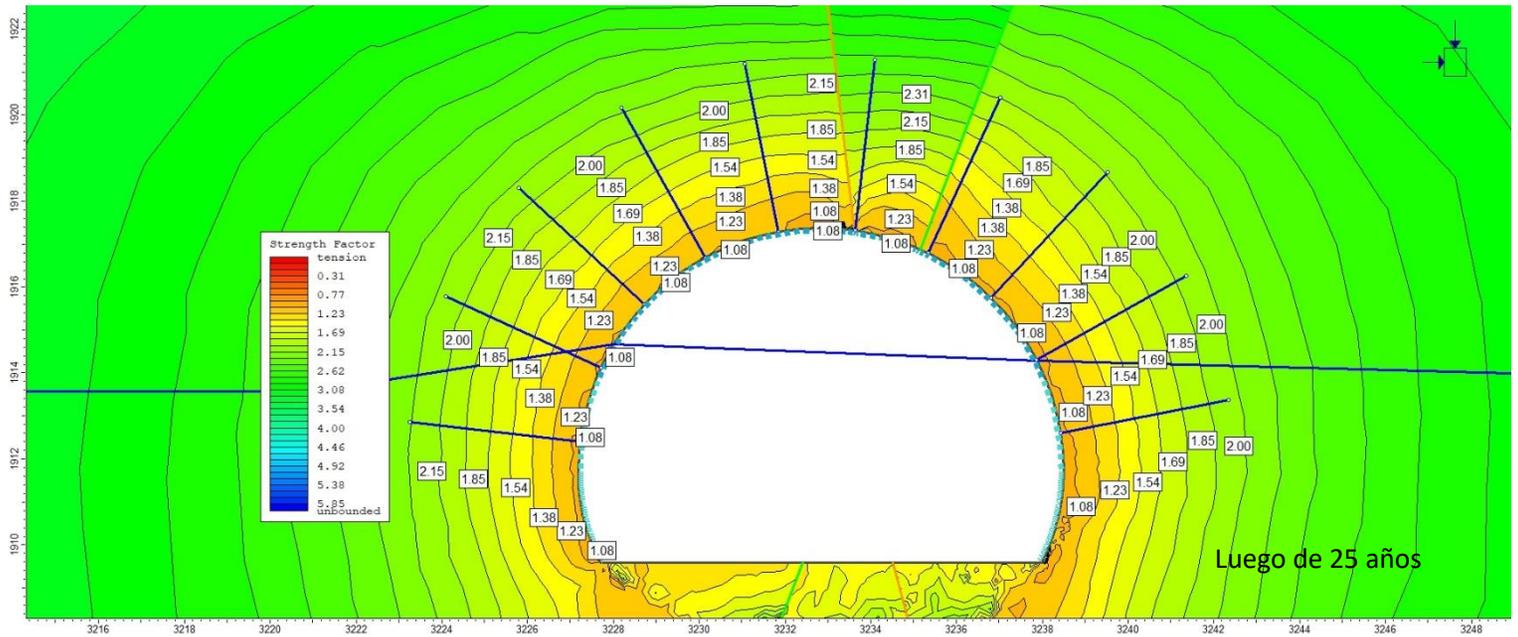
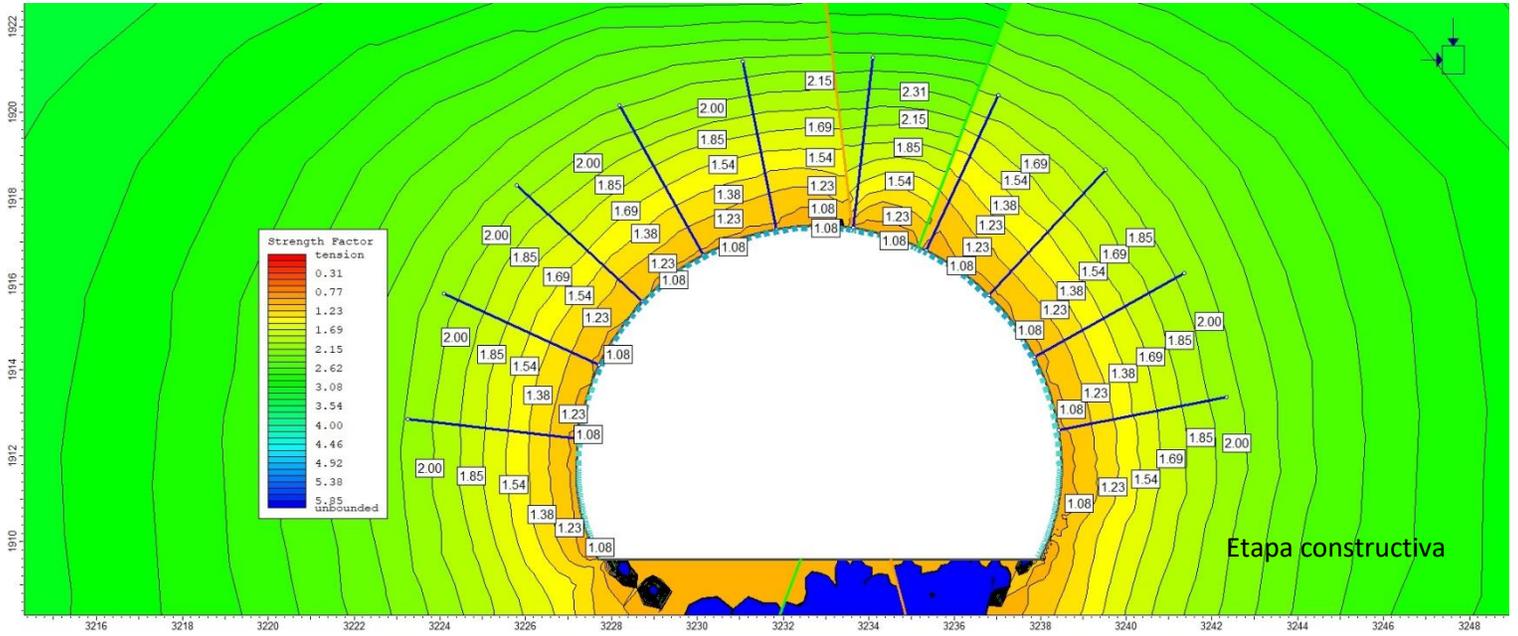
Sector 5 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 5 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

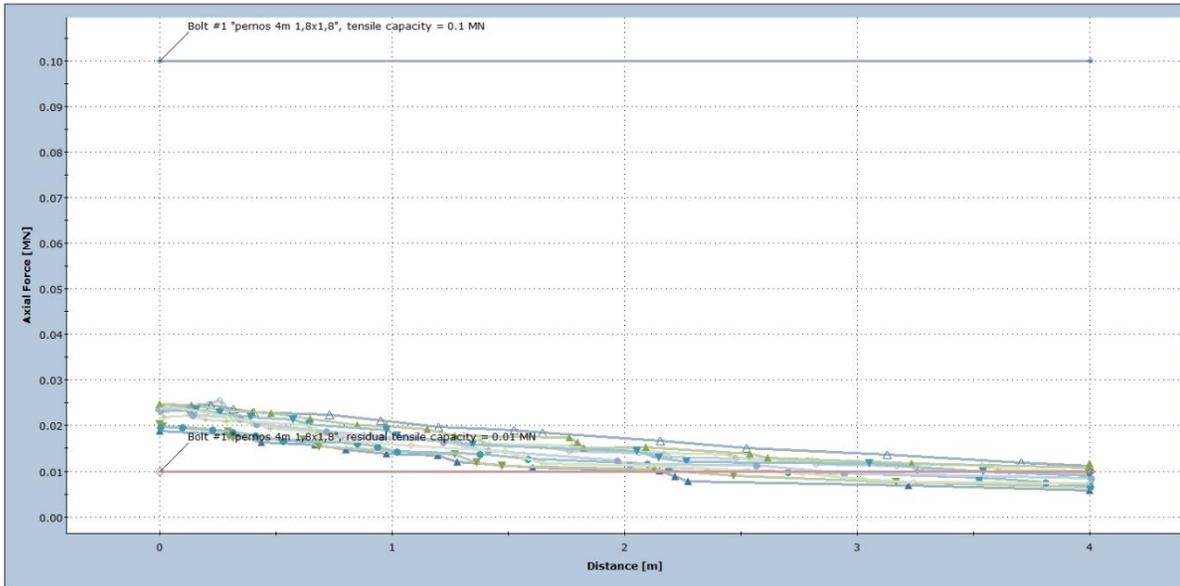


Sector 5 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



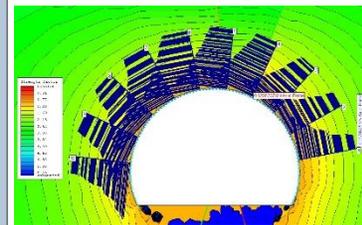
Sector 5 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

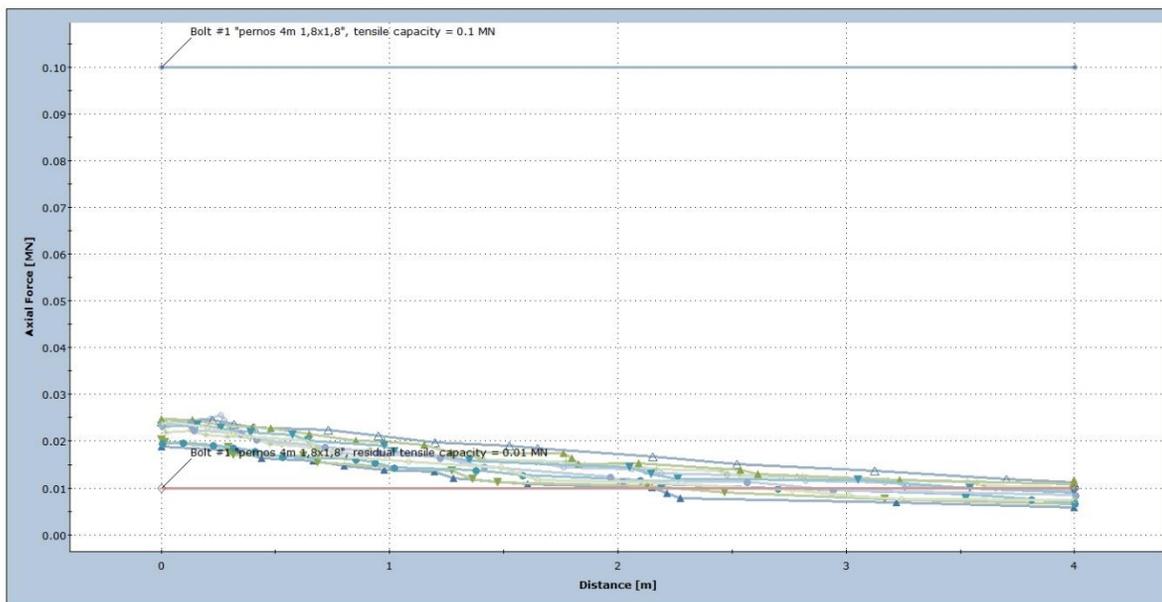


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: Etapa constructiva
- ◆ Bolt #5 Stage: Etapa constructiva
- △ Bolt #6 Stage: Etapa constructiva
- ▲ Bolt #7 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #8 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #10 Stage: Etapa constructiva
- ◆ Bolt #1 Capacity
- △ Bolt #1 Residual Capacity

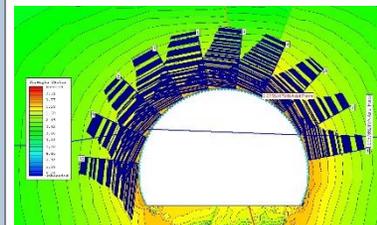


Axial Force

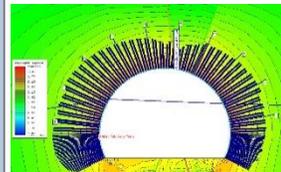
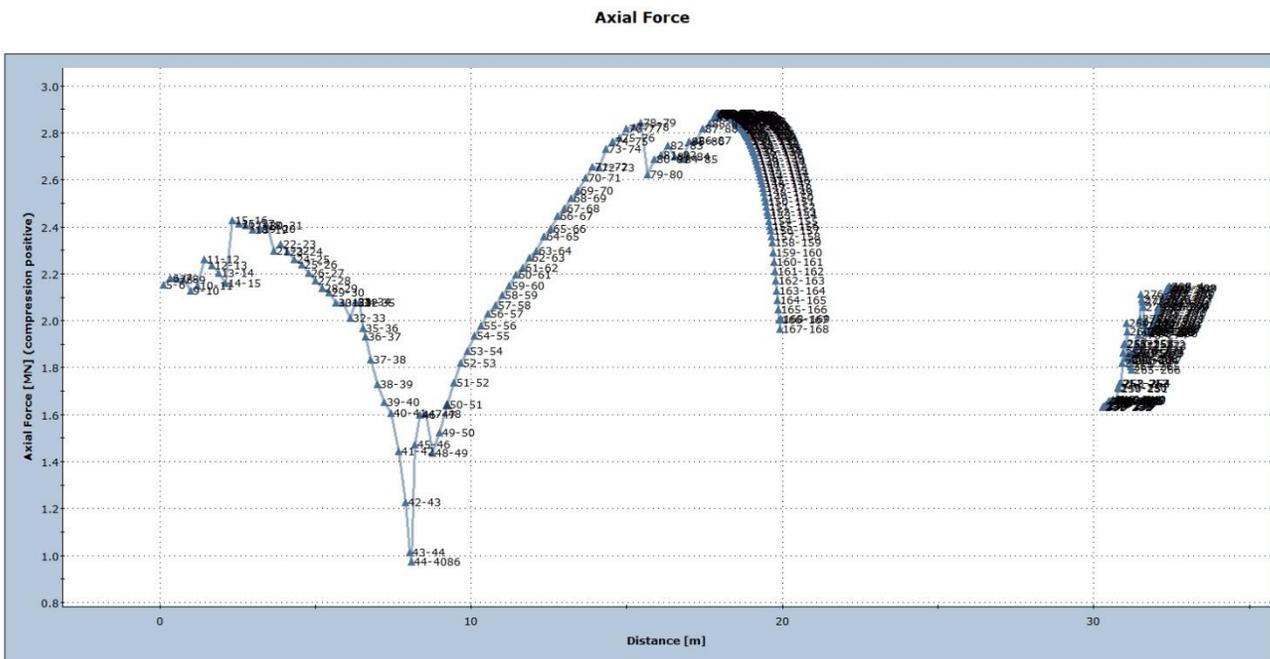
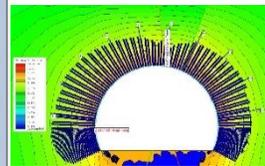
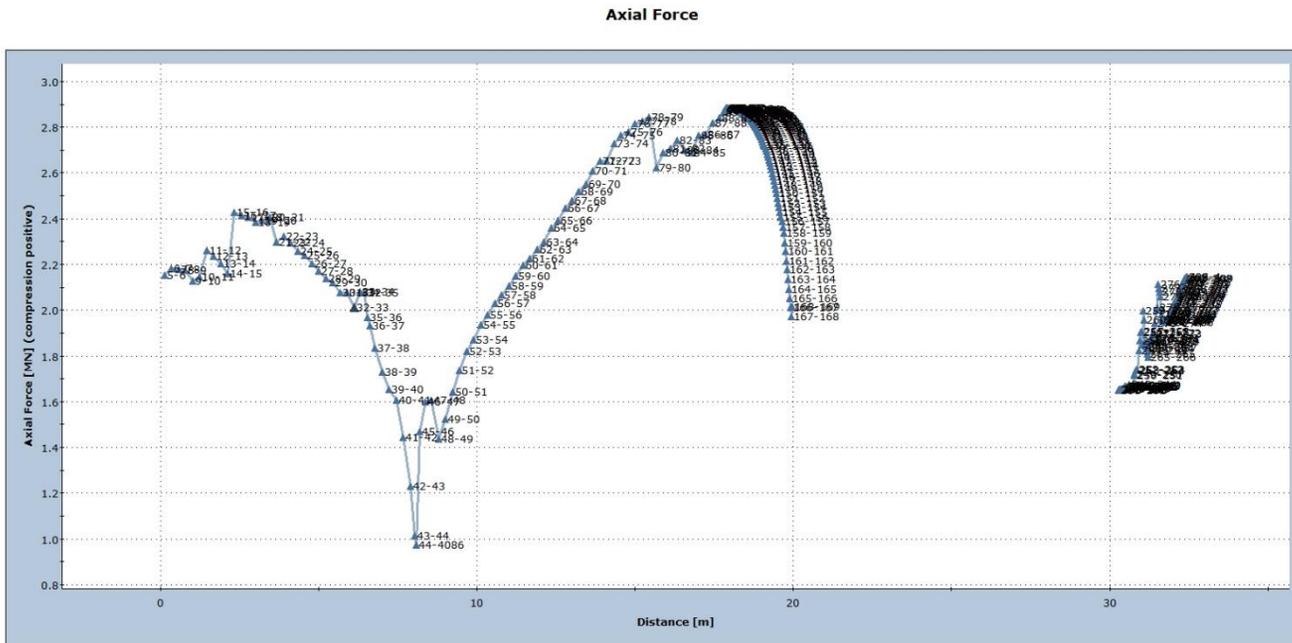


Luego de 25 años

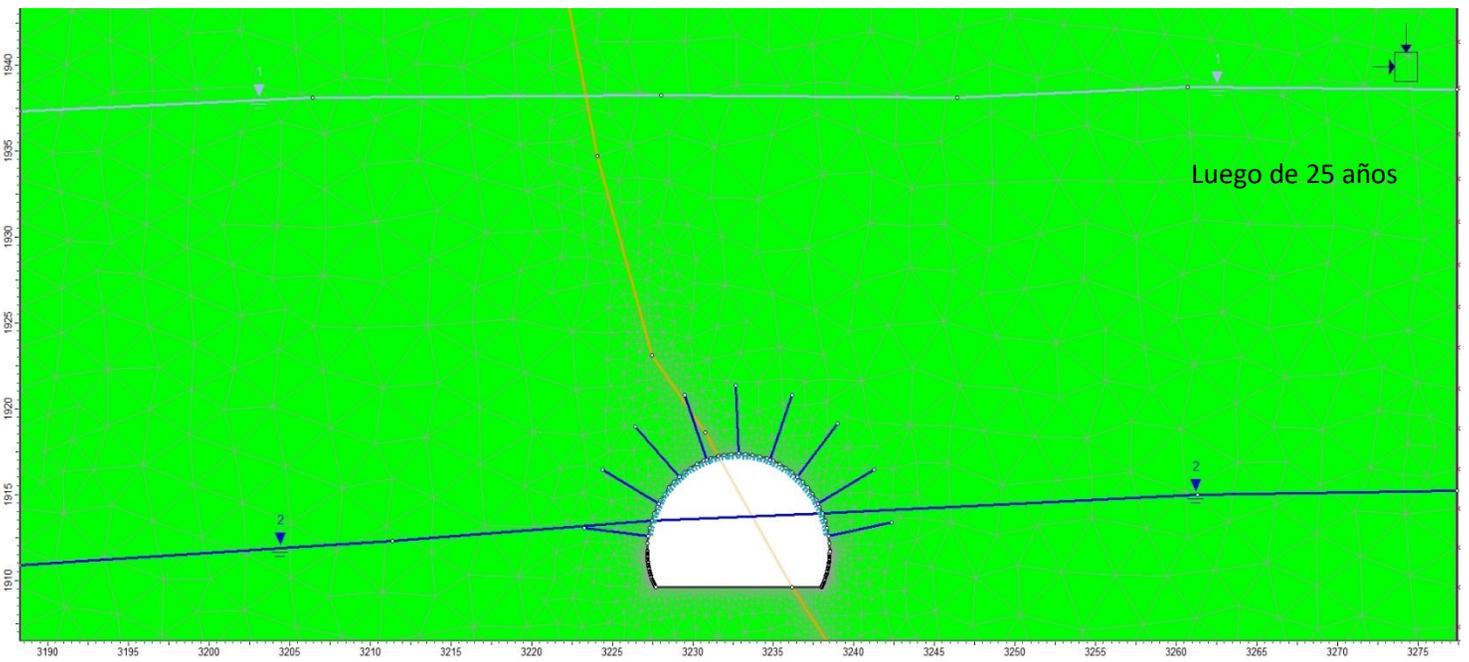
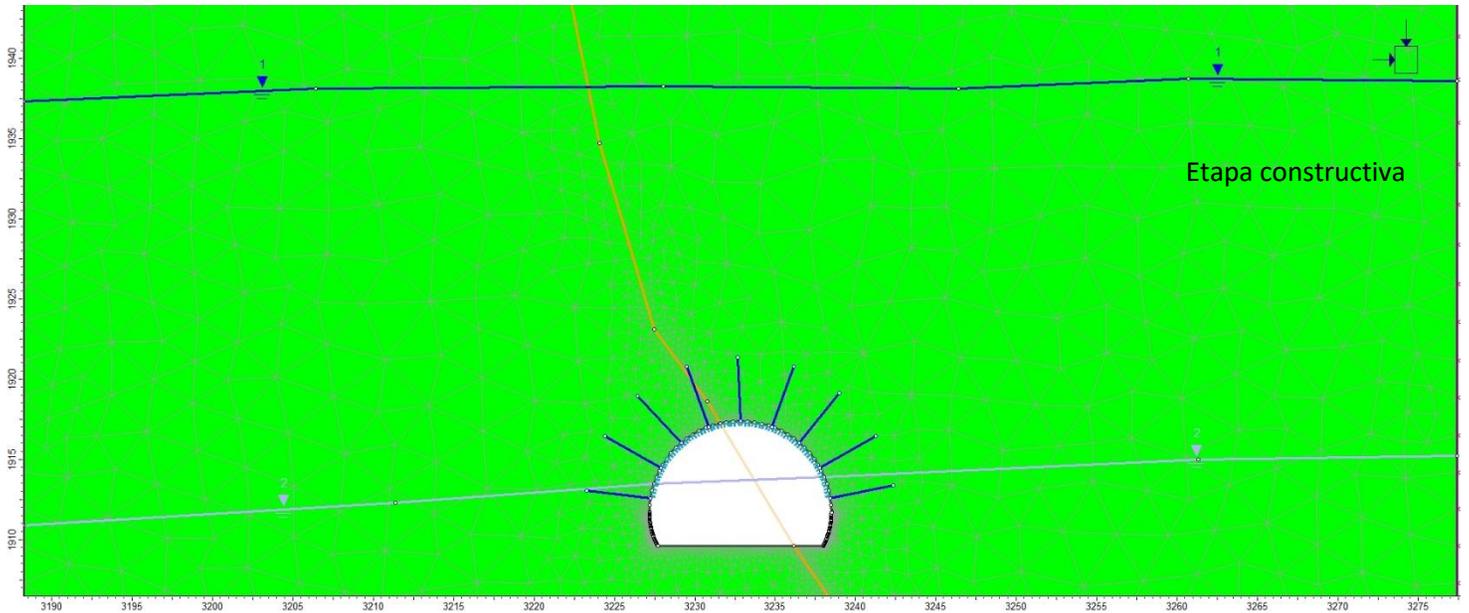
- ▲ Bolt #1 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ◆ Bolt #5 Stage: Resistencia luego de 25 años
- △ Bolt #6 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▲ Bolt #7 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #8 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #10 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ◆ Bolt #1 Capacity
- △ Bolt #1 Residual Capacity



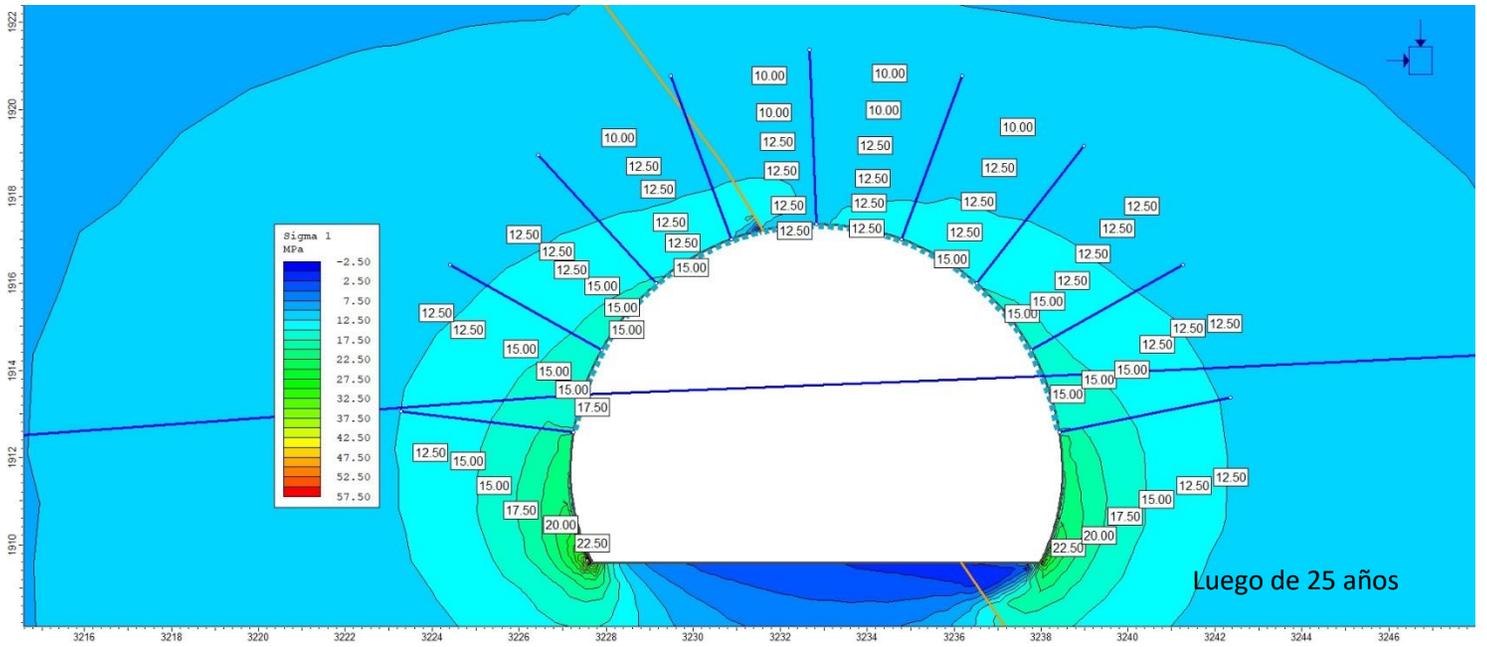
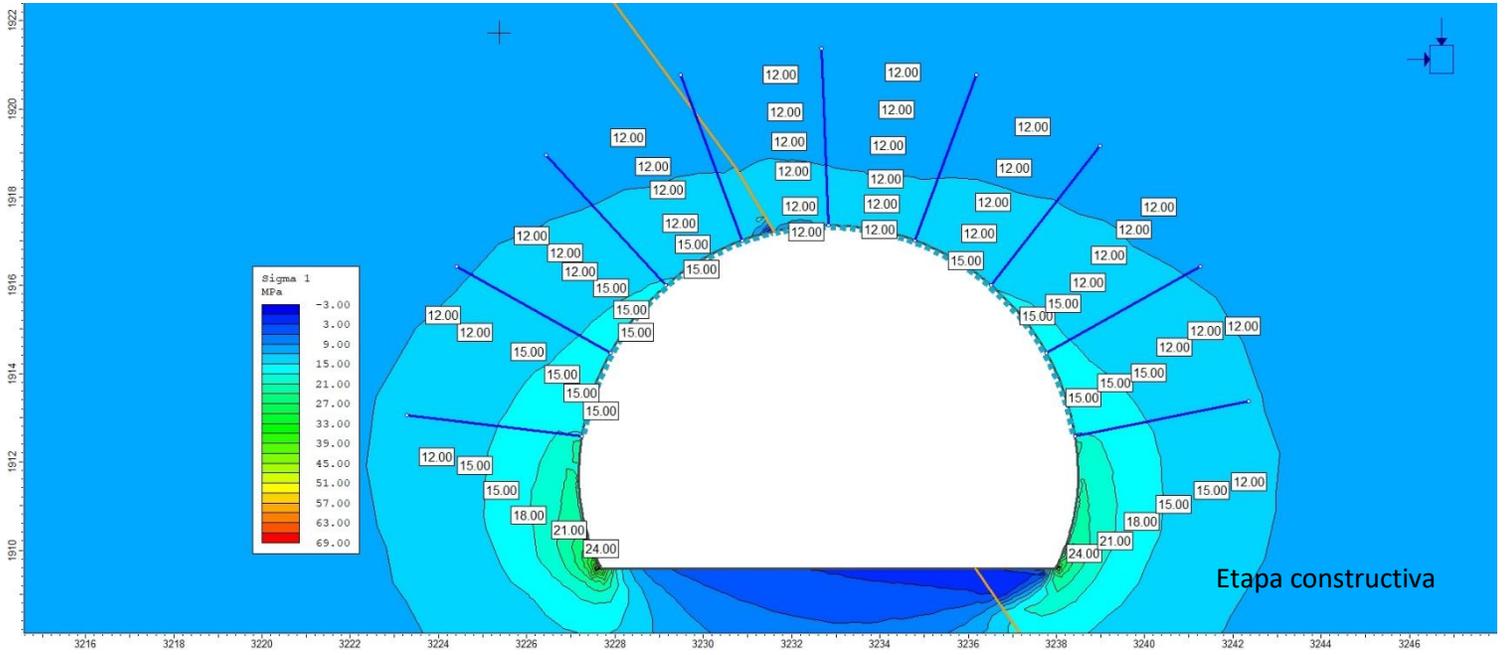
Sector 5 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años



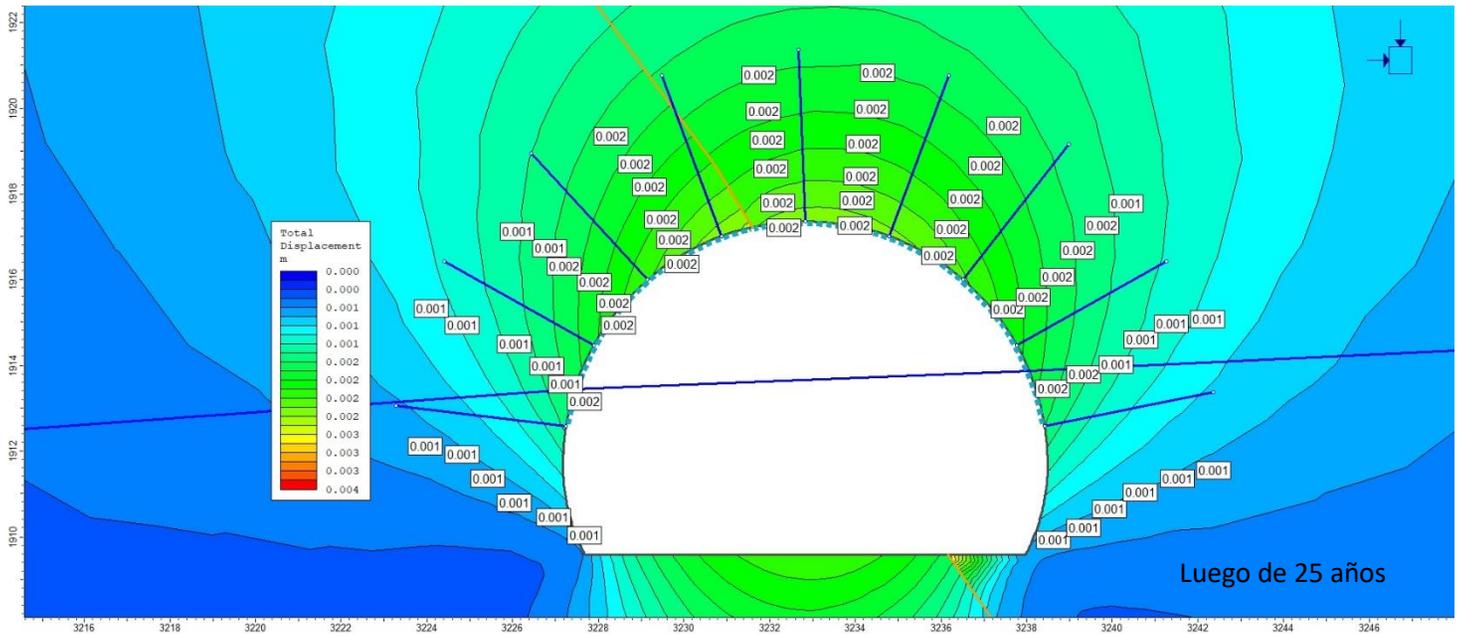
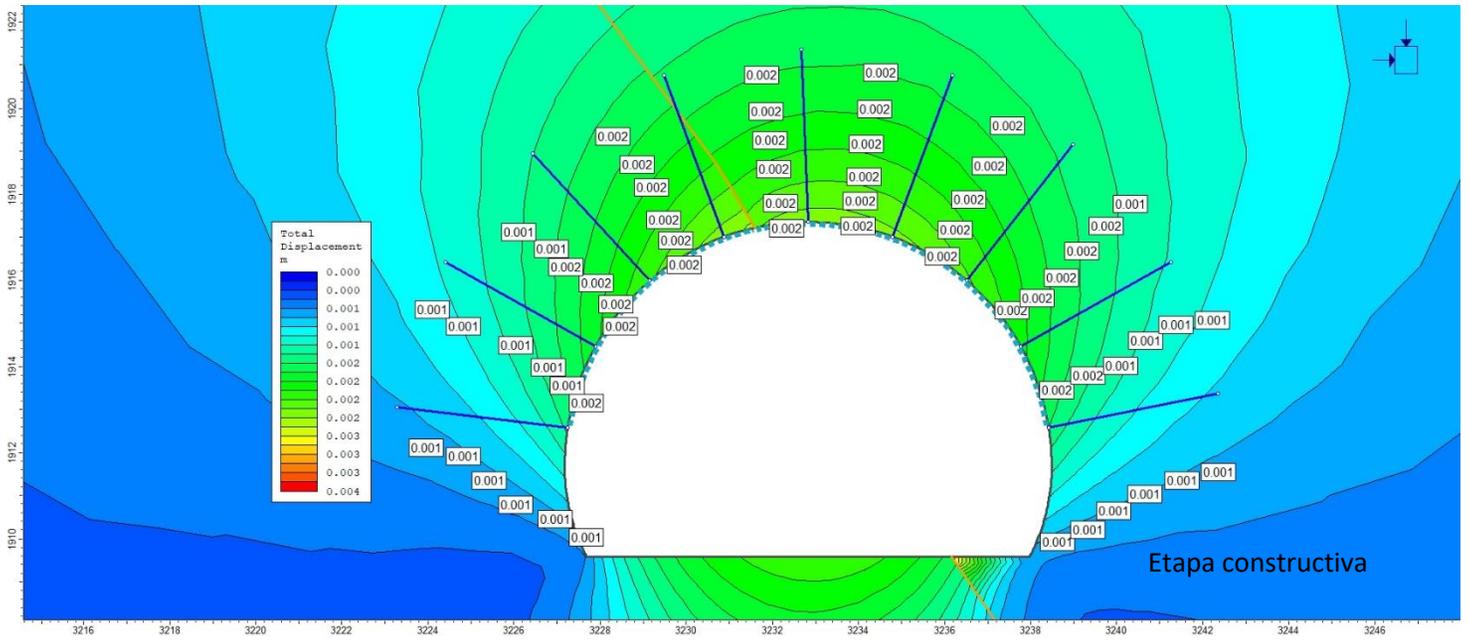
Sector 6 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



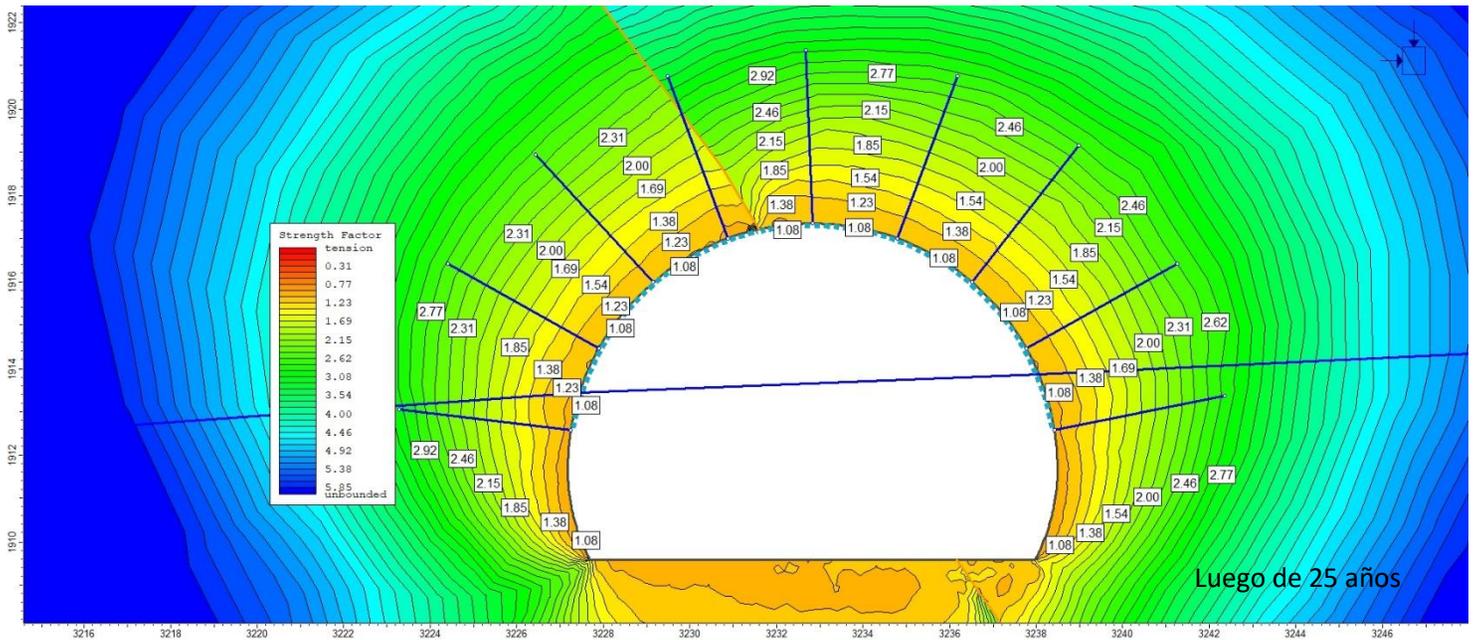
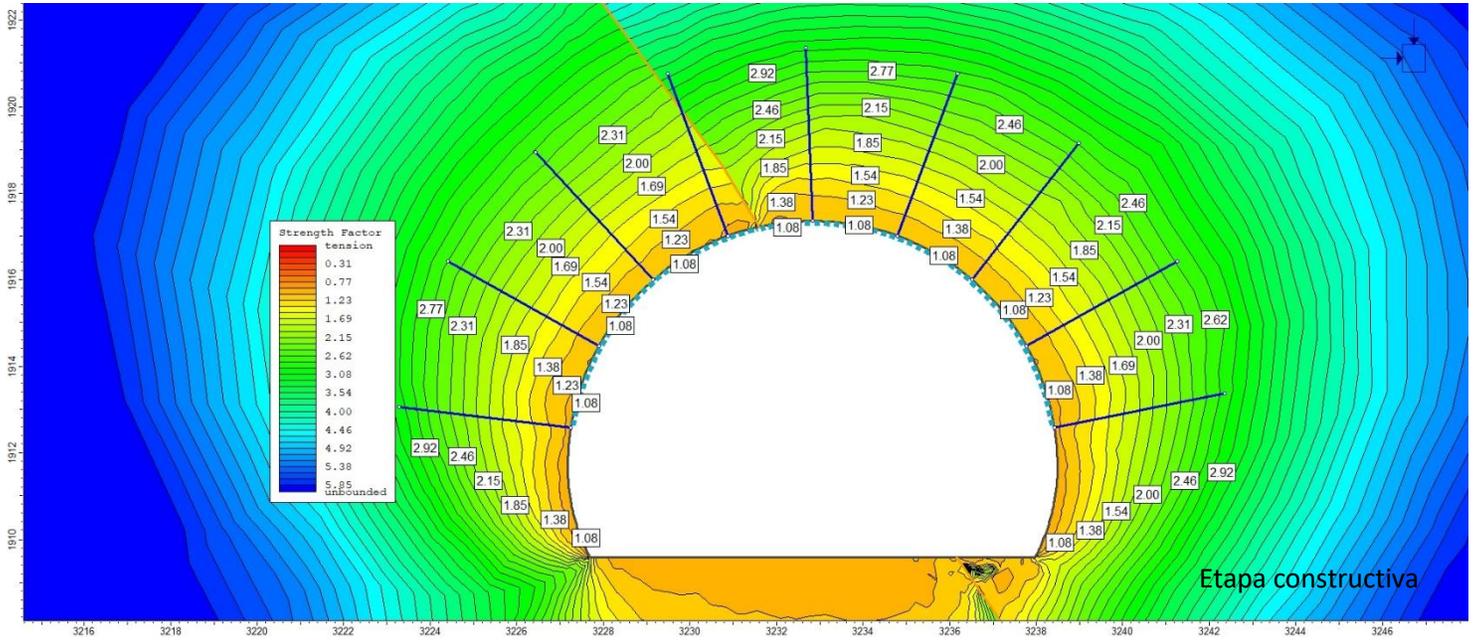
Sector 6 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 6 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

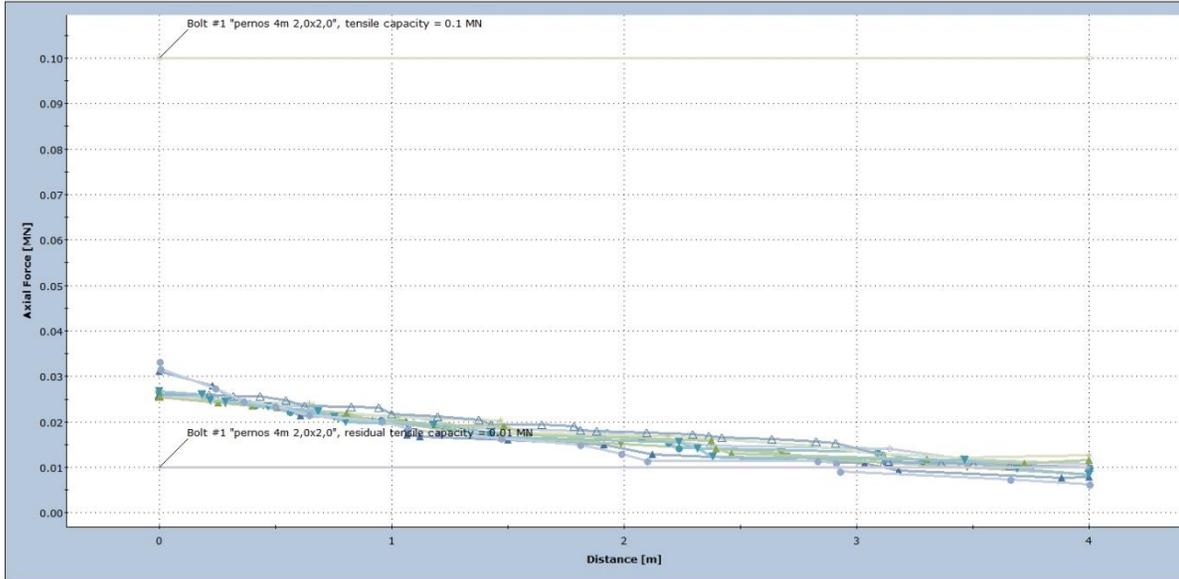


Sector 6 factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



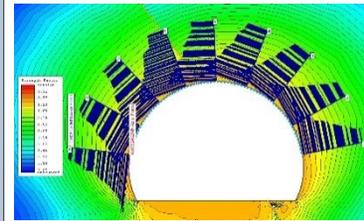
Sector 6 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

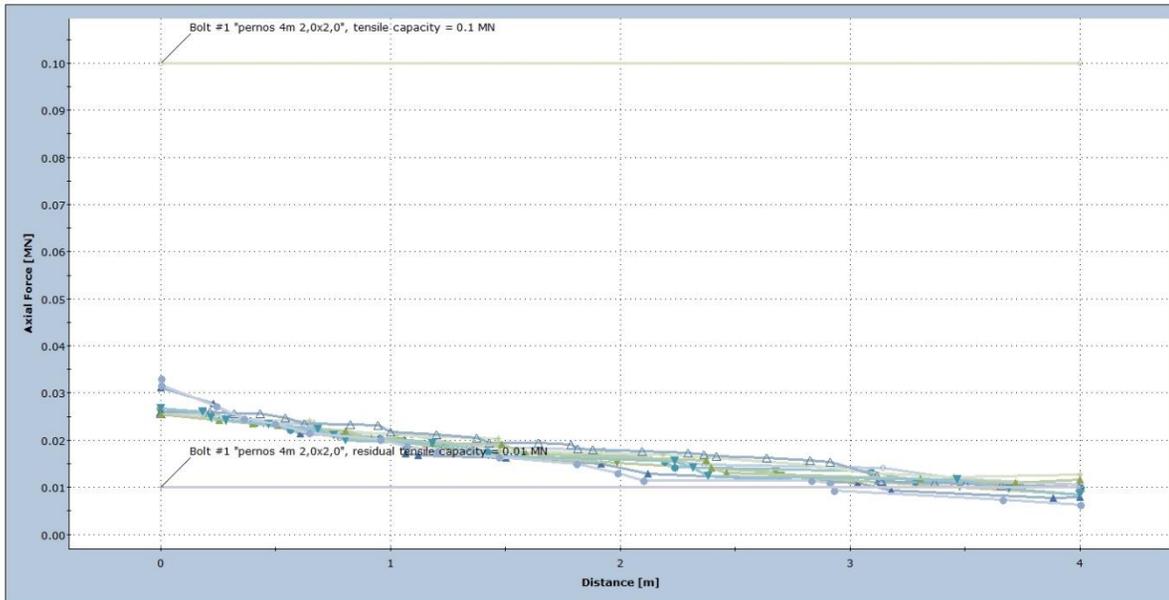


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: Etapa constructiva
- △ Bolt #5 Stage: Etapa constructiva
- ▽ Bolt #6 Stage: Etapa constructiva
- ▲ Bolt #7 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #8 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- △ Bolt #1 Residual Capacity

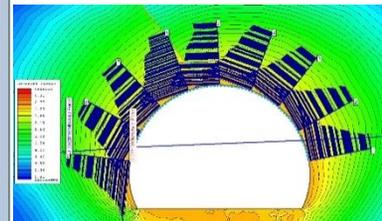


Axial Force



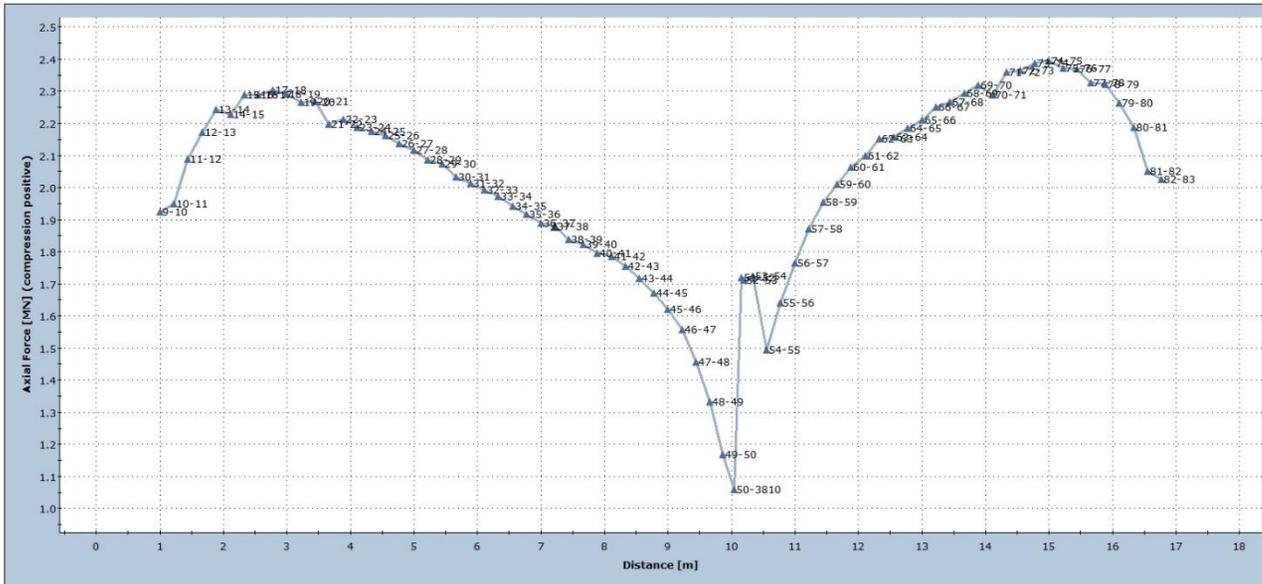
Luego de 25 años

- ▲ Bolt #1 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: Resistencia luego de 25 años
- △ Bolt #5 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▽ Bolt #6 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▲ Bolt #7 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #8 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- △ Bolt #1 Residual Capacity

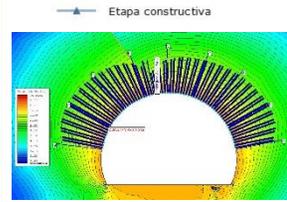


Sector 6 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

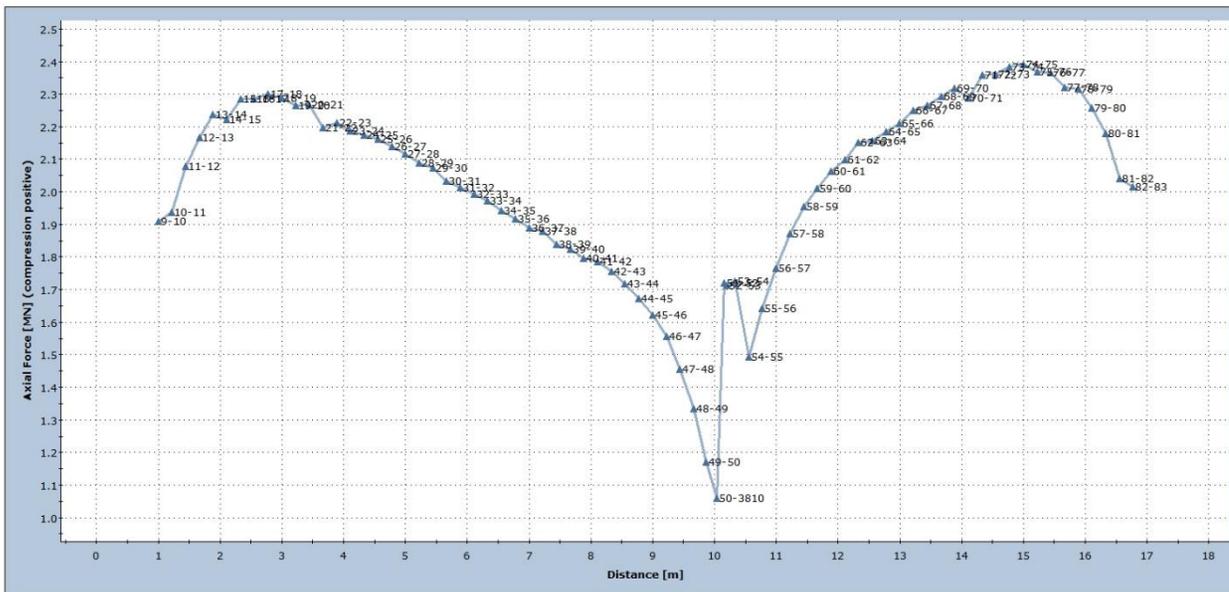
Axial Force



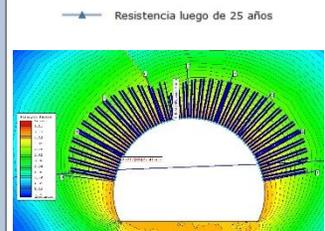
Etapa constructiva



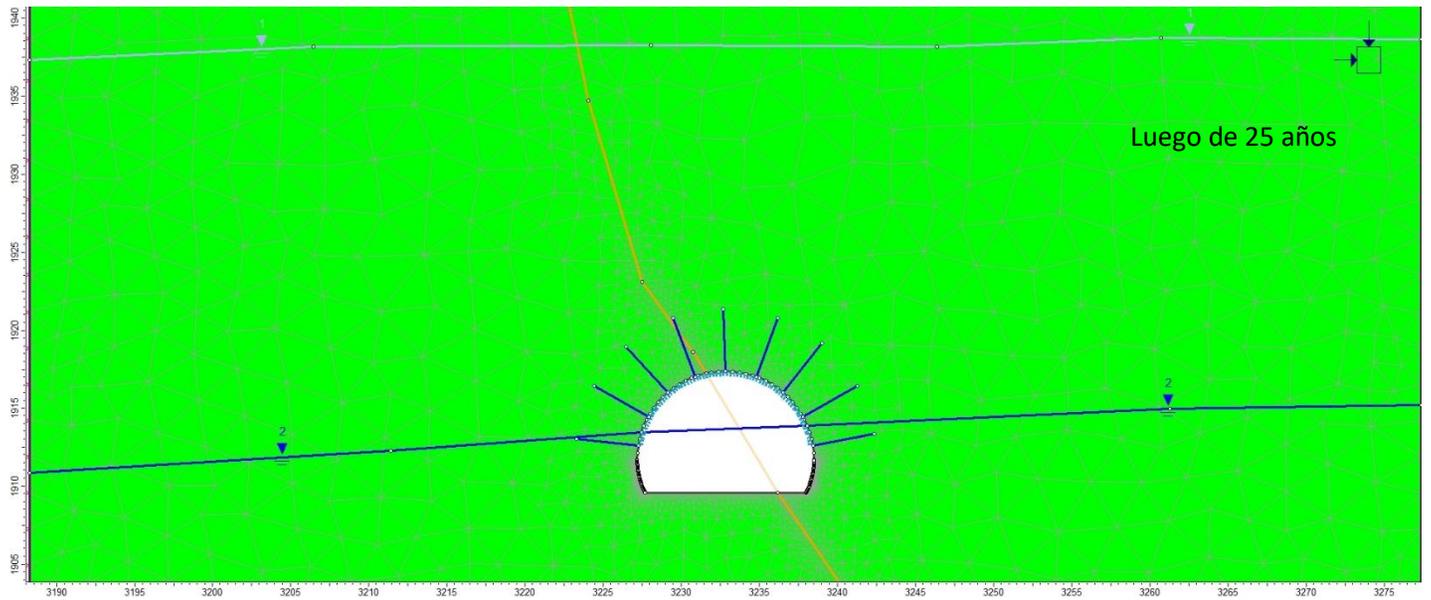
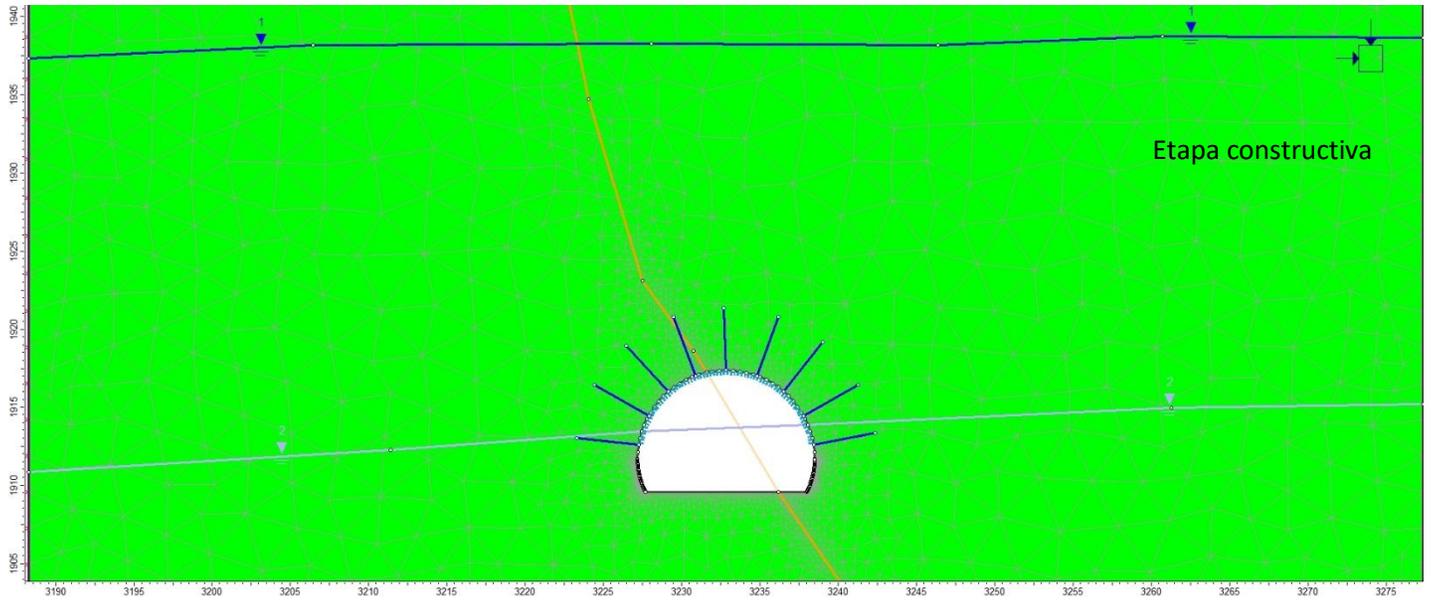
Axial Force



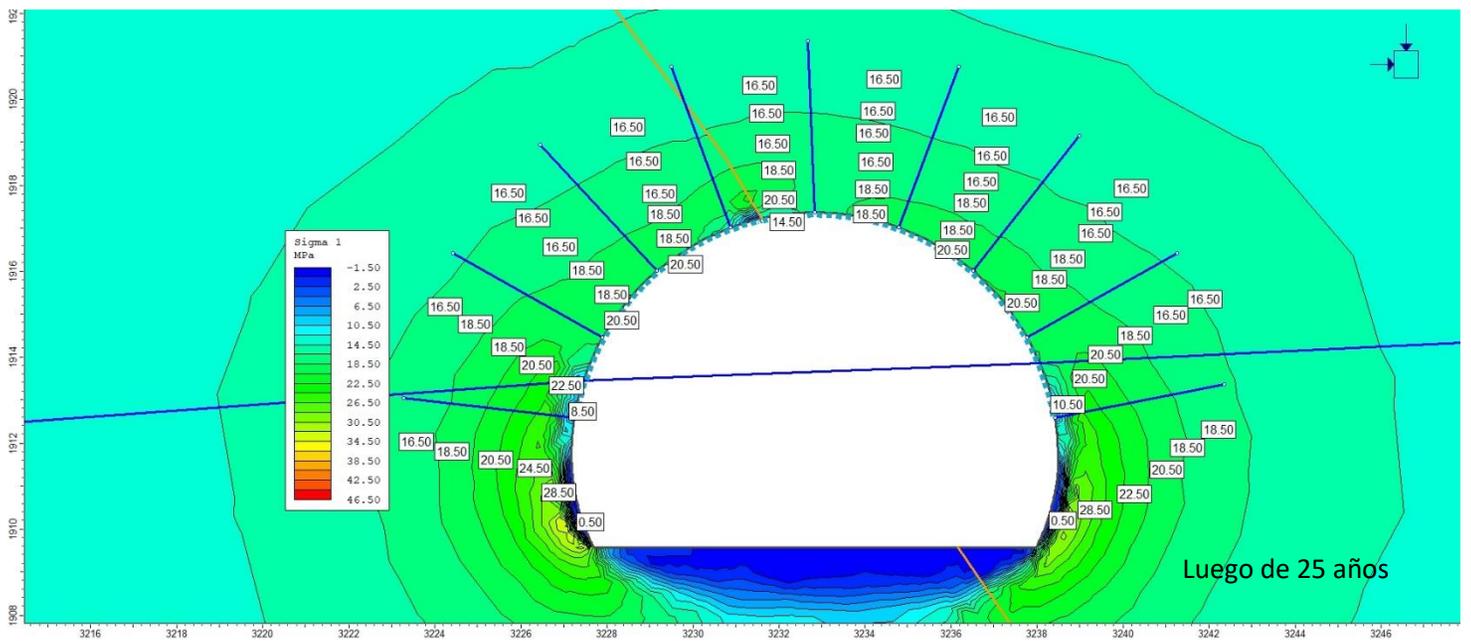
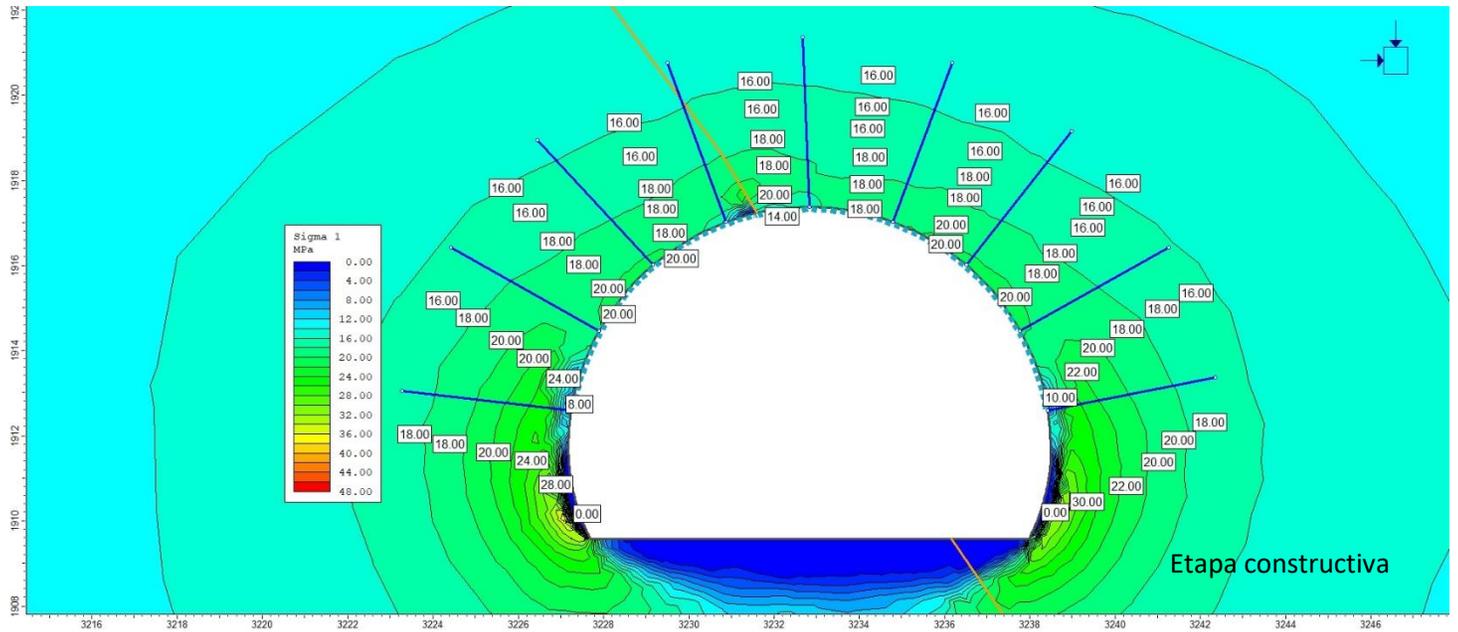
Luego de 25 años



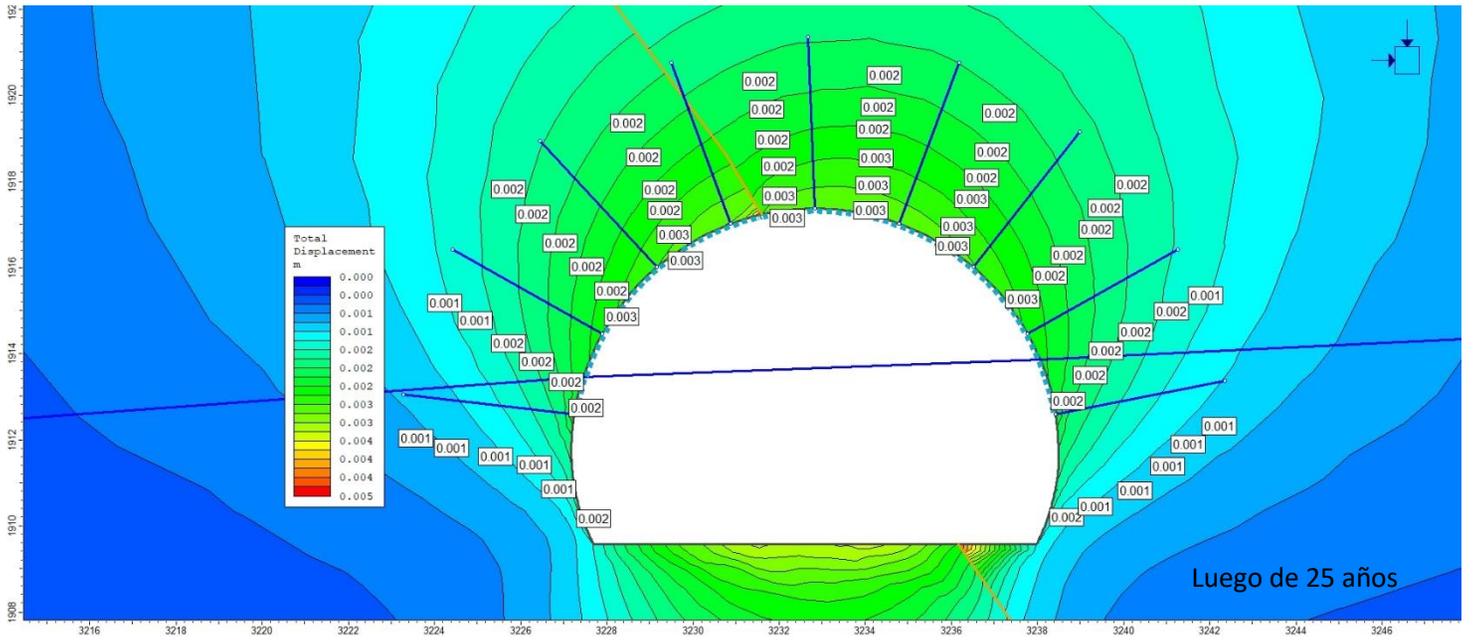
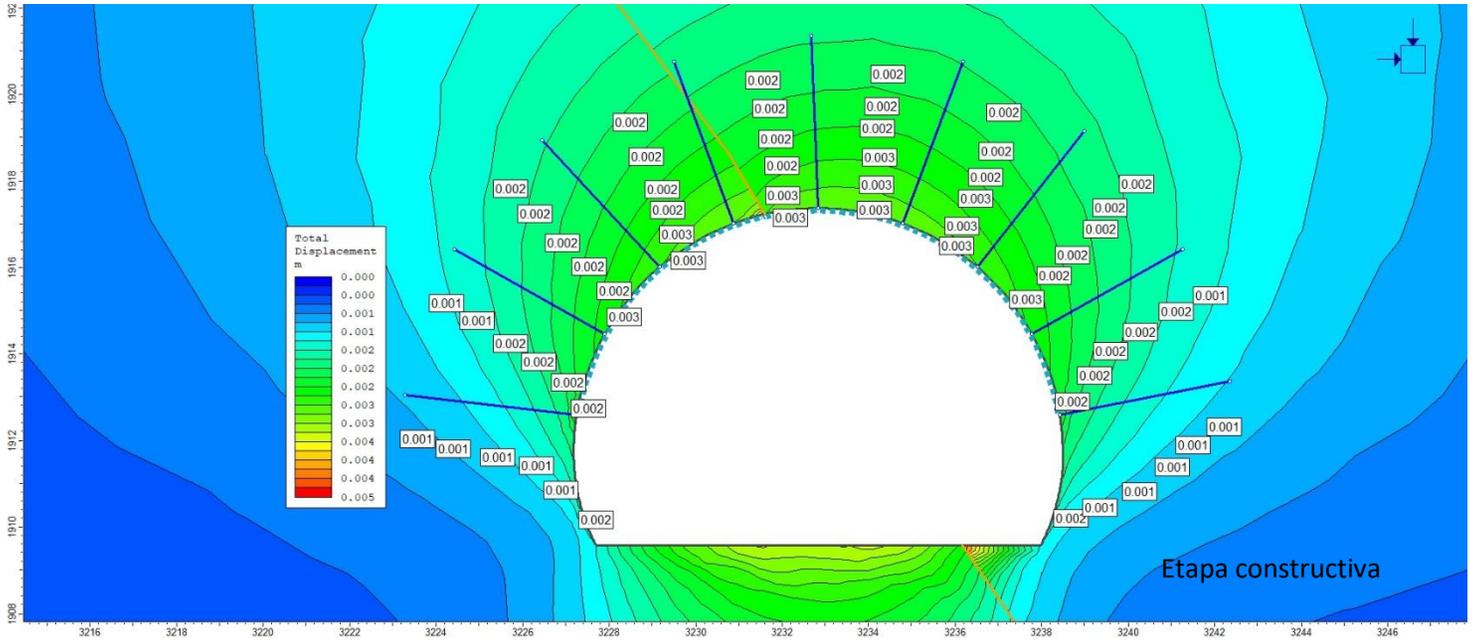
Sector 7 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



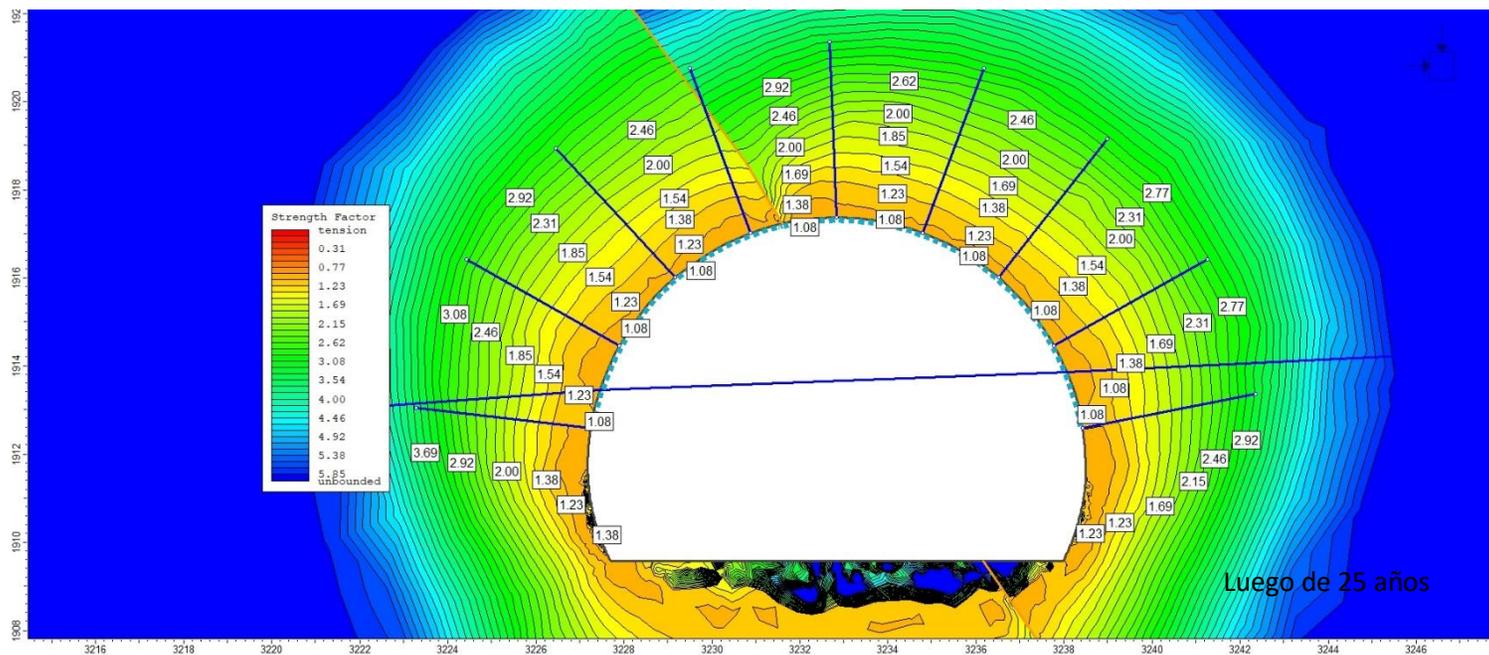
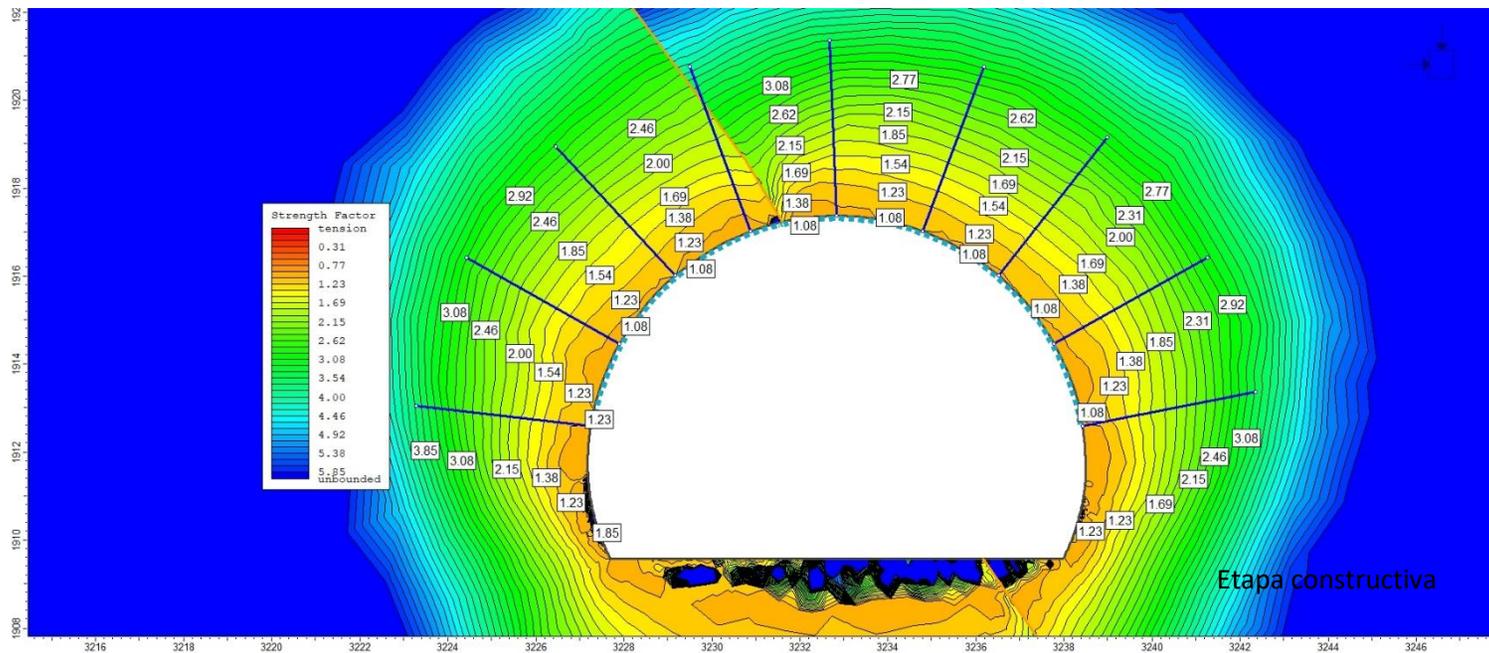
Sector 7 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 7 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

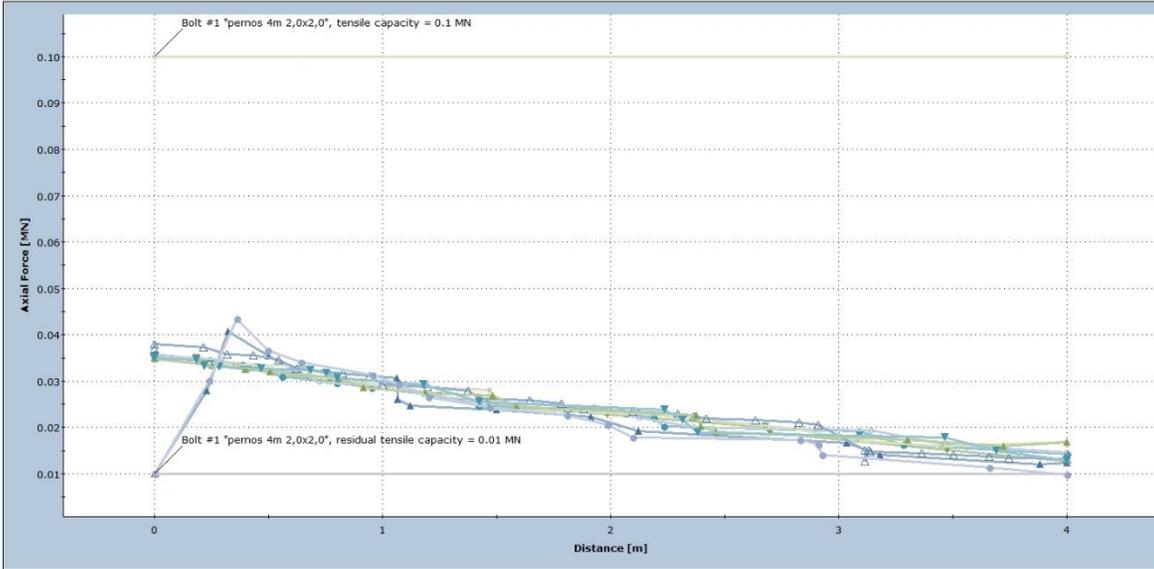


Sector 7 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



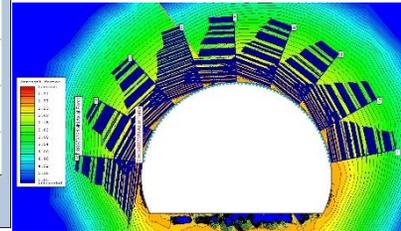
Sector 7 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

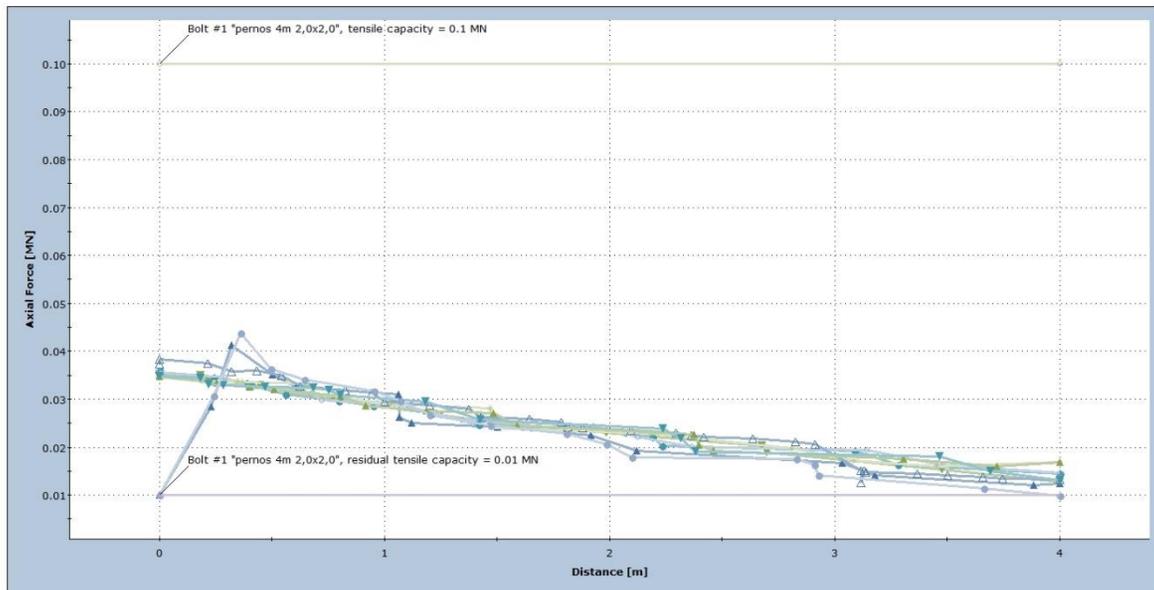


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #5 Stage: Etapa constructiva
- △ Bolt #6 Stage: Etapa constructiva
- ▽ Bolt #7 Stage: Etapa constructiva
- ◇ Bolt #8 Stage: Etapa constructiva
- ⊙ Bolt #9 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

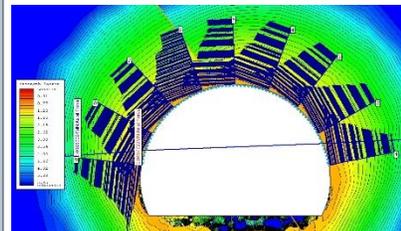


Axial Force



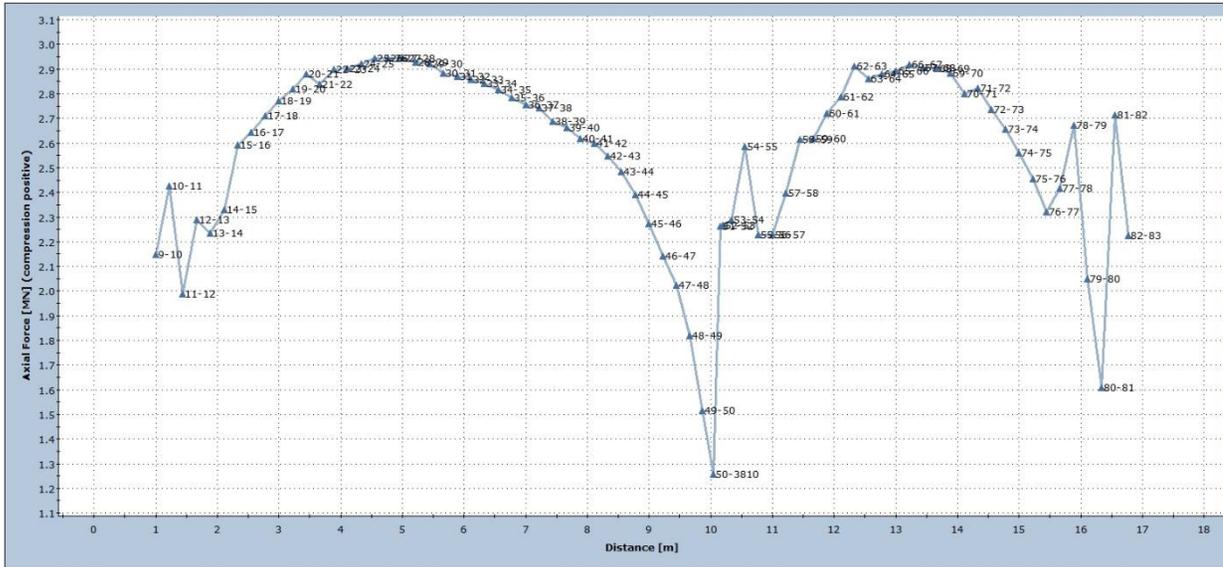
Luego de 25 años

- ▲ Bolt #1 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #5 Stage: Resistencia luego de 25 años
- △ Bolt #6 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▽ Bolt #7 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ◇ Bolt #8 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ⊙ Bolt #9 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

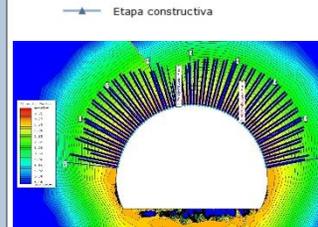


Sector 7 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

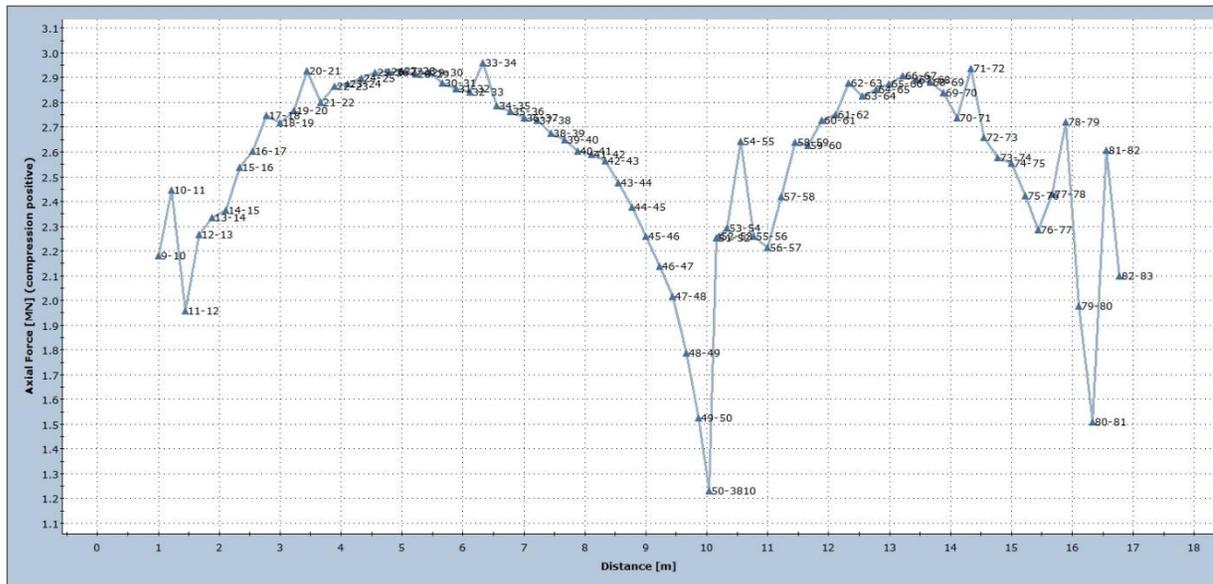
Axial Force



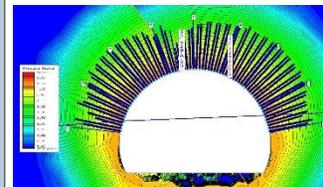
Etapa constructiva



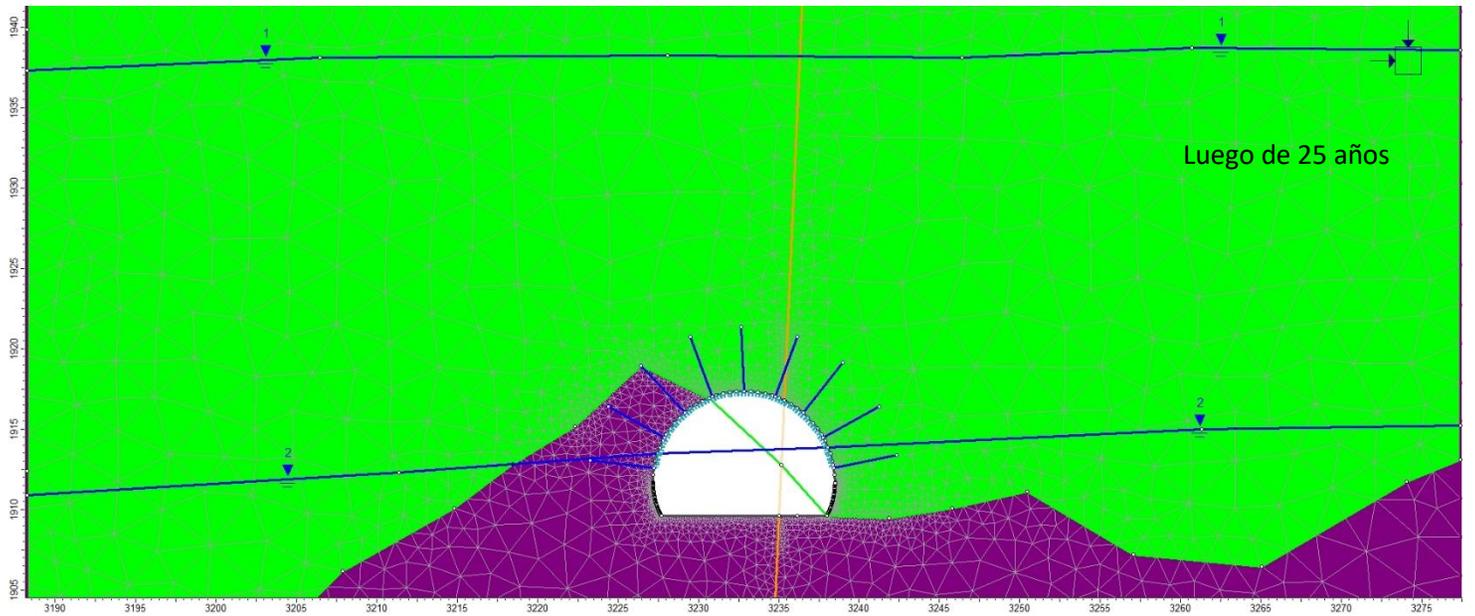
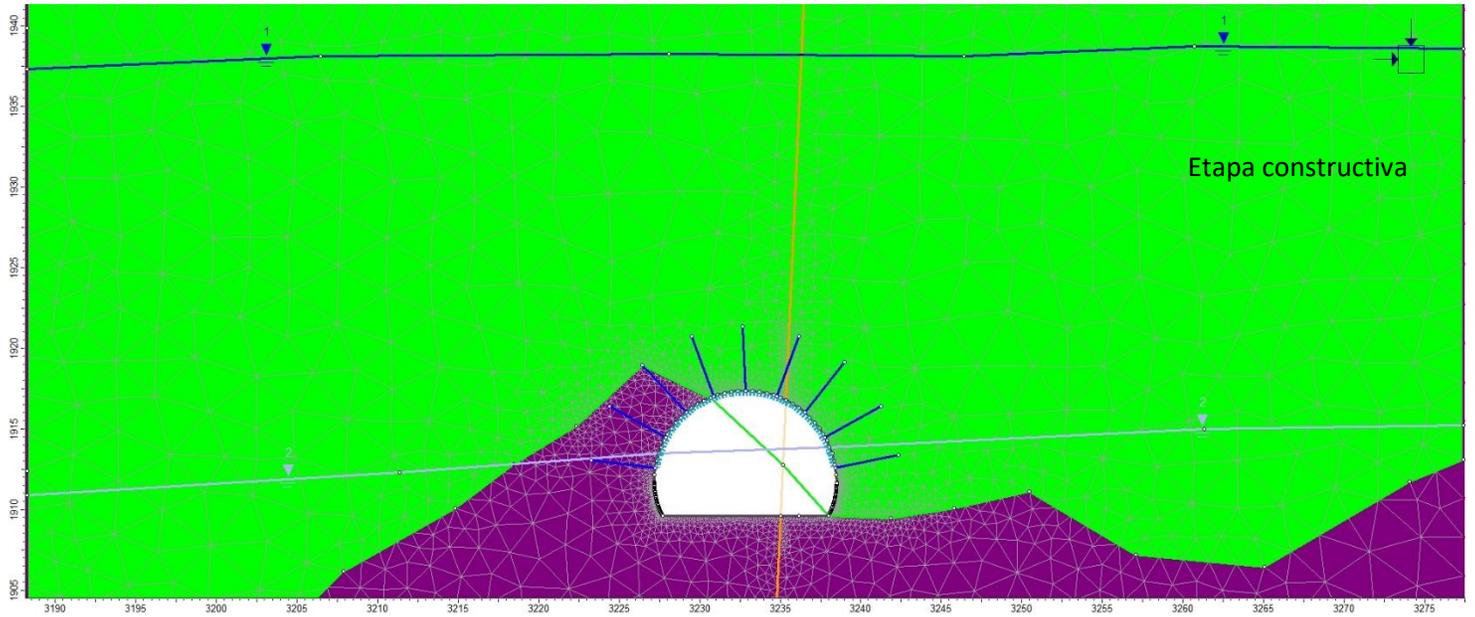
Axial Force



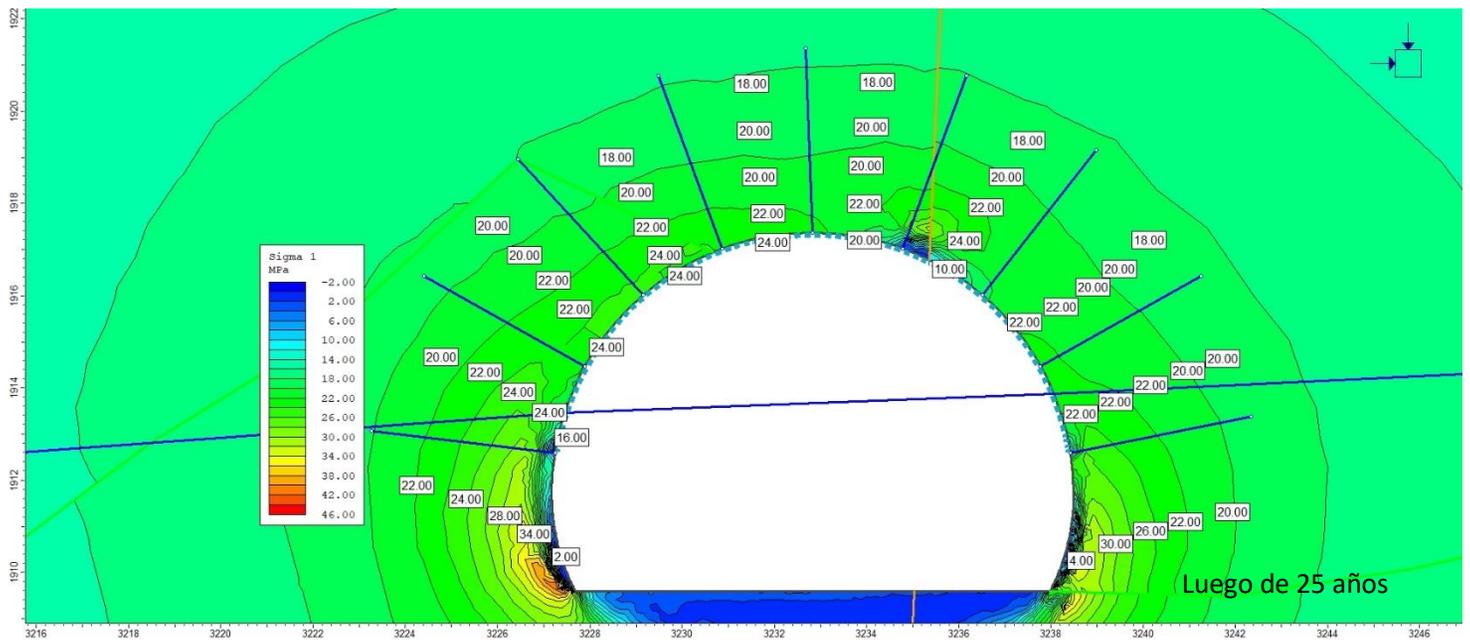
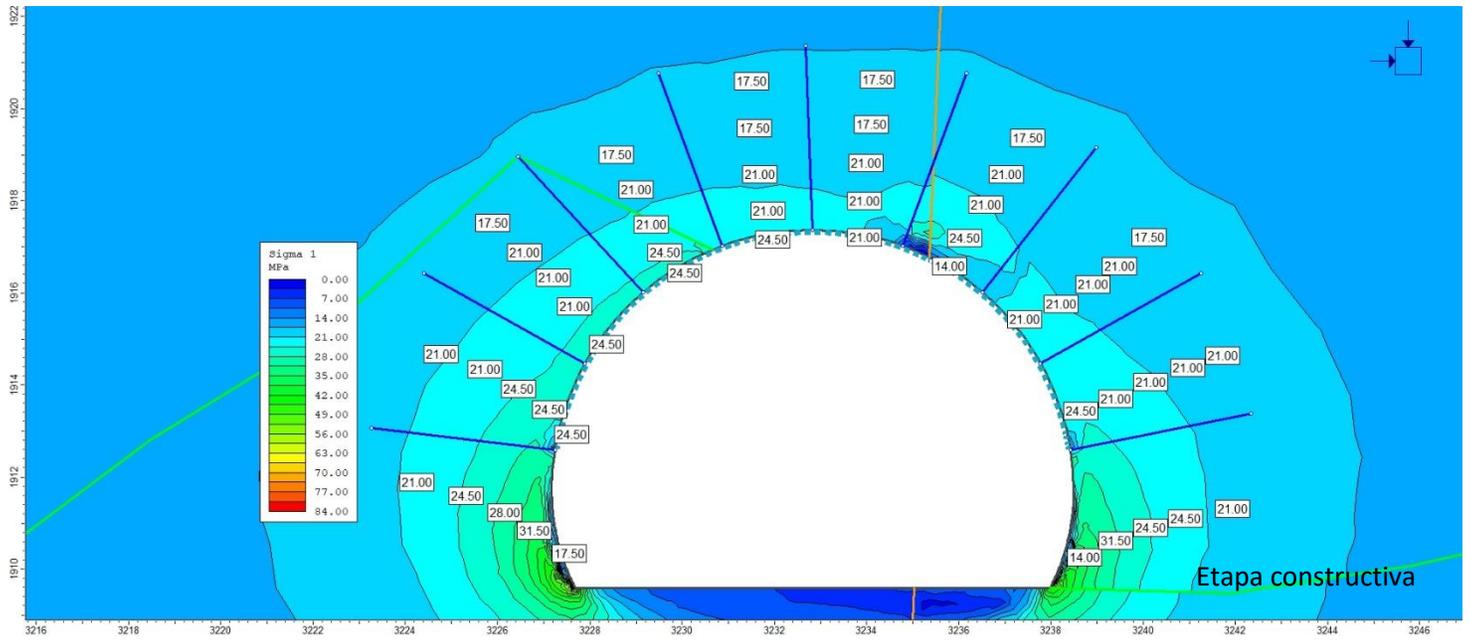
Luego de 25 años



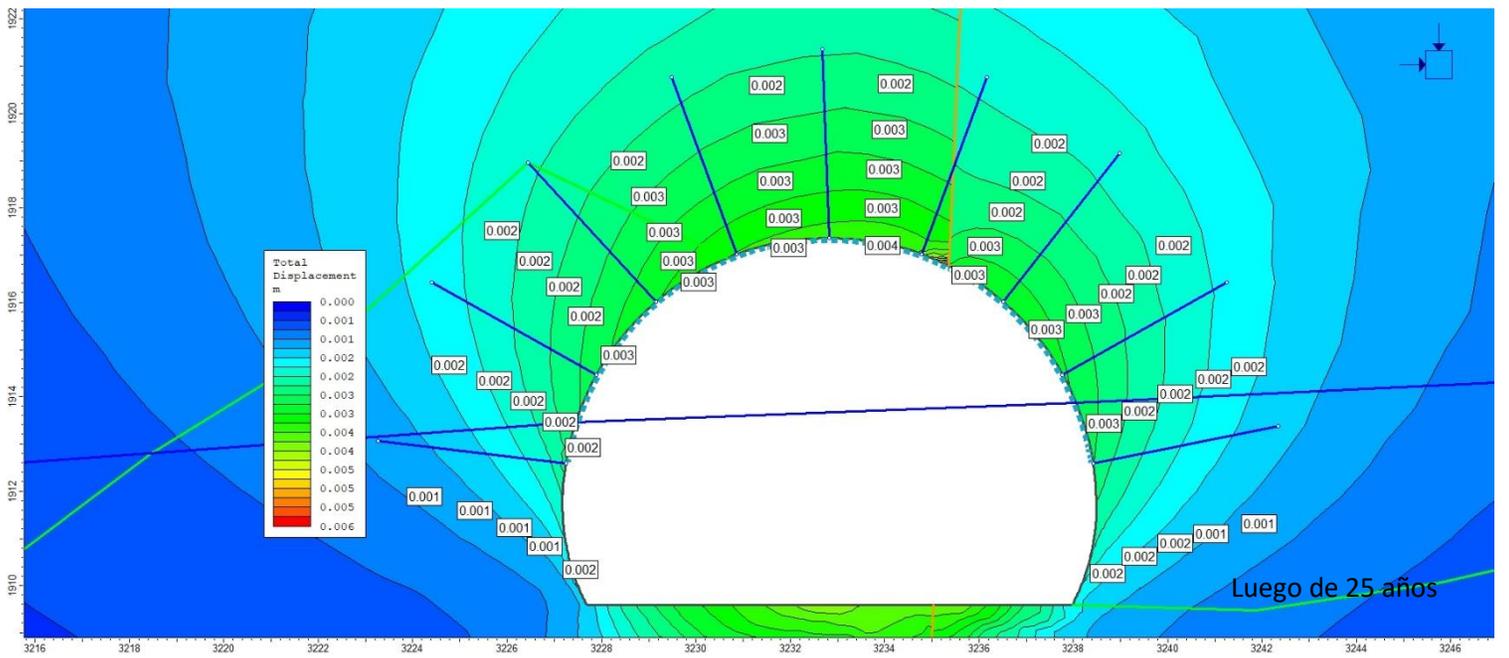
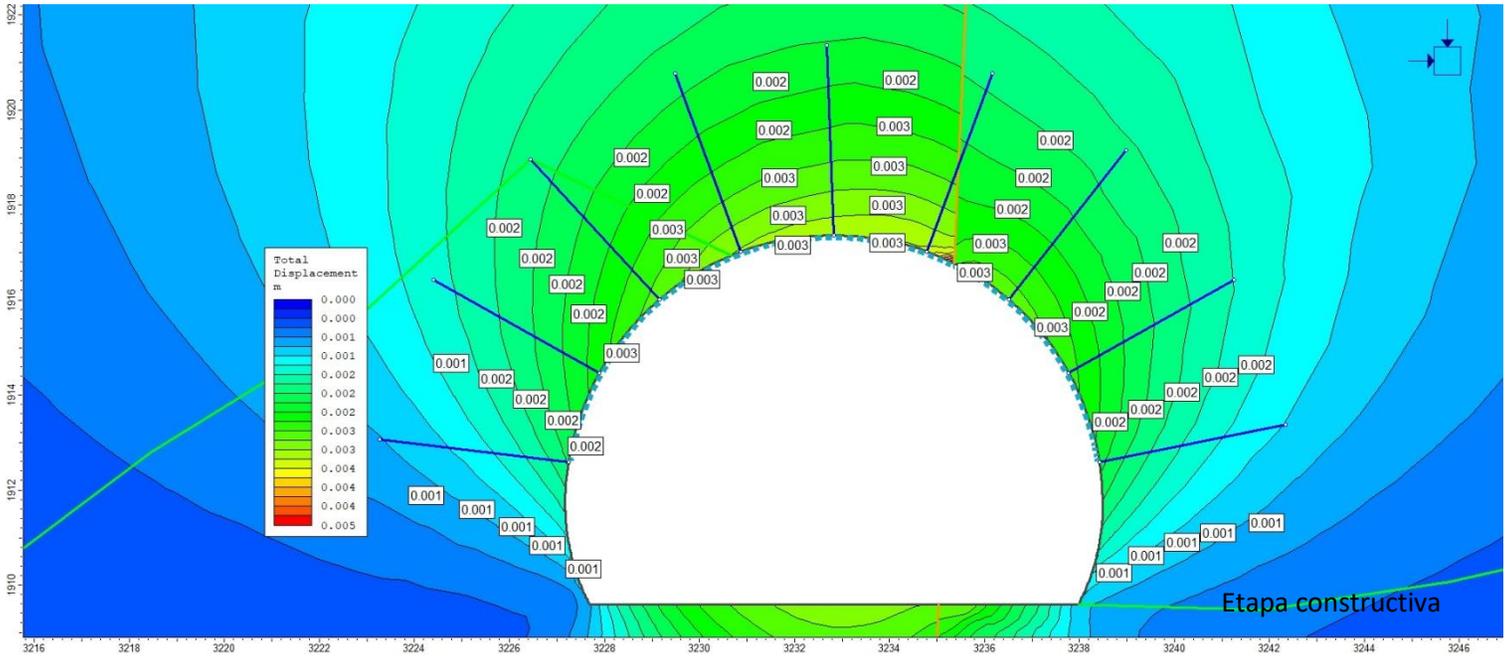
Sector 8 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



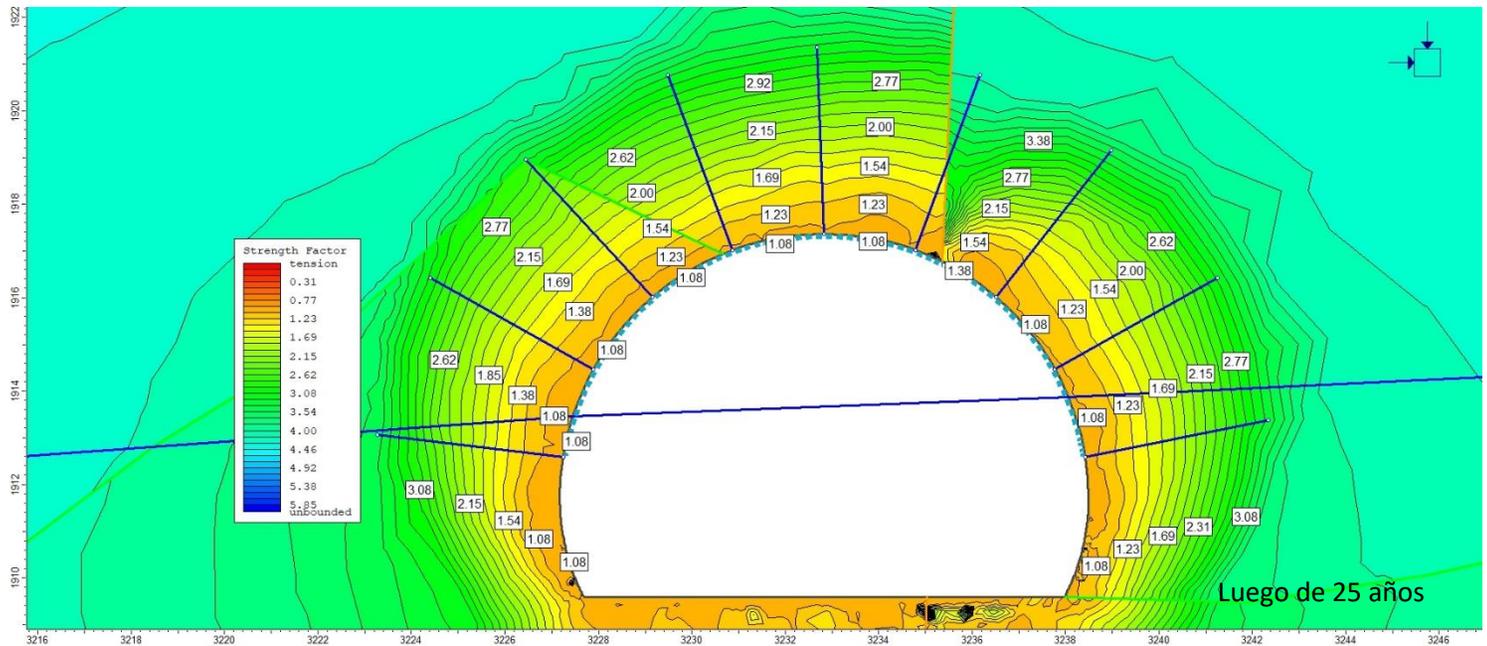
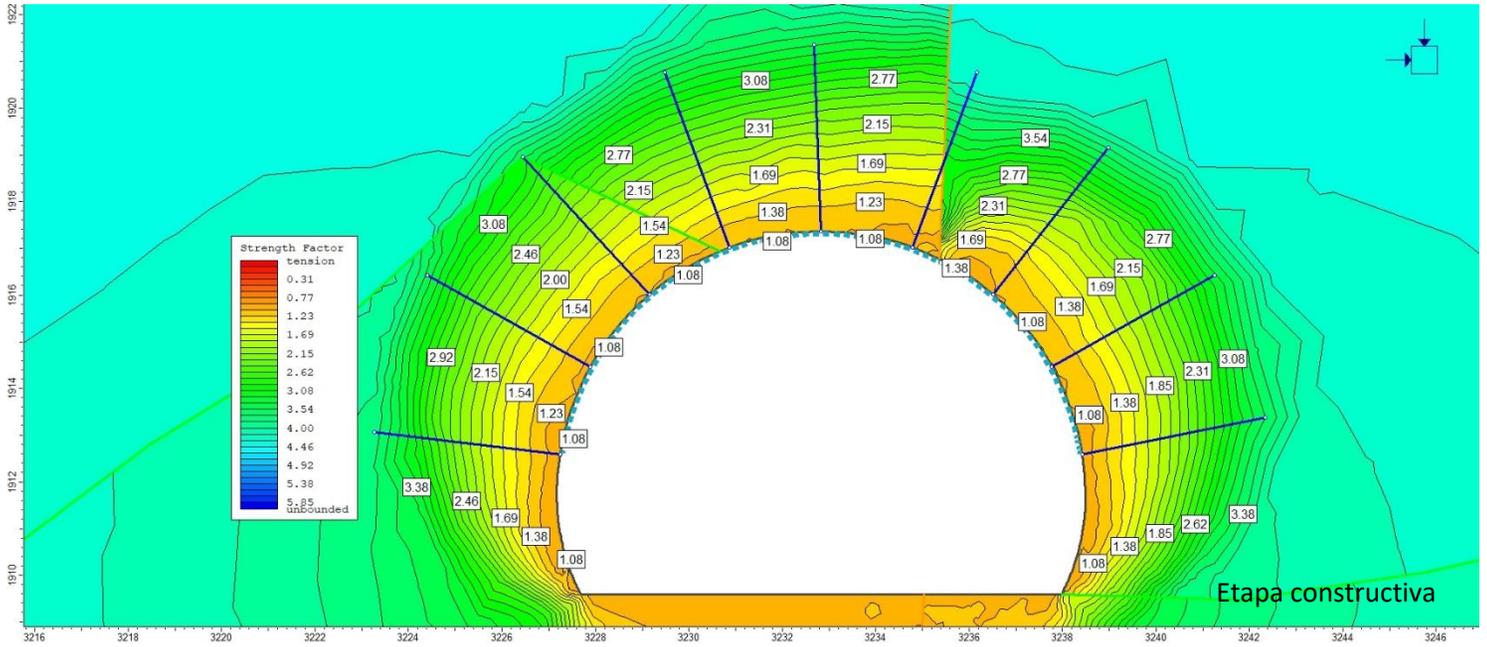
Sector 8 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 8 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

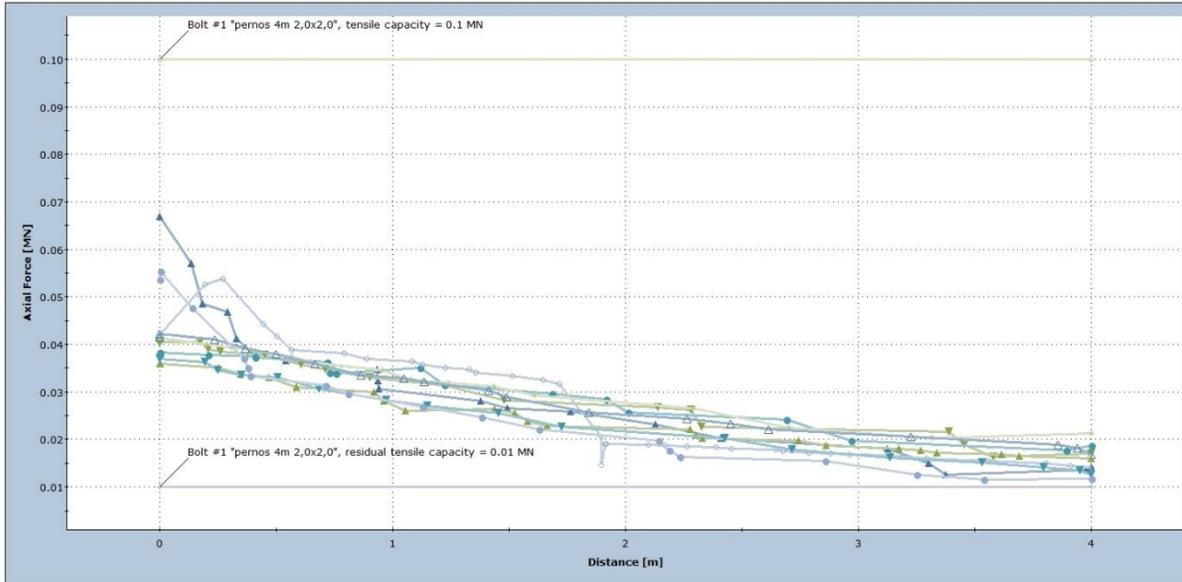


Sector 8 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



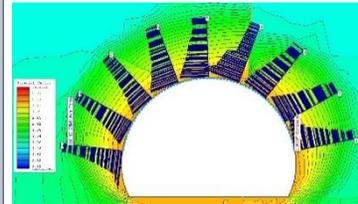
Sector 8 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

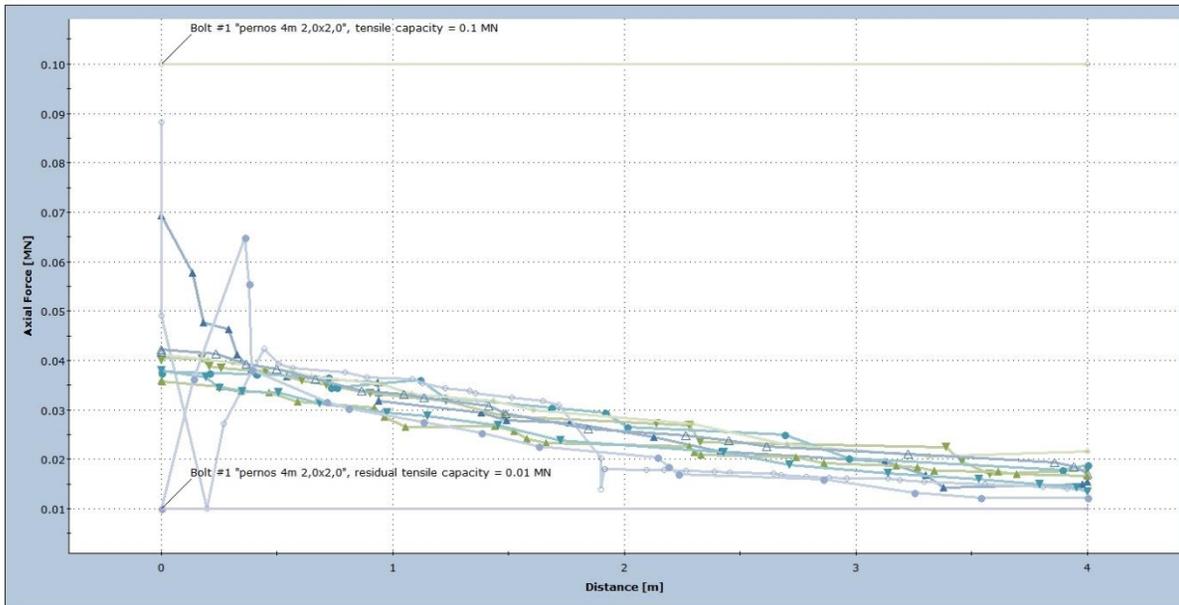


Etapa constructiva

- Bolt #1 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #2 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #5 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #6 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #7 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #8 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

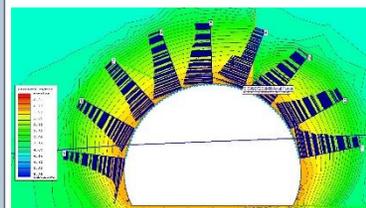


Axial Force



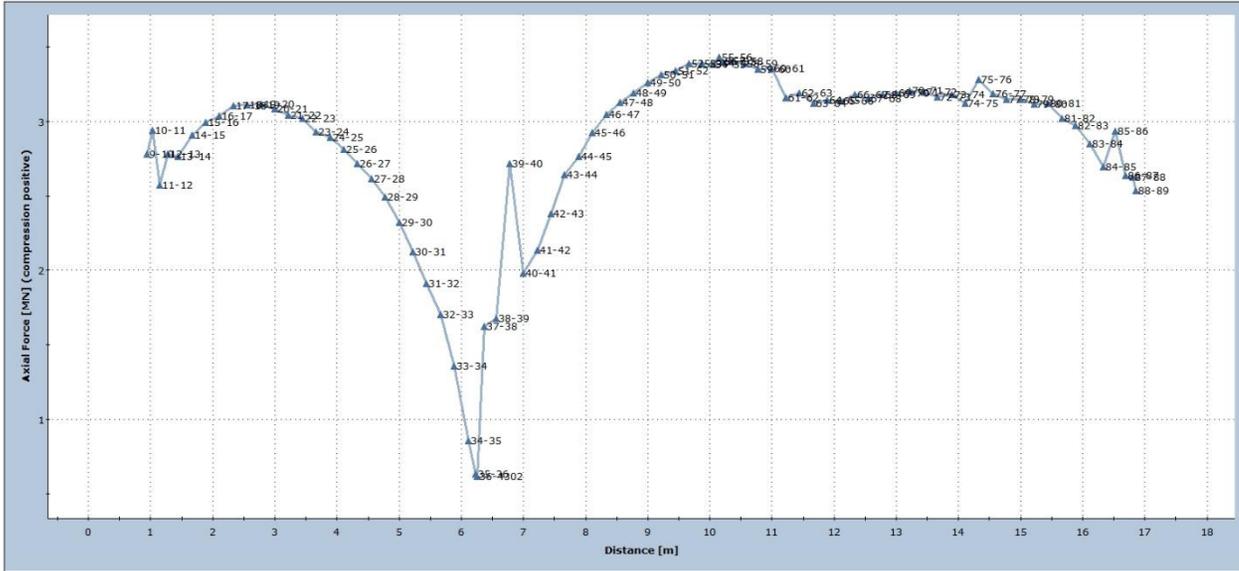
Luego de 25 años

- Bolt #1 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #2 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #5 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #6 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #7 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #8 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity



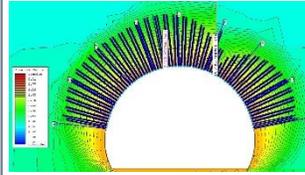
Sector 8 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

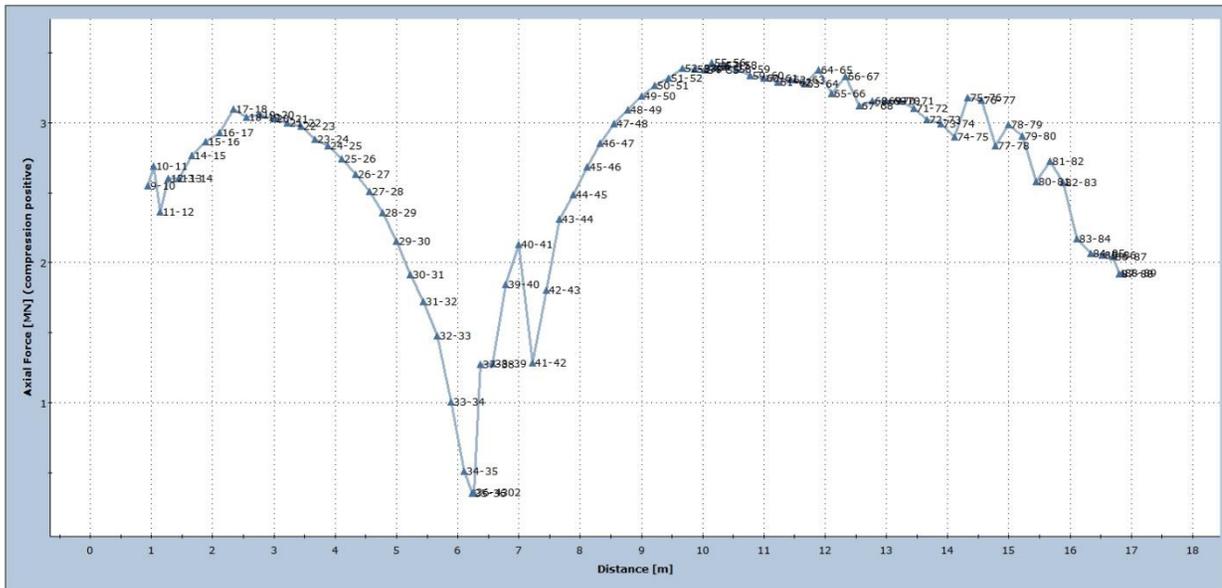


Etapa constructiva

Etapa constructiva

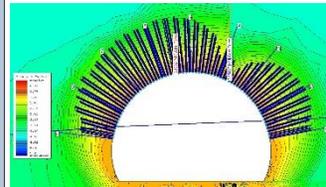


Axial Force

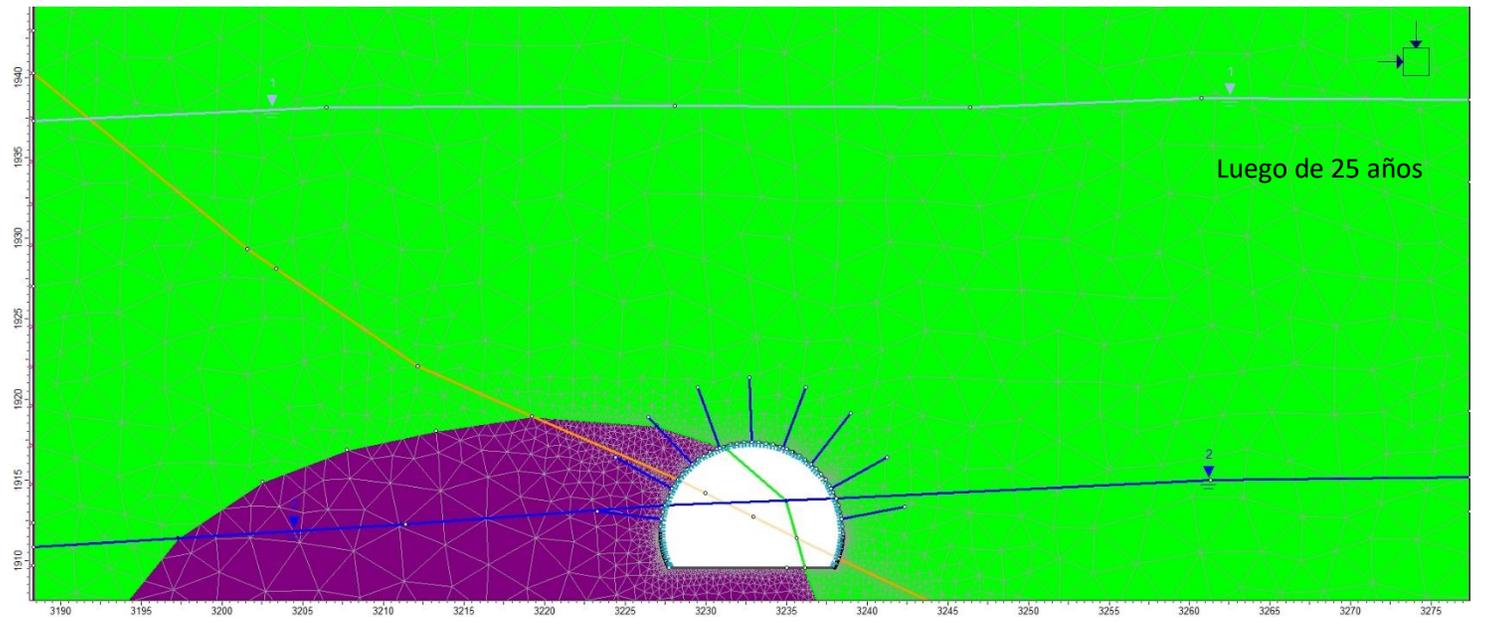
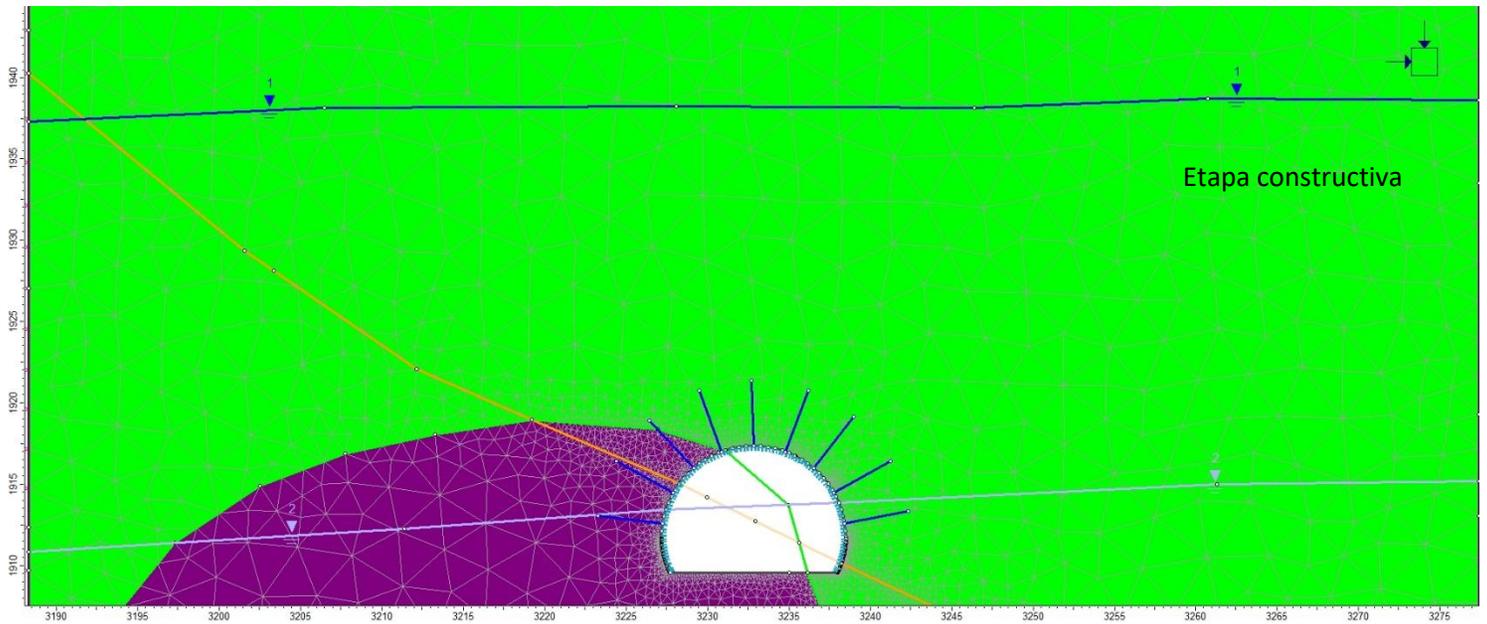


Luego de 25 años

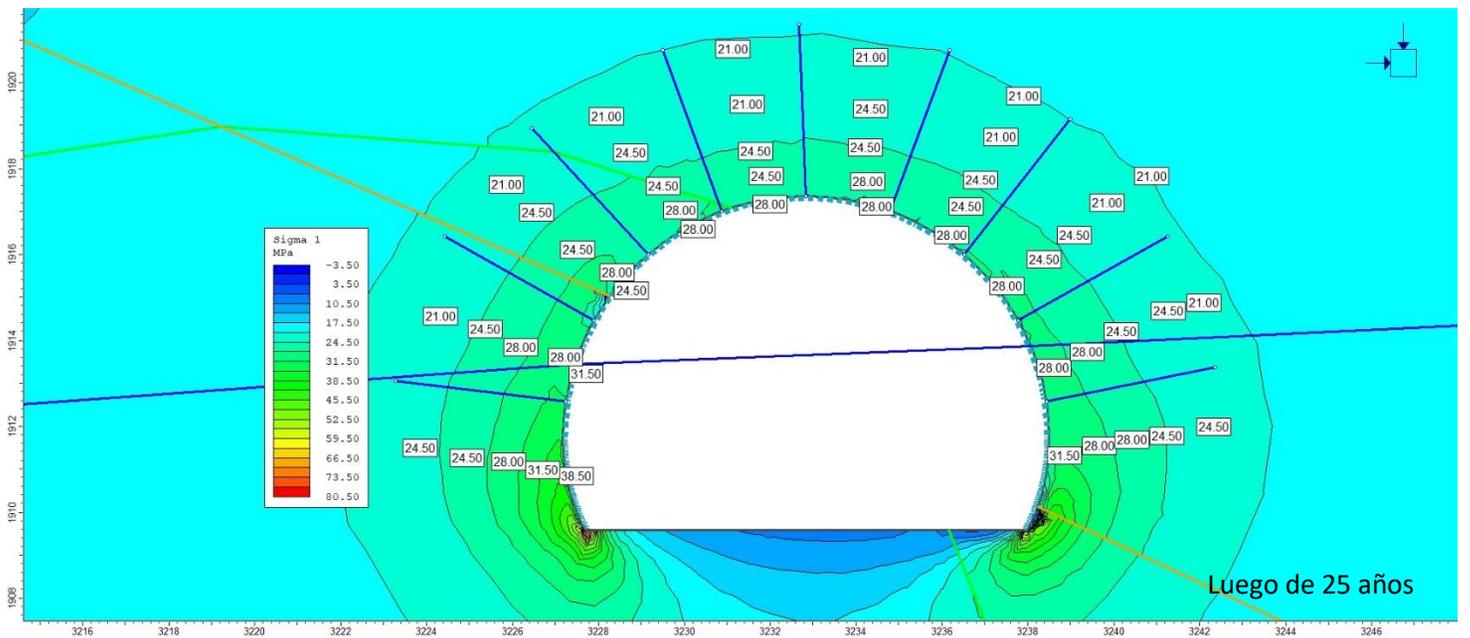
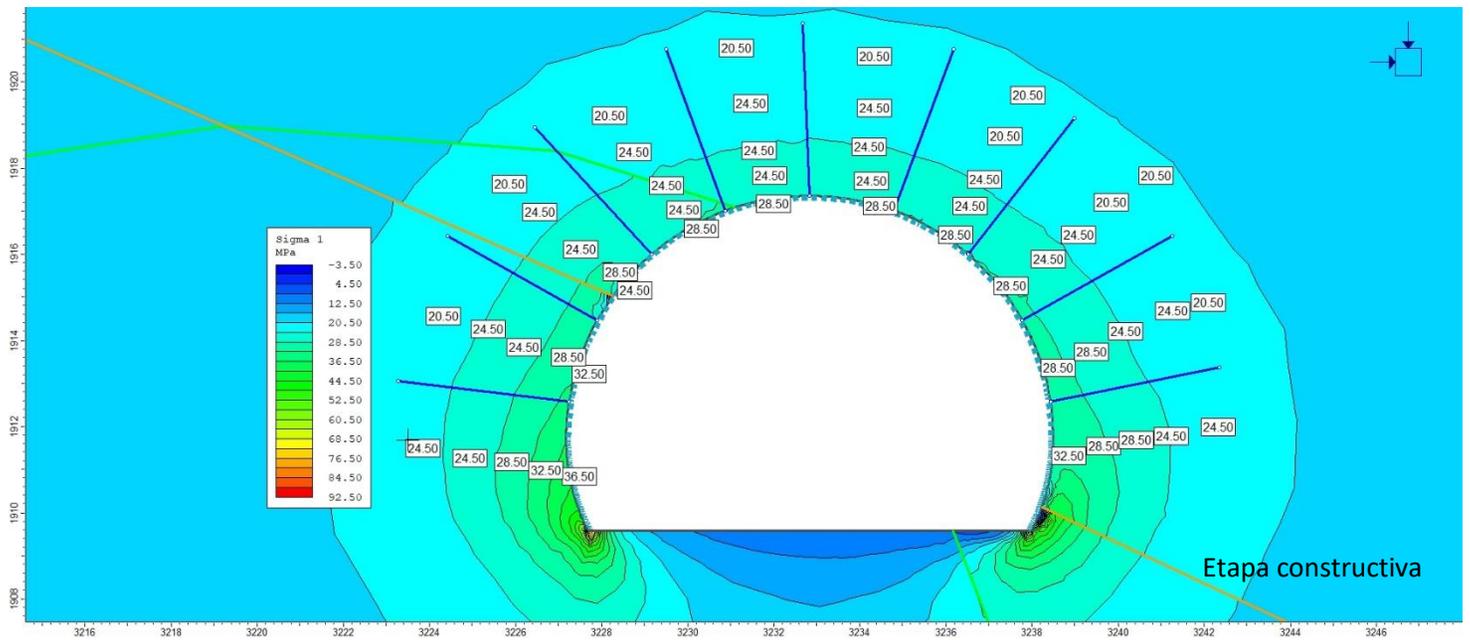
Resistencia luego de 25 años



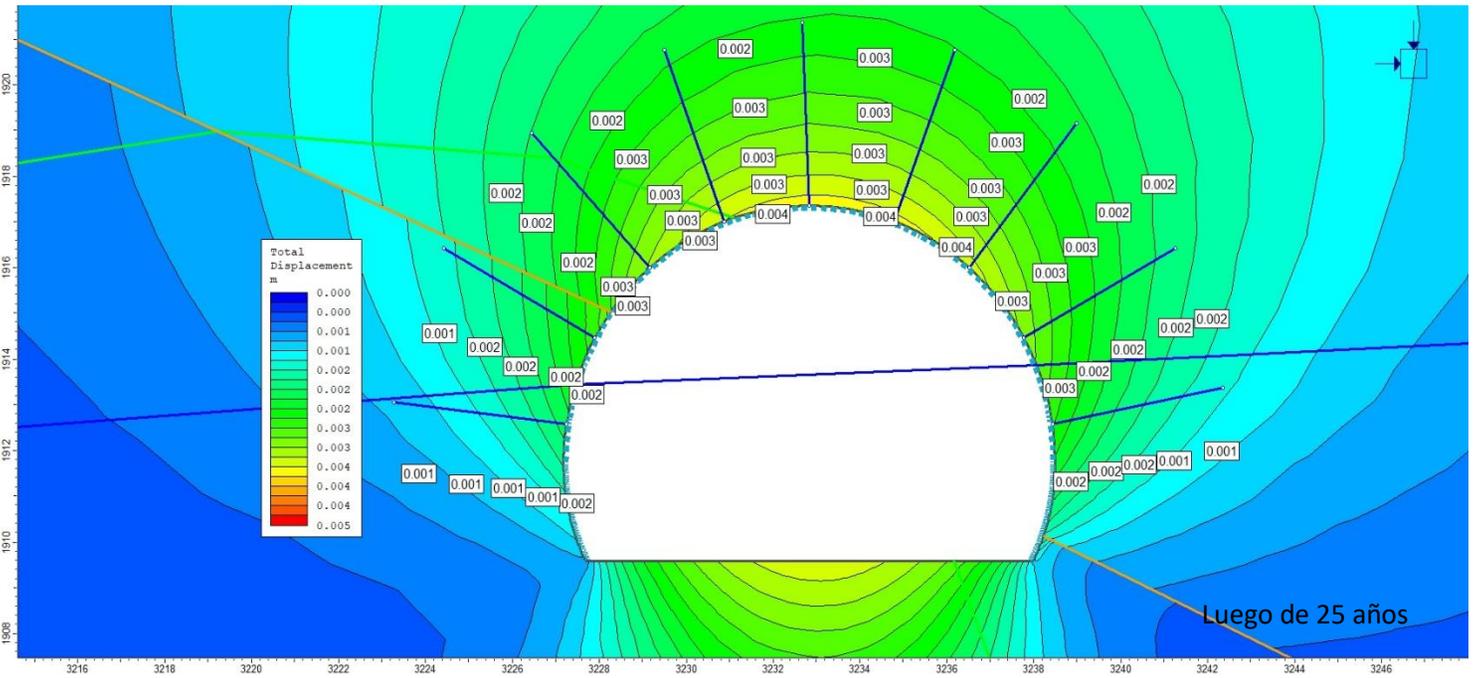
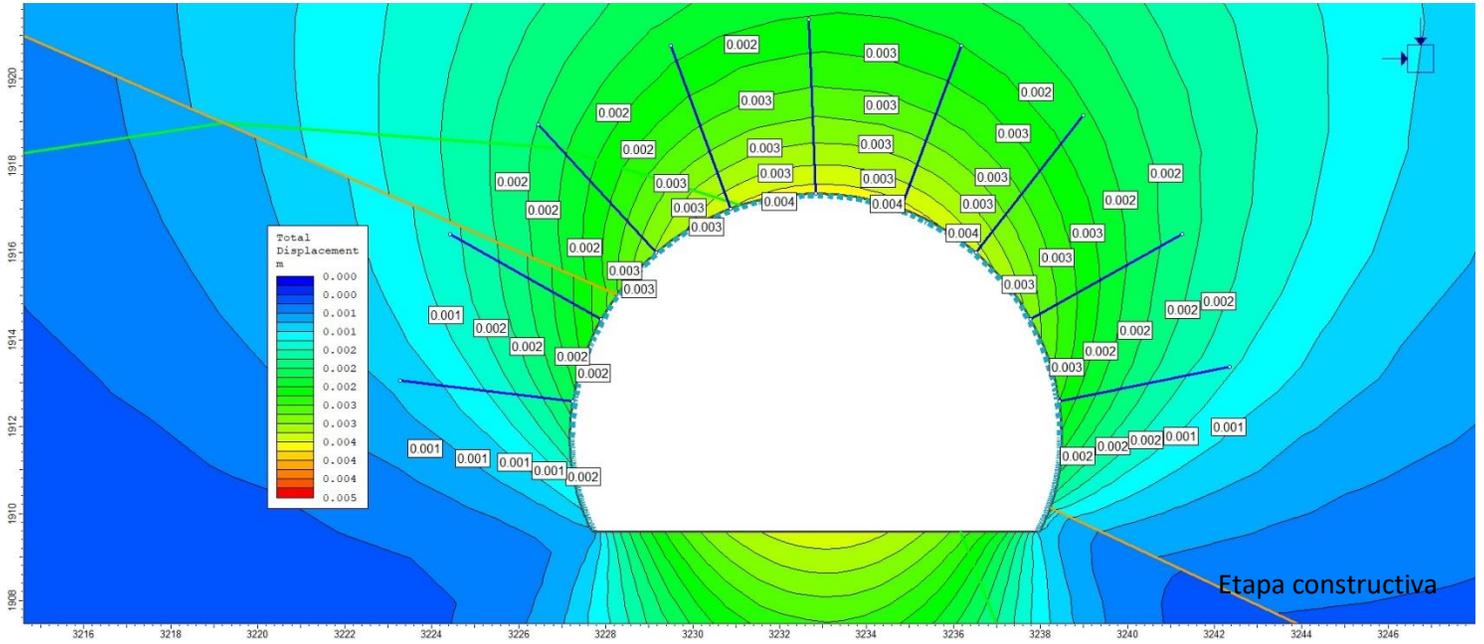
Sector 9 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



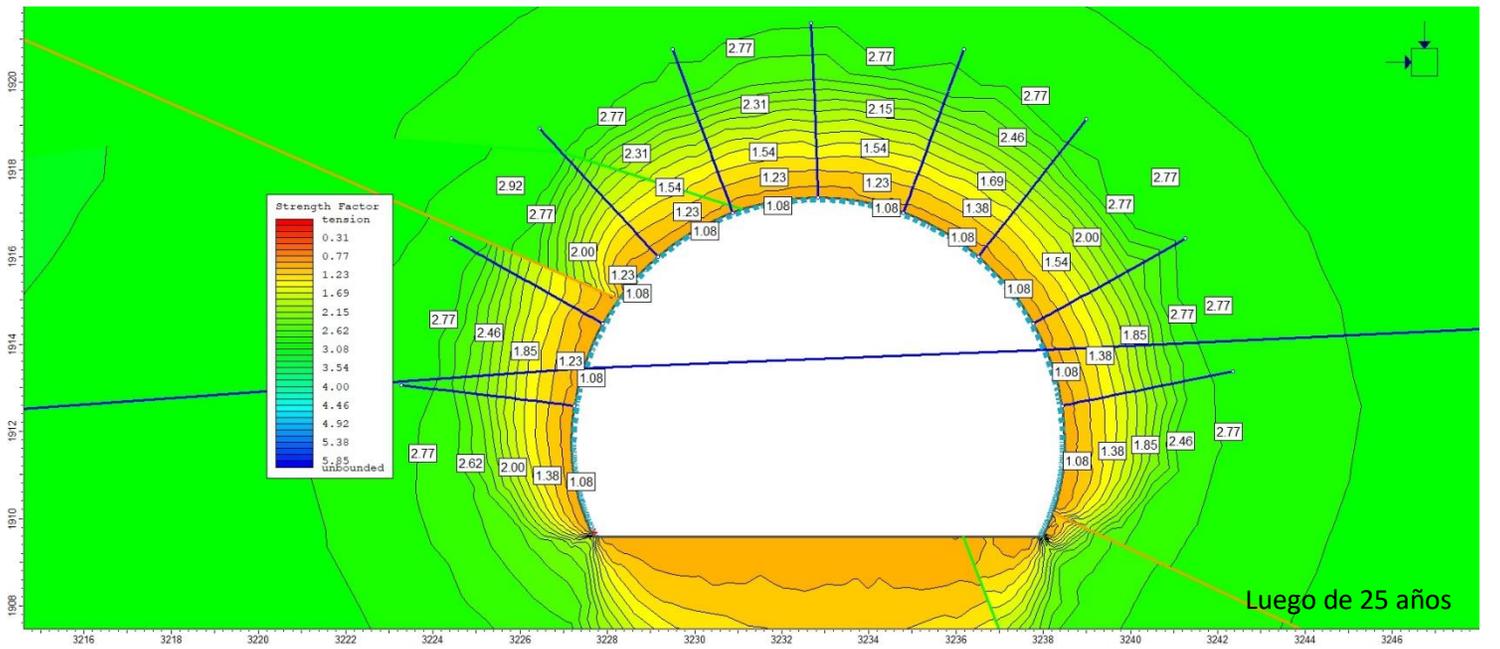
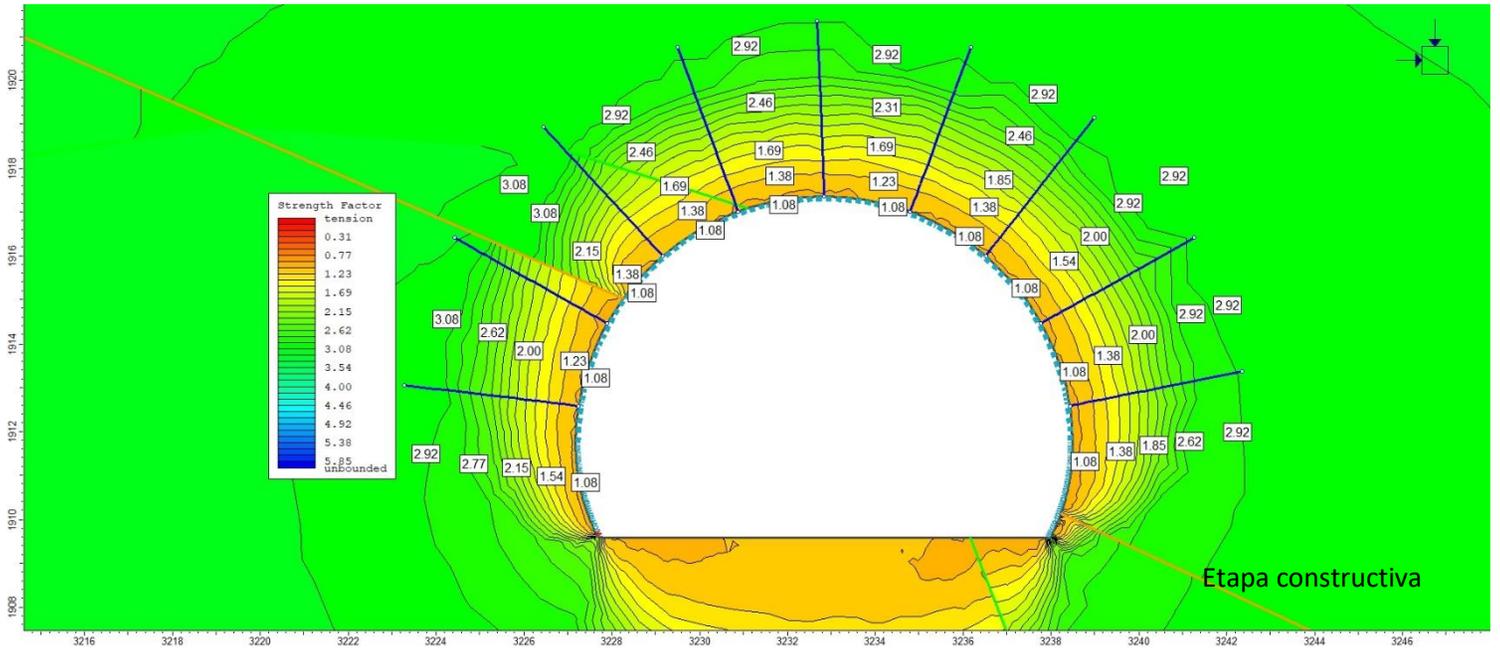
Sector 9 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 9 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

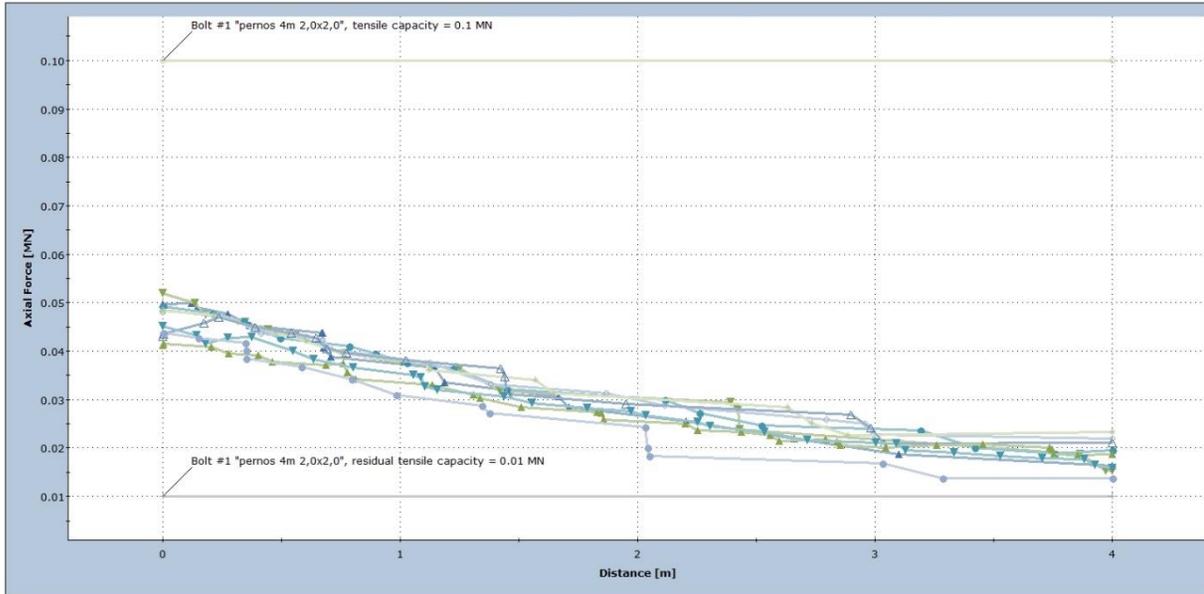


Sector 9 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



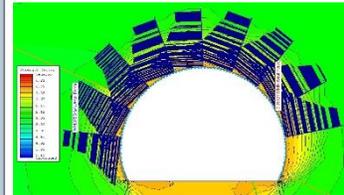
Sector 9 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

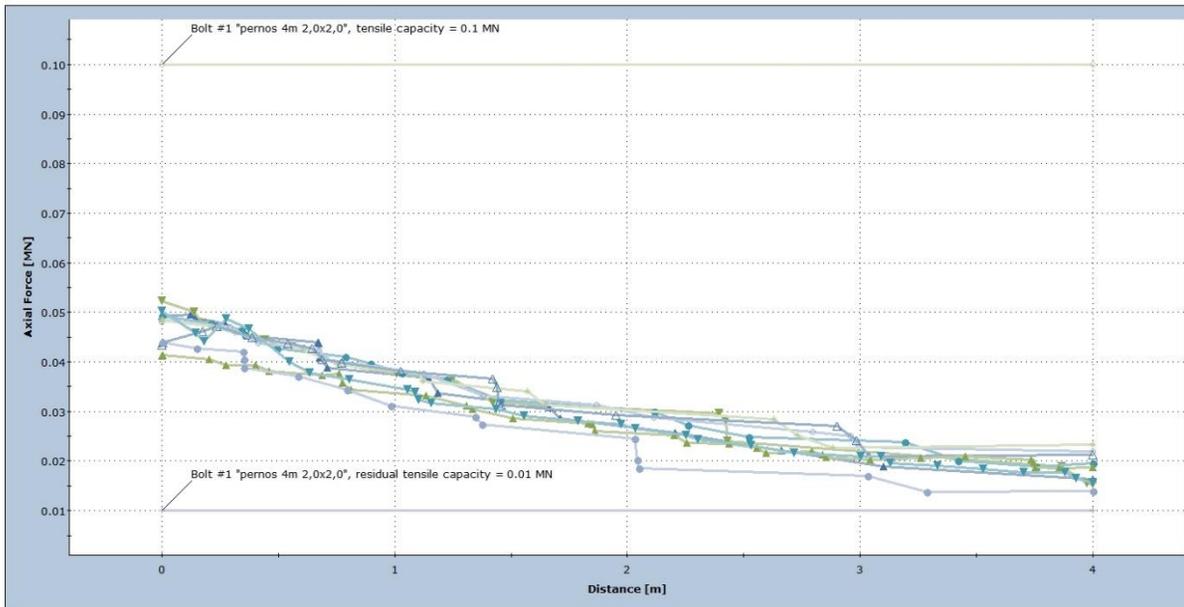


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: etapa constructiva
- ◆ Bolt #3 Stage: etapa constructiva
- ◇ Bolt #4 Stage: etapa constructiva
- ▲ Bolt #5 Stage: etapa constructiva
- △ Bolt #6 Stage: etapa constructiva
- ▽ Bolt #7 Stage: etapa constructiva
- ▲ Bolt #8 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #9 Stage: etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

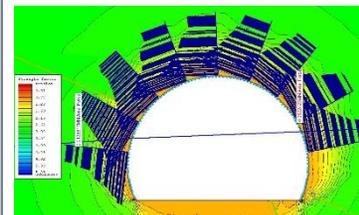


Axial Force



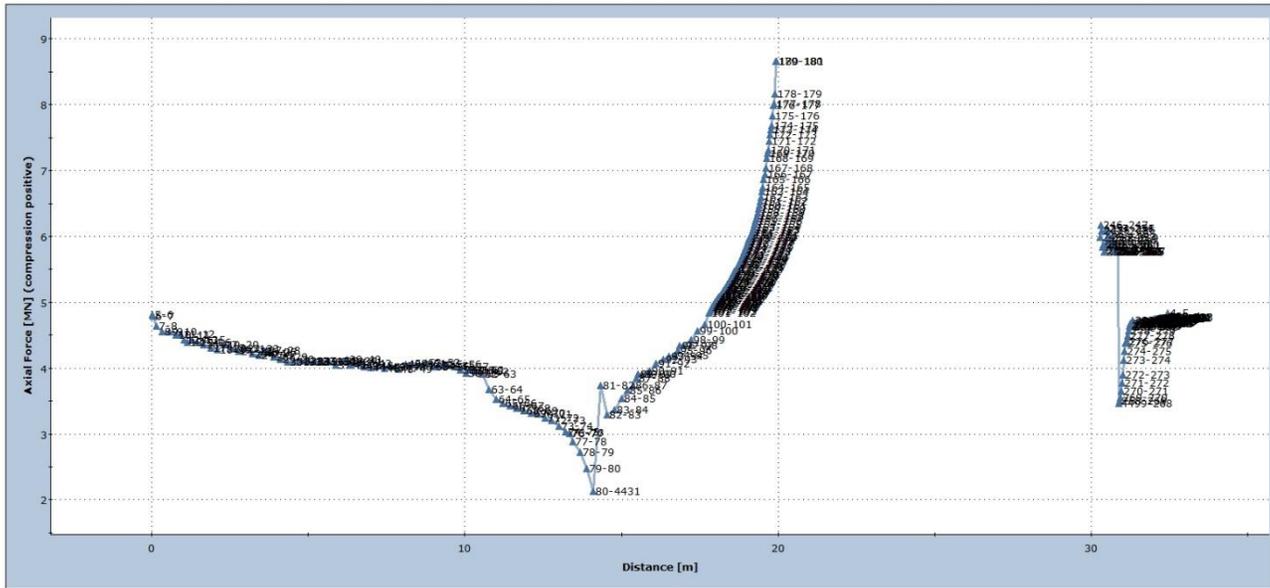
Luego de 25 años

- ▲ Bolt #1 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: resistencia luego de 25 años
- ◆ Bolt #3 Stage: resistencia luego de 25 años
- ◇ Bolt #4 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▲ Bolt #5 Stage: resistencia luego de 25 años
- △ Bolt #6 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▽ Bolt #7 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▲ Bolt #8 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #9 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

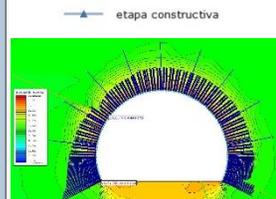


Sector 9 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

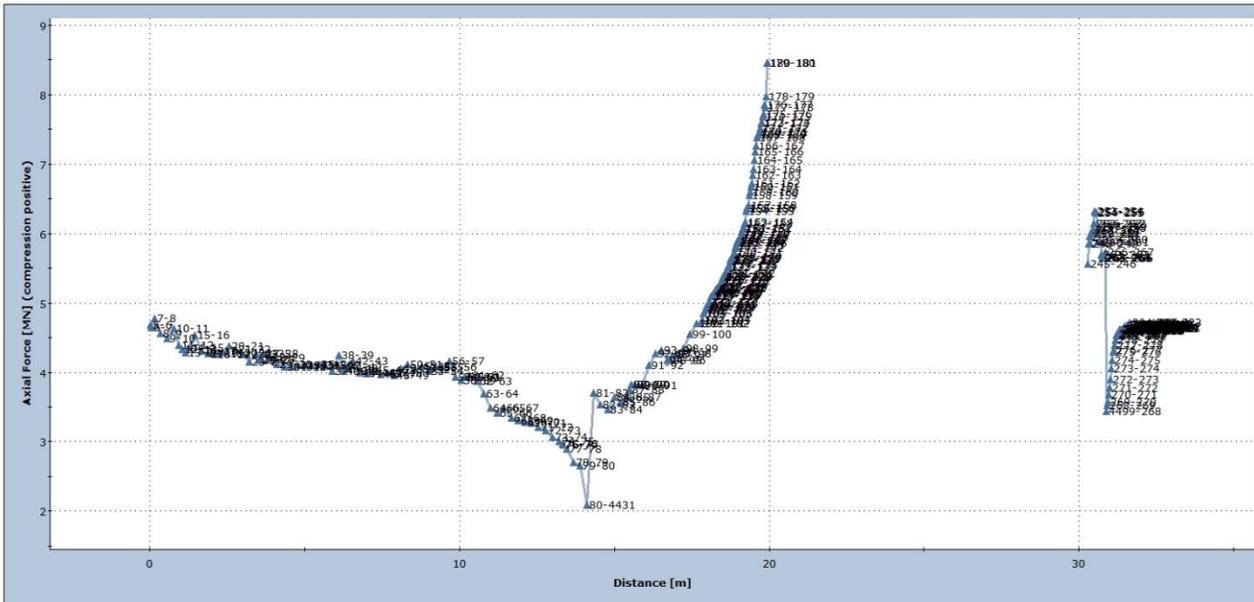
Axial Force



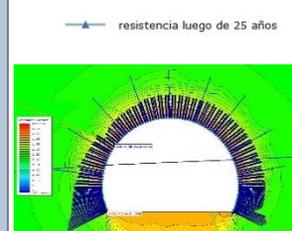
Etapa constructiva



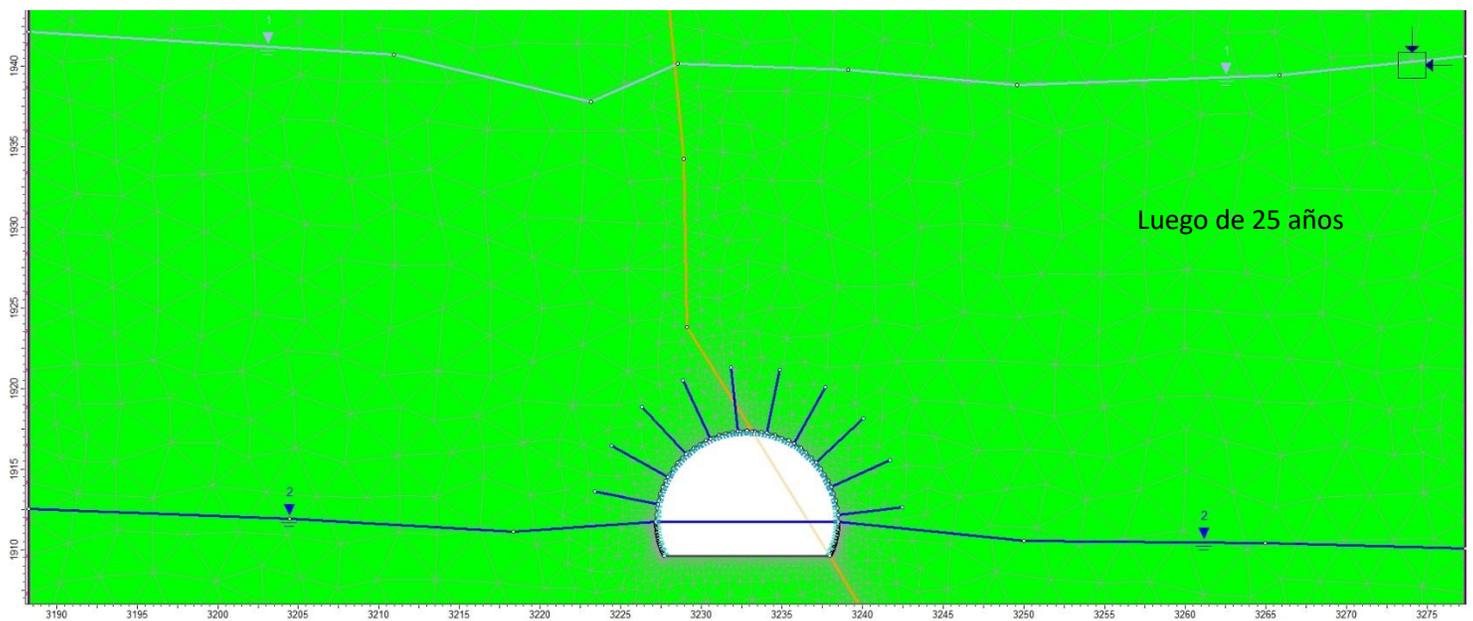
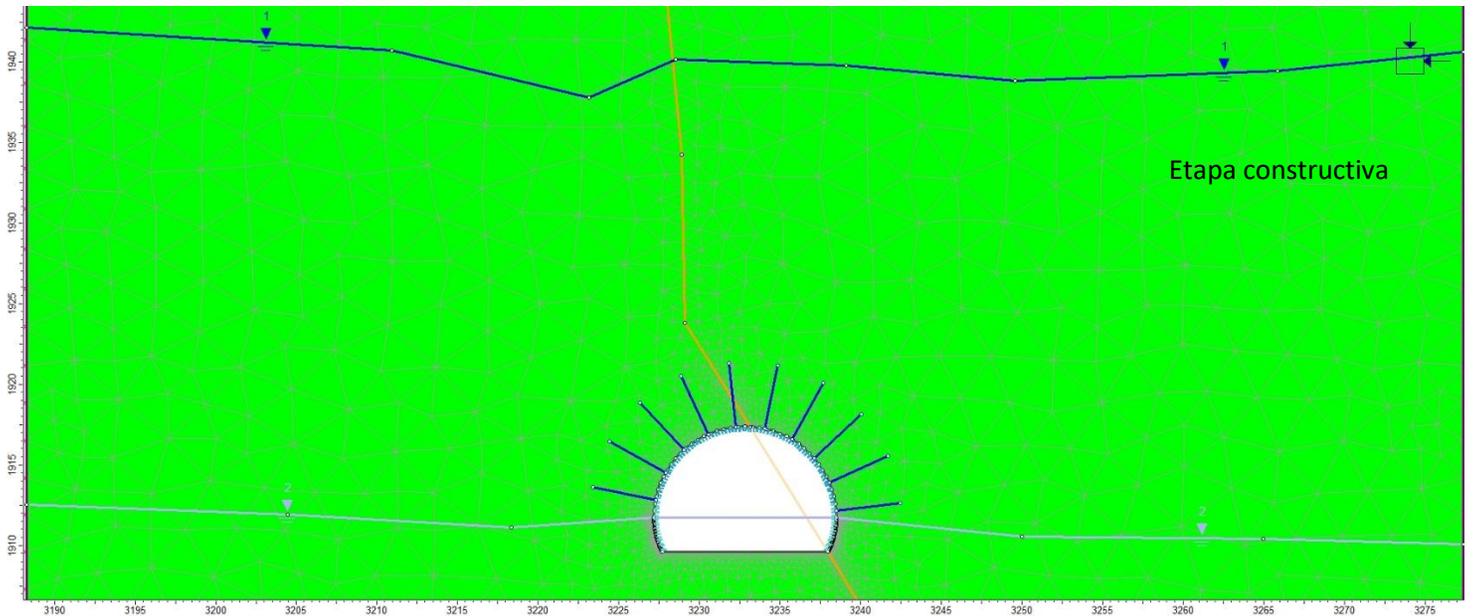
Axial Force



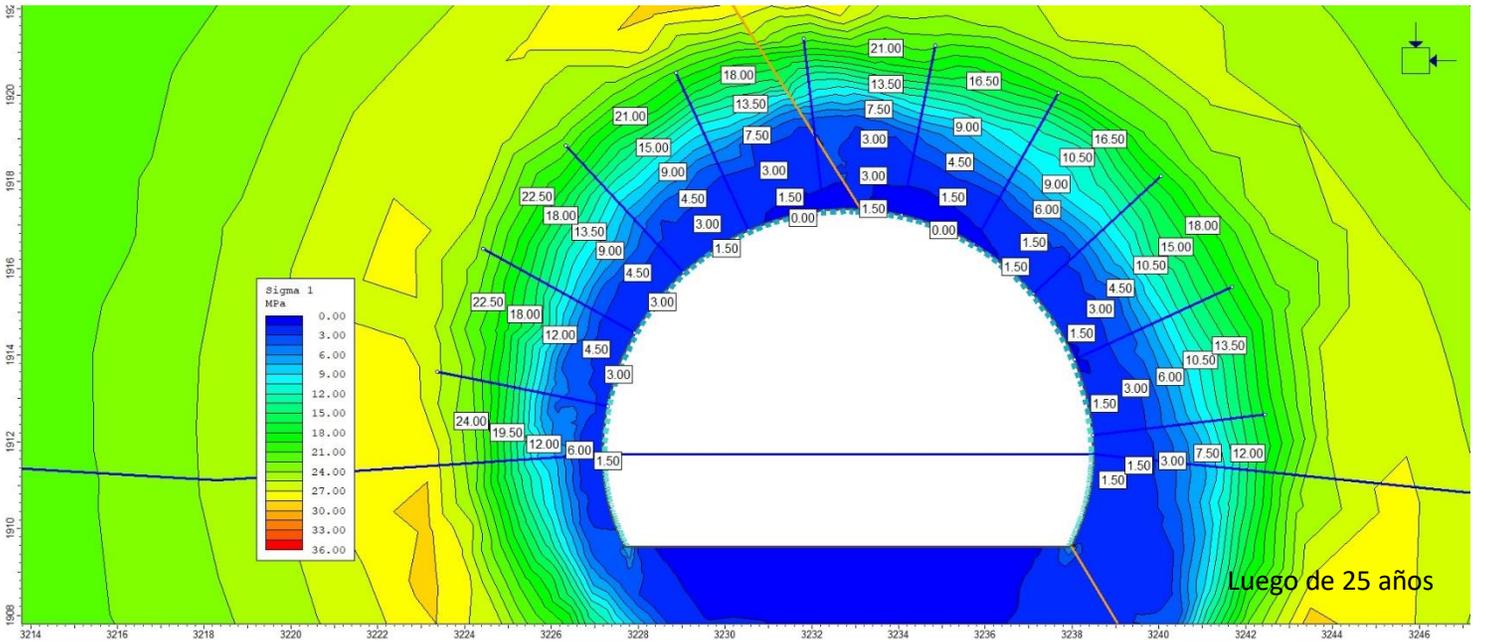
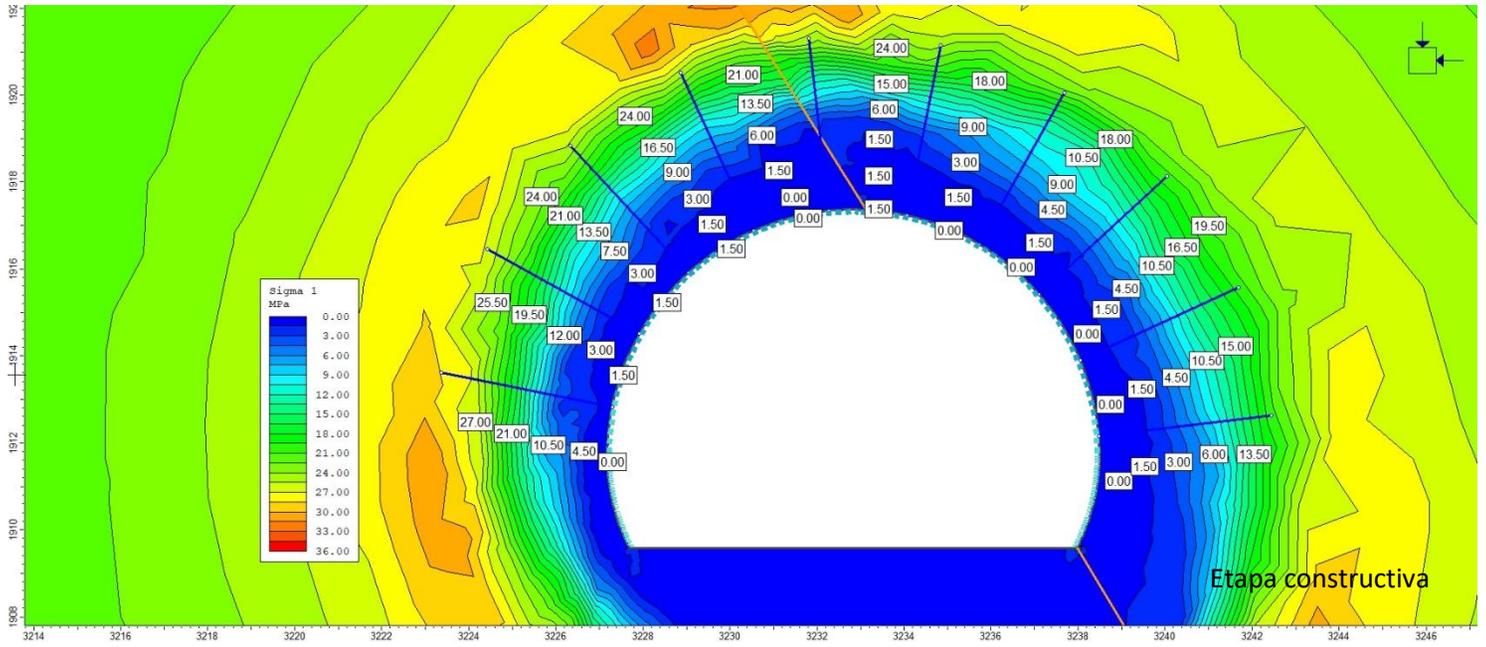
Luego de 25 años



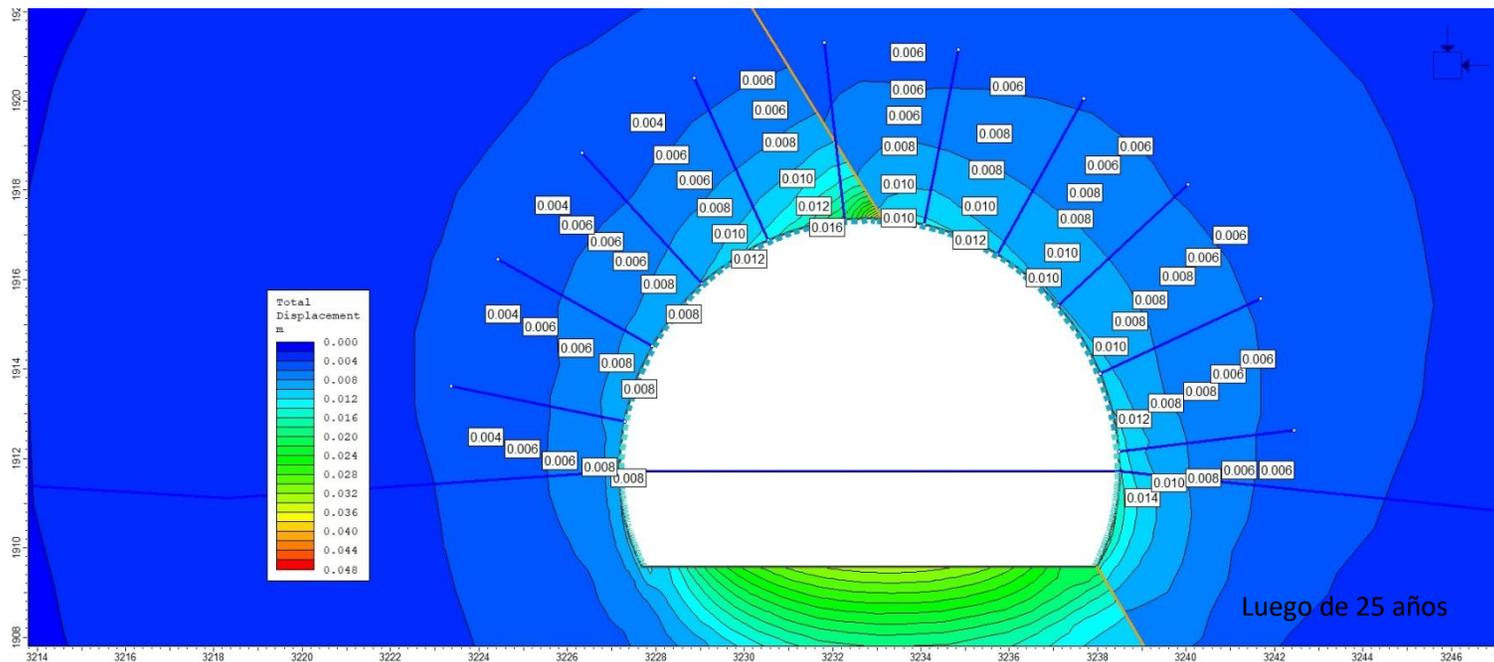
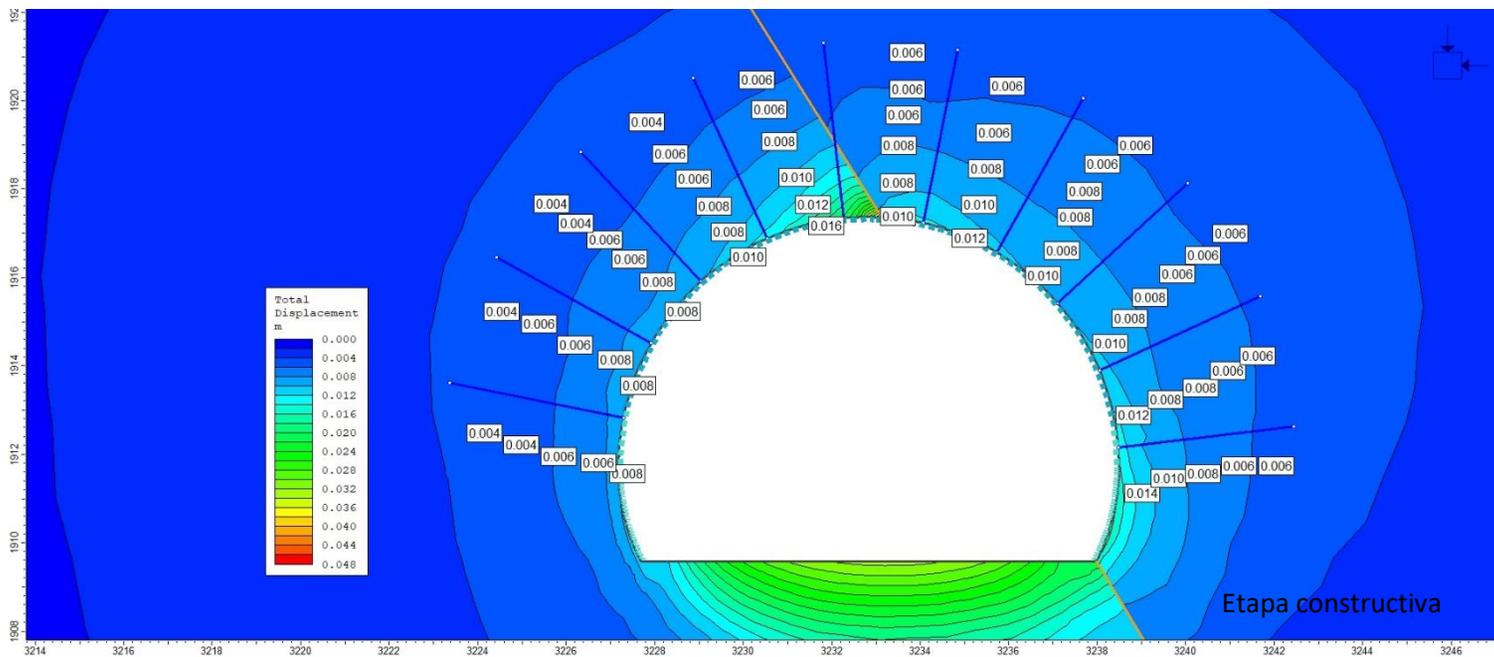
Sector 10 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



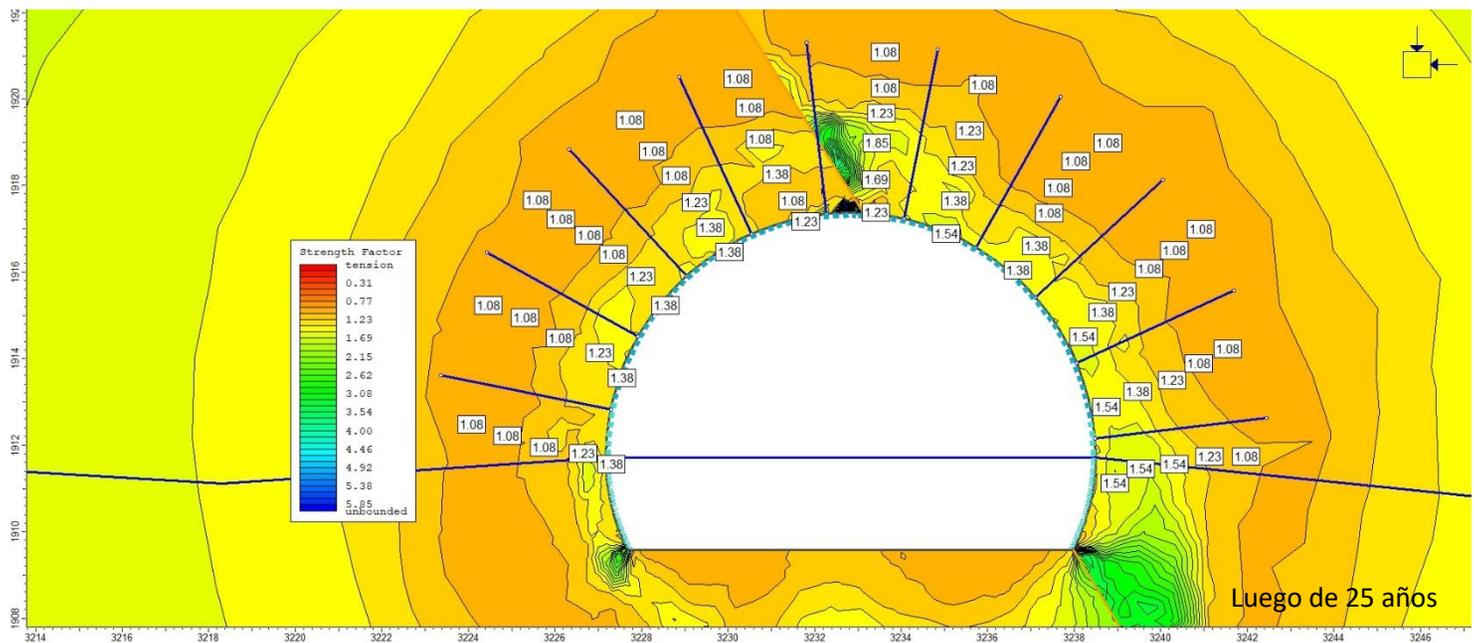
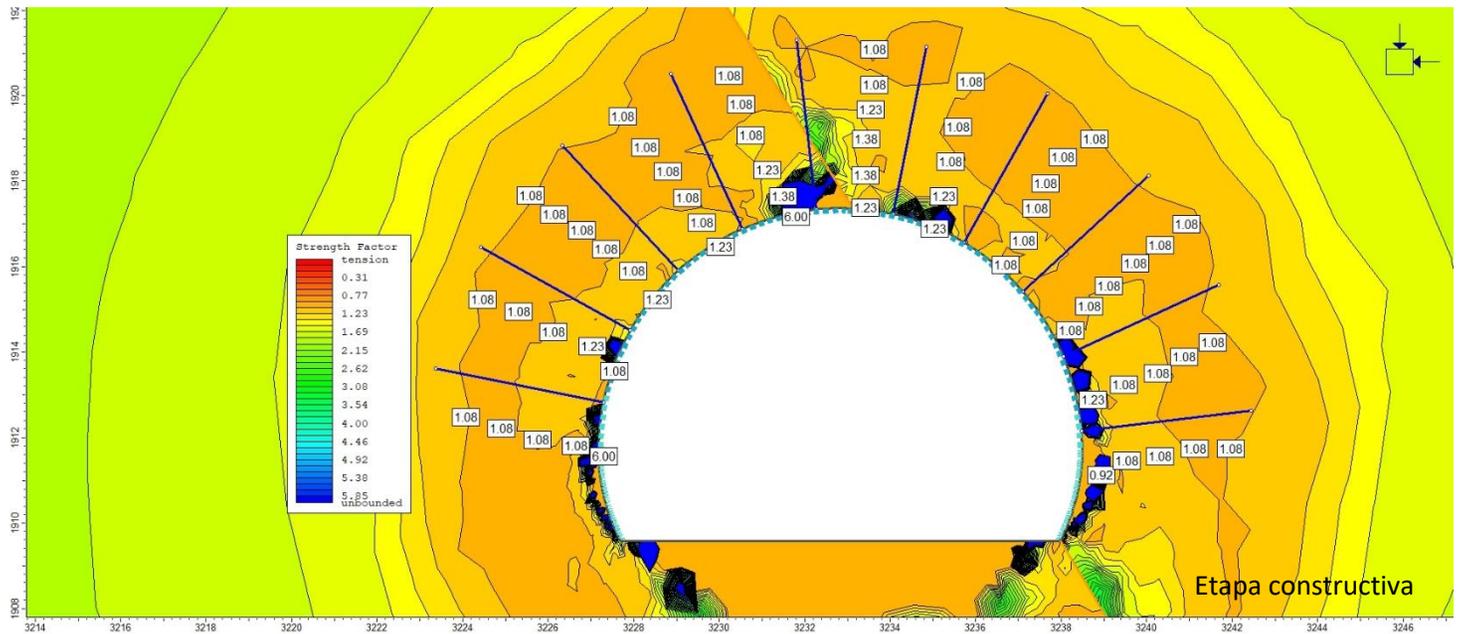
Sector 10 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 10 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

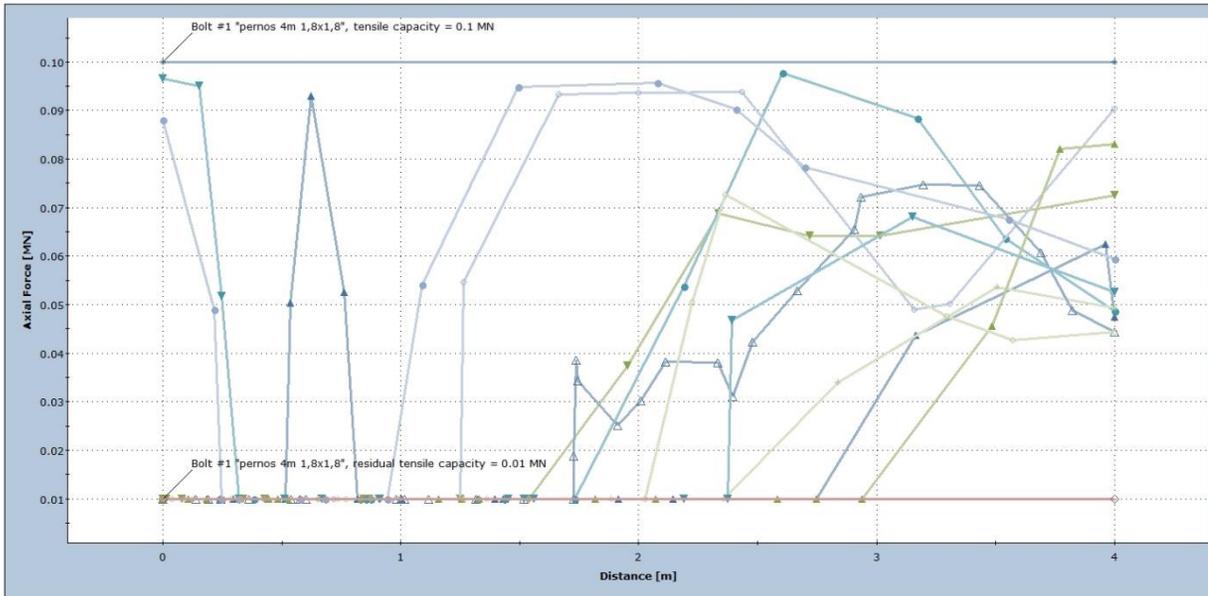


Sector 10 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



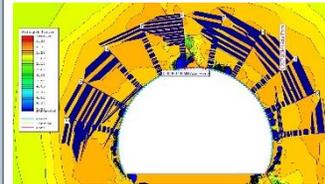
Sector 10 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

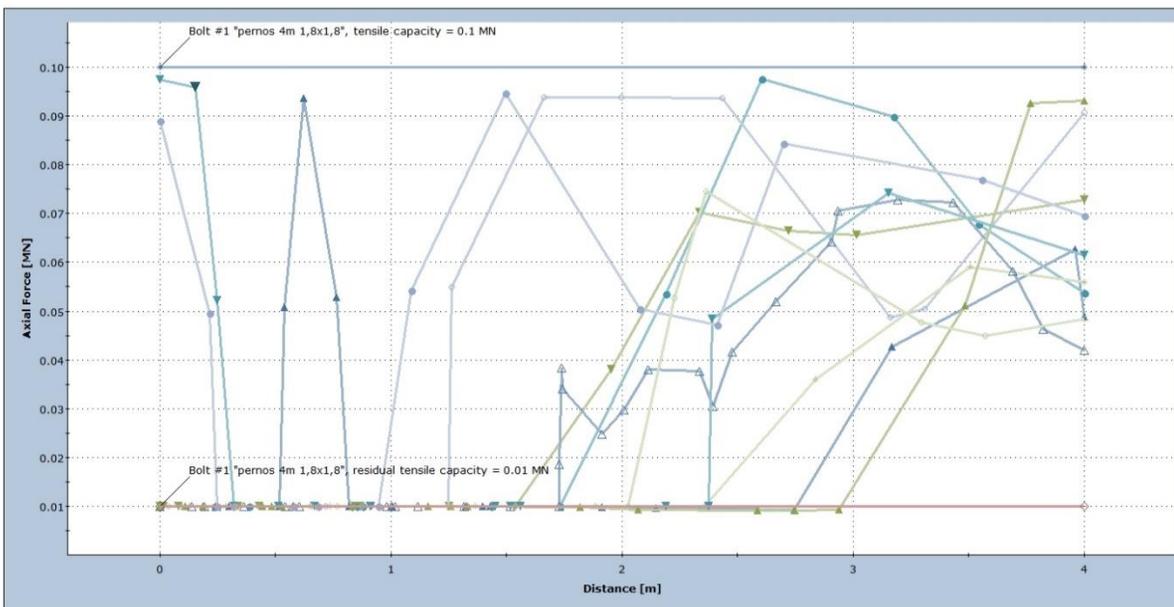


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: etapa constructiva
- △ Bolt #5 Stage: etapa constructiva
- ▽ Bolt #6 Stage: etapa constructiva
- ▲ Bolt #7 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #8 Stage: etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: etapa constructiva
- Bolt #10 Stage: etapa constructiva
- ◇ Bolt #1 Capacity
- ◇ Bolt #1 Residual Capacity

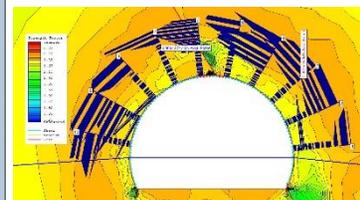


Axial Force



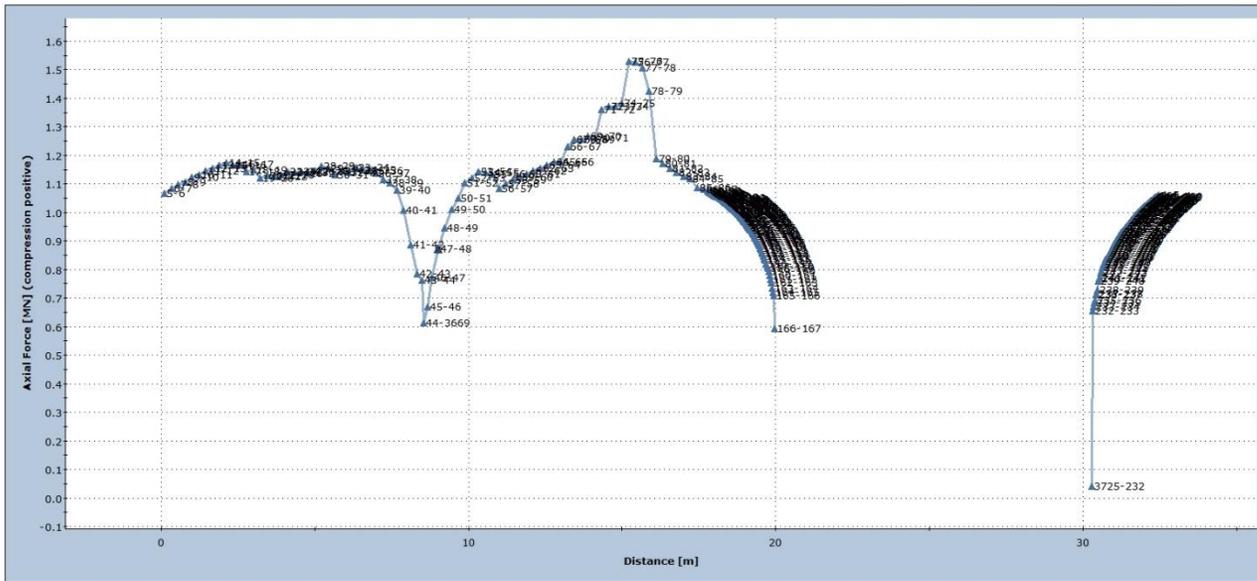
Luego de 25 años

- ▲ Bolt #1 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: resistencia luego de 25 años
- △ Bolt #5 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▽ Bolt #6 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▲ Bolt #7 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #8 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #10 Stage: resistencia luego de 25 años
- ◇ Bolt #1 Capacity
- ◇ Bolt #1 Residual Capacity

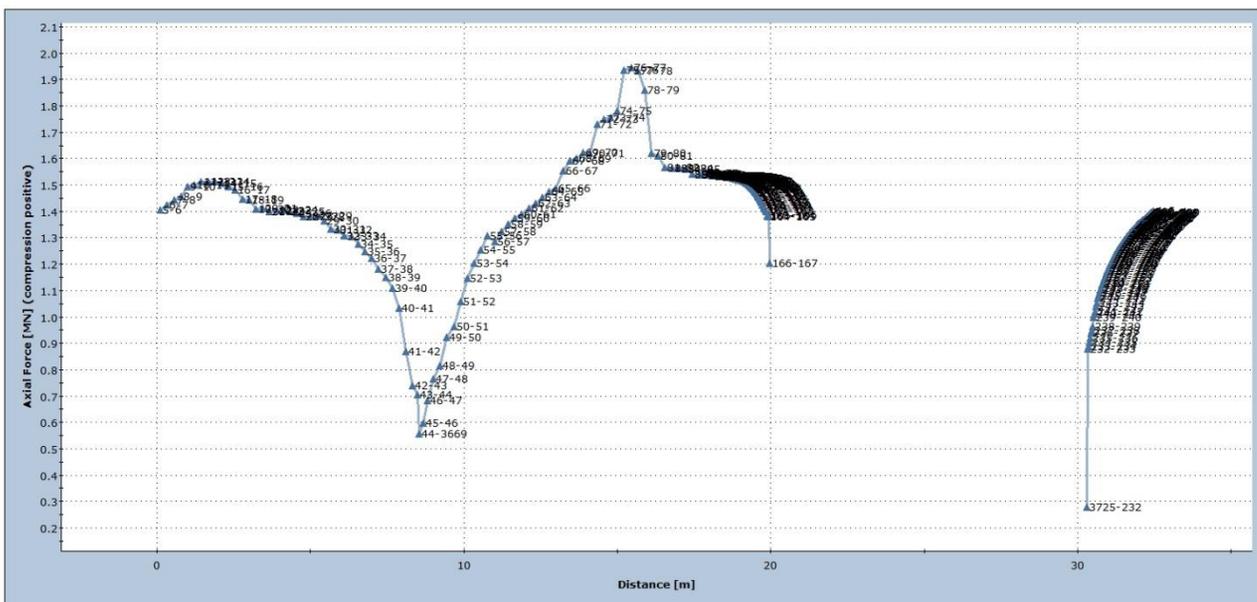


Sector 10 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

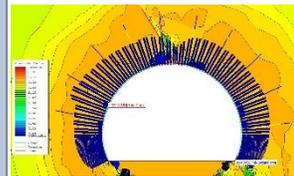
Axial Force



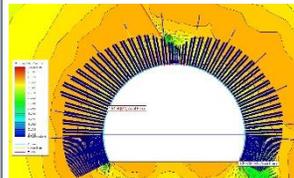
Axial Force



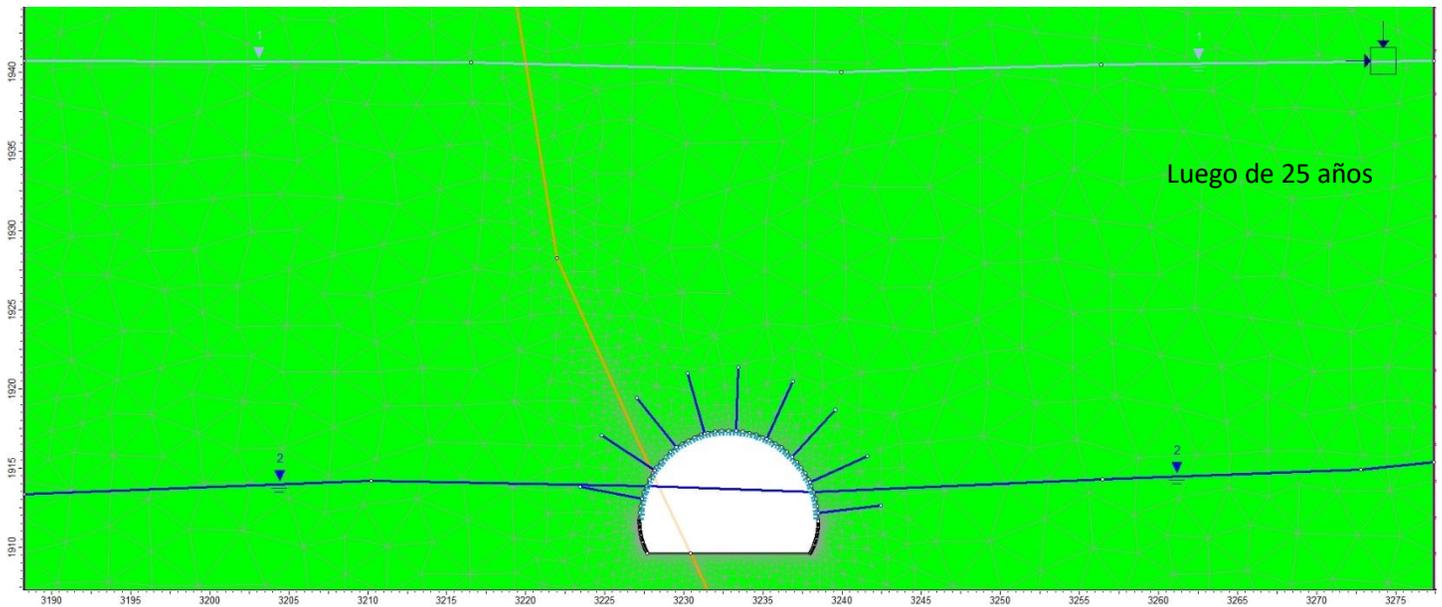
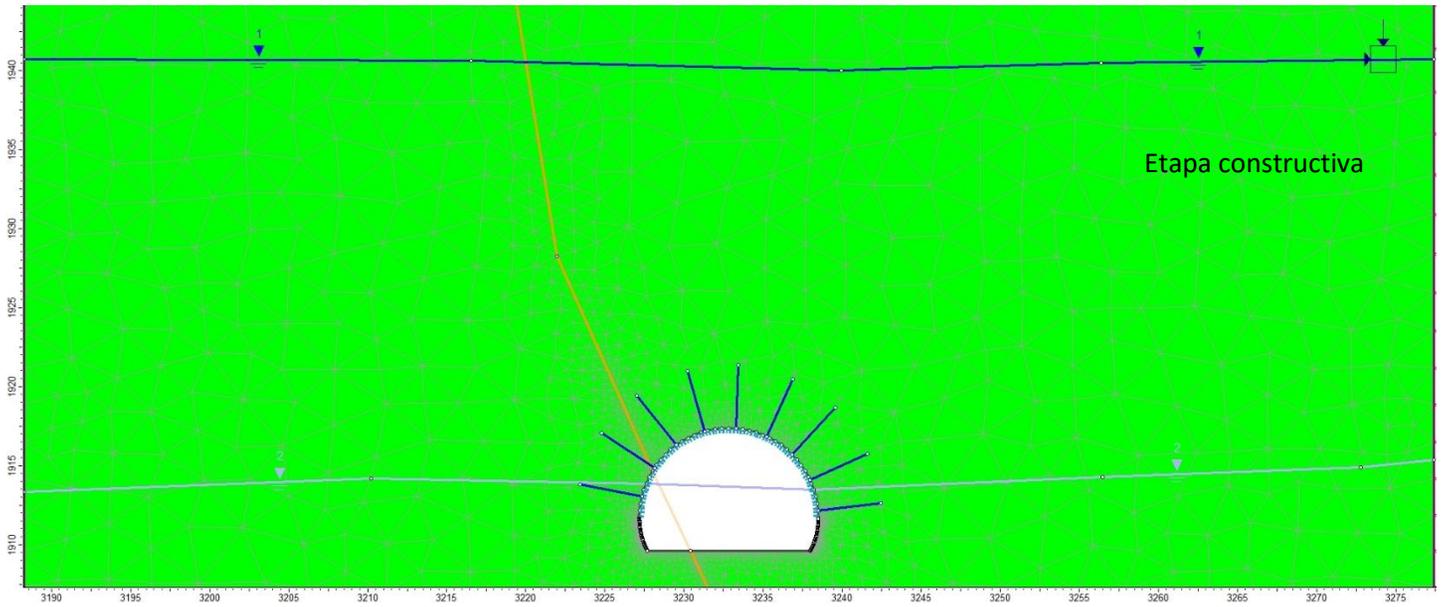
Etapa constructiva



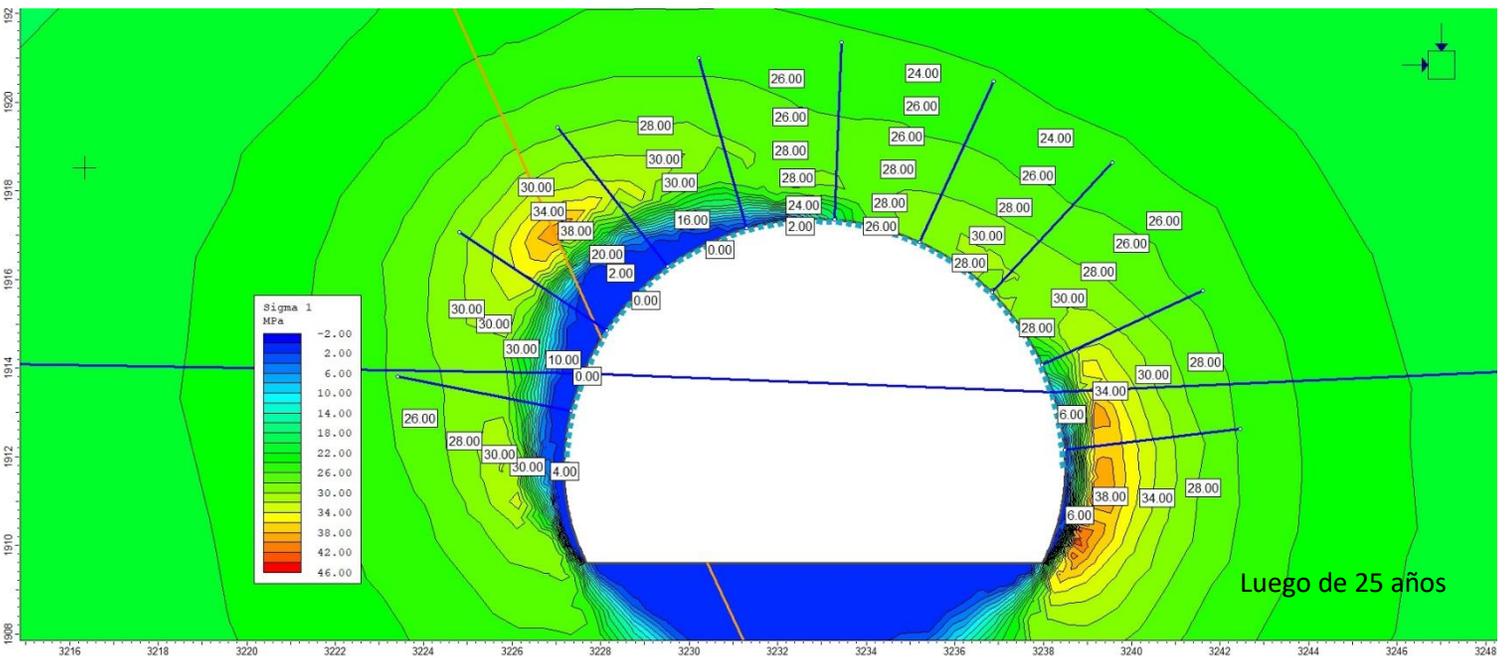
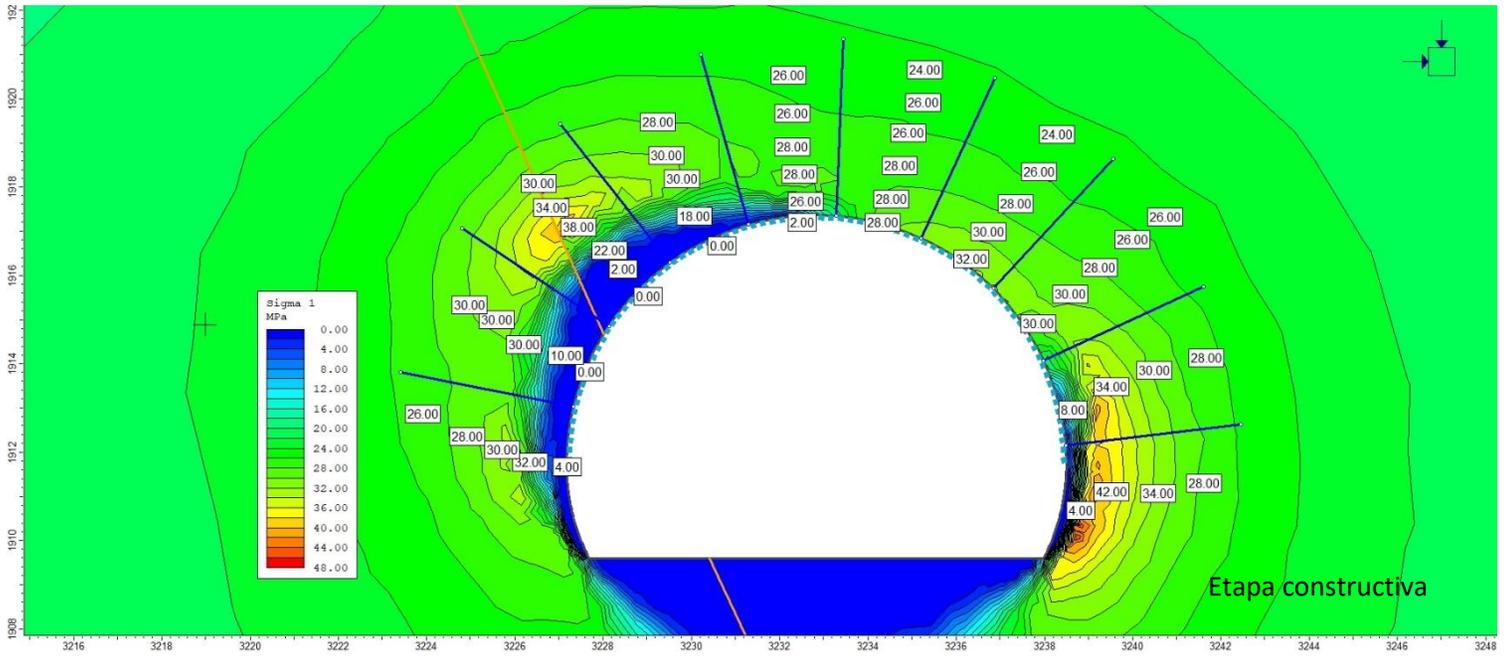
Luego de 25 años



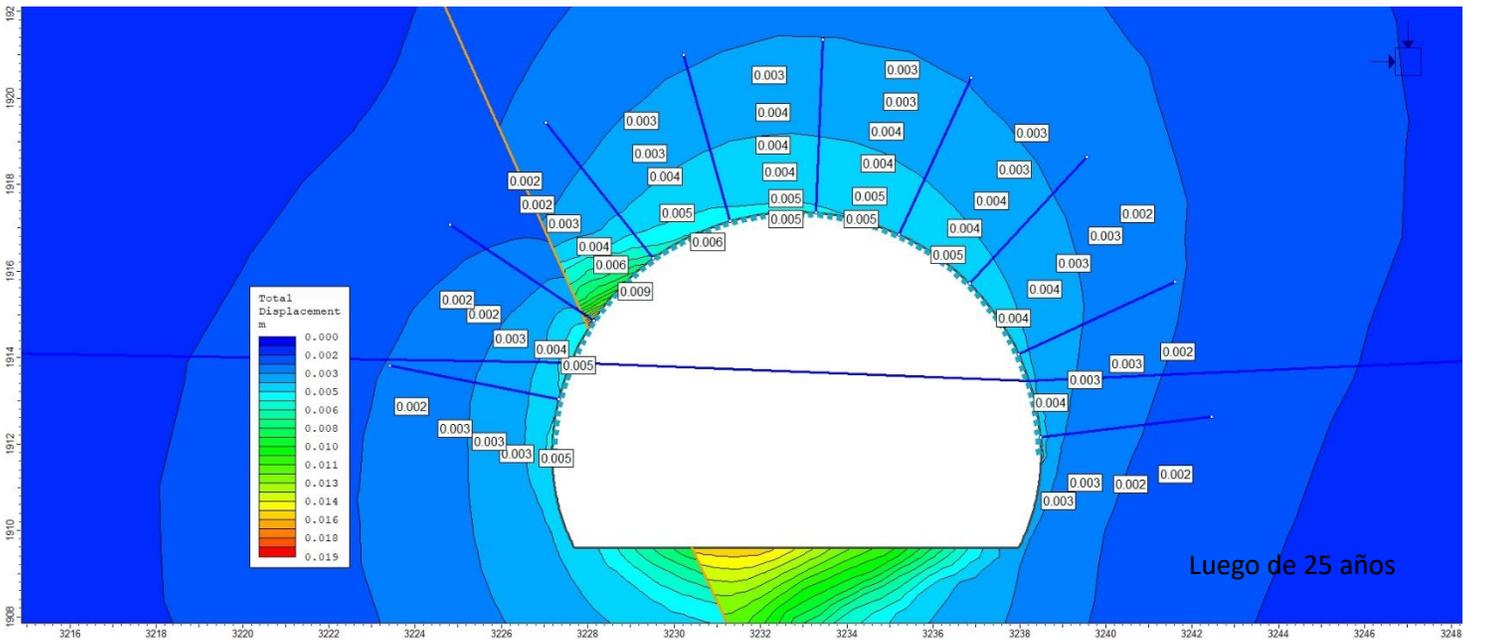
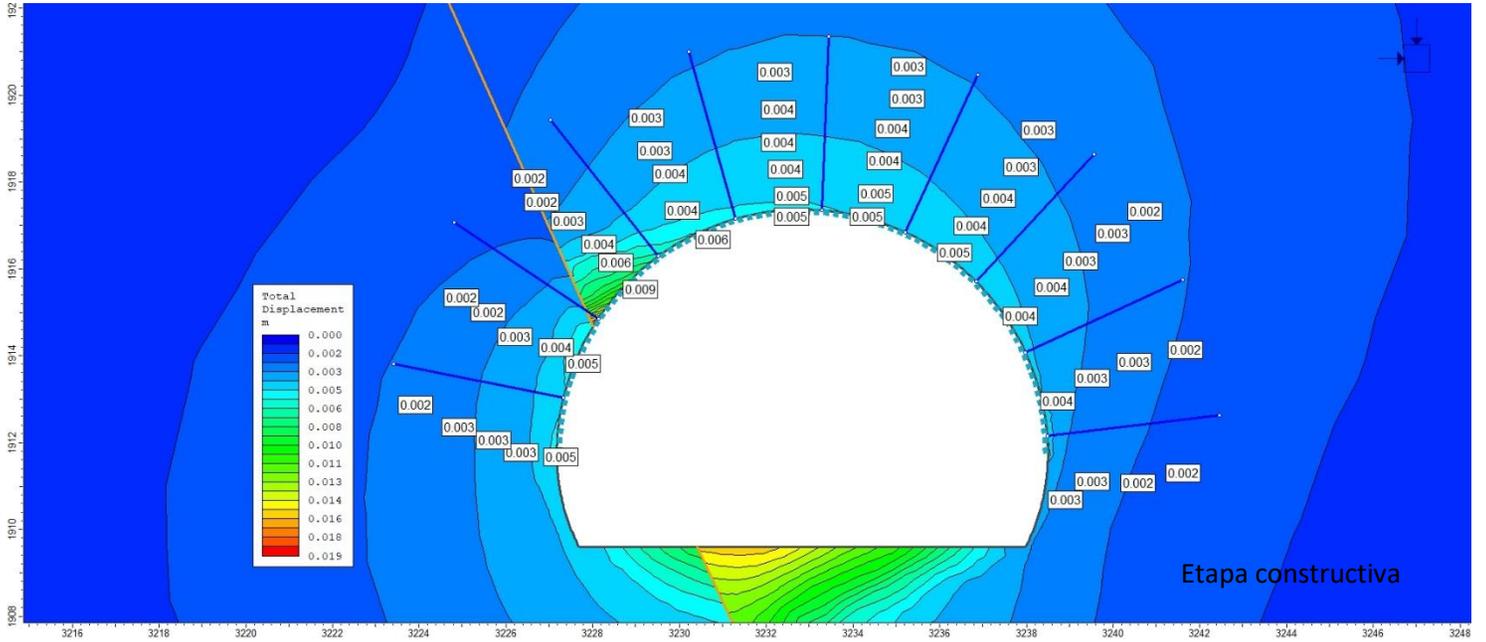
Sector 11 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



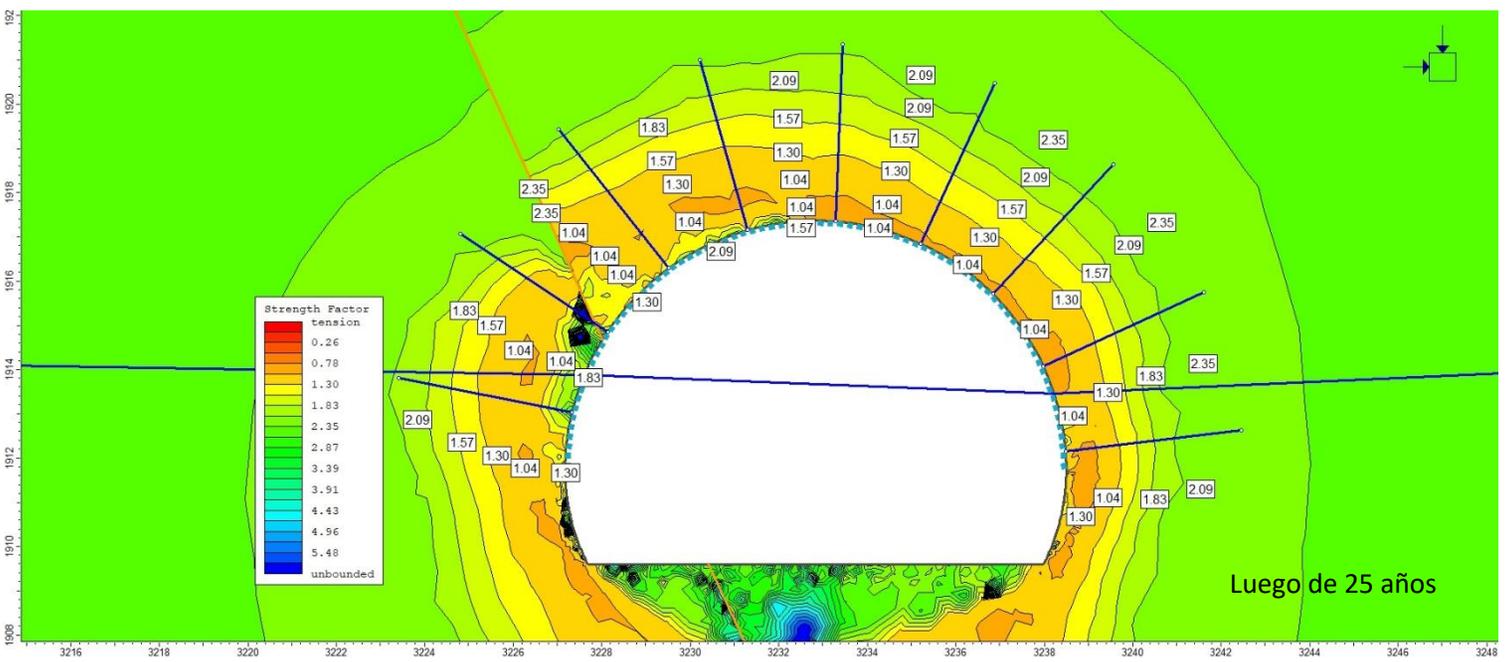
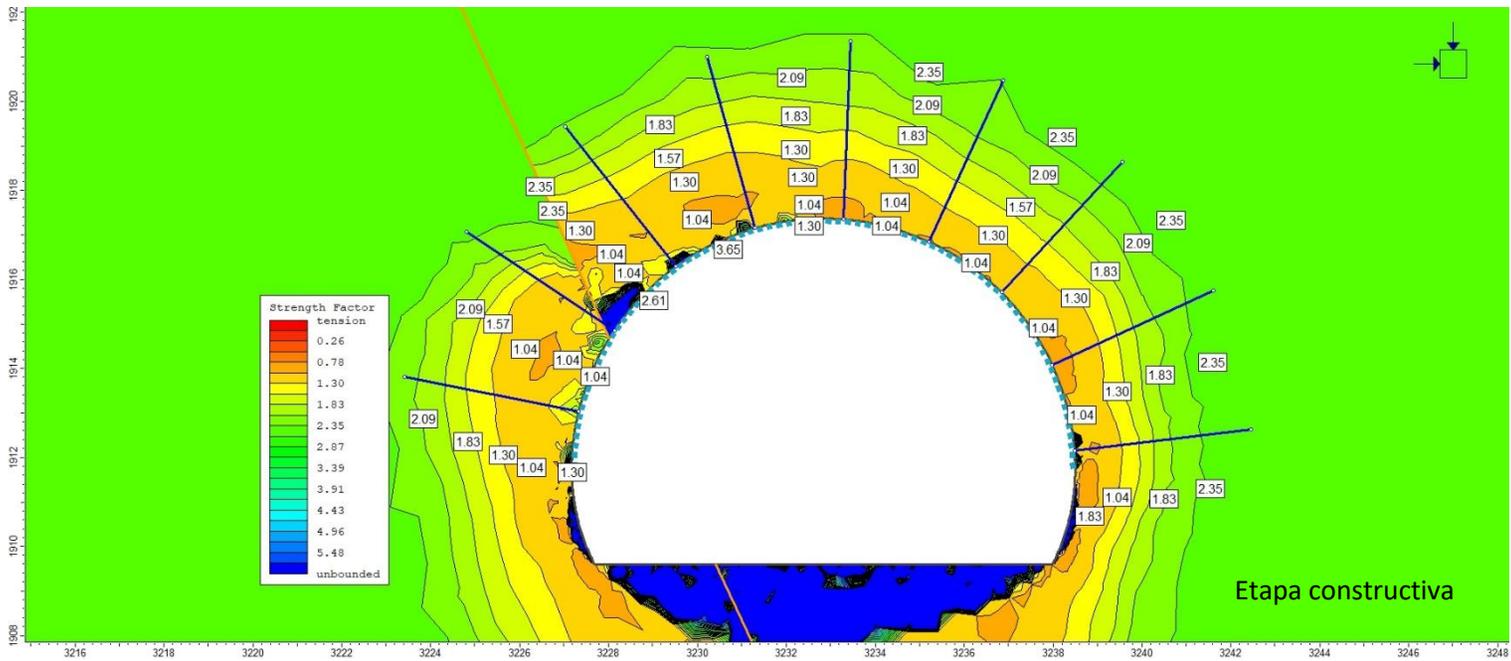
Sector 11 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 11 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

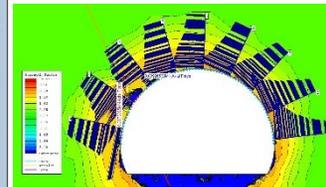
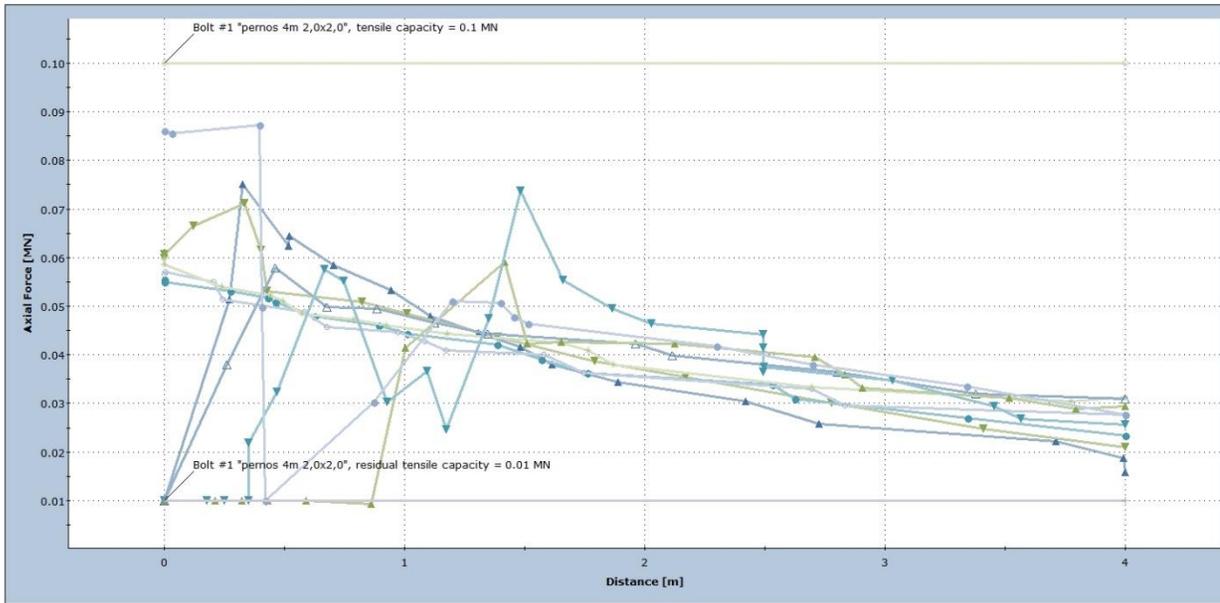


Sector 11 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años

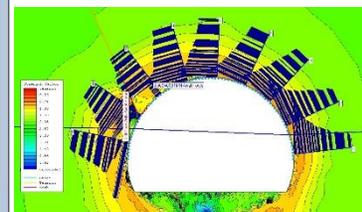
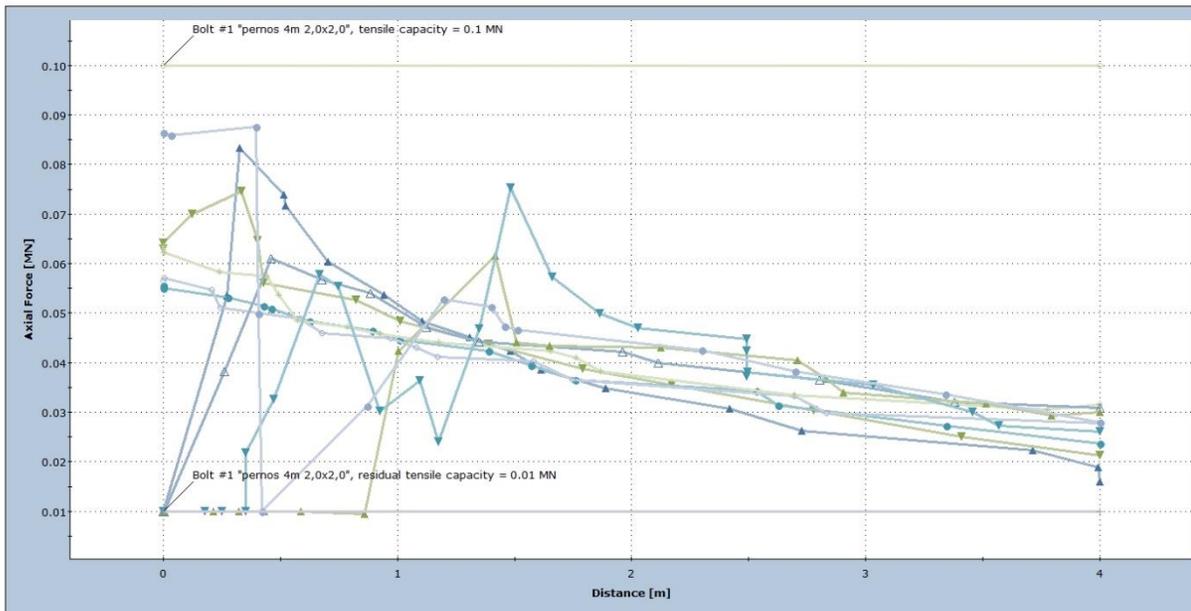


Sector 11 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

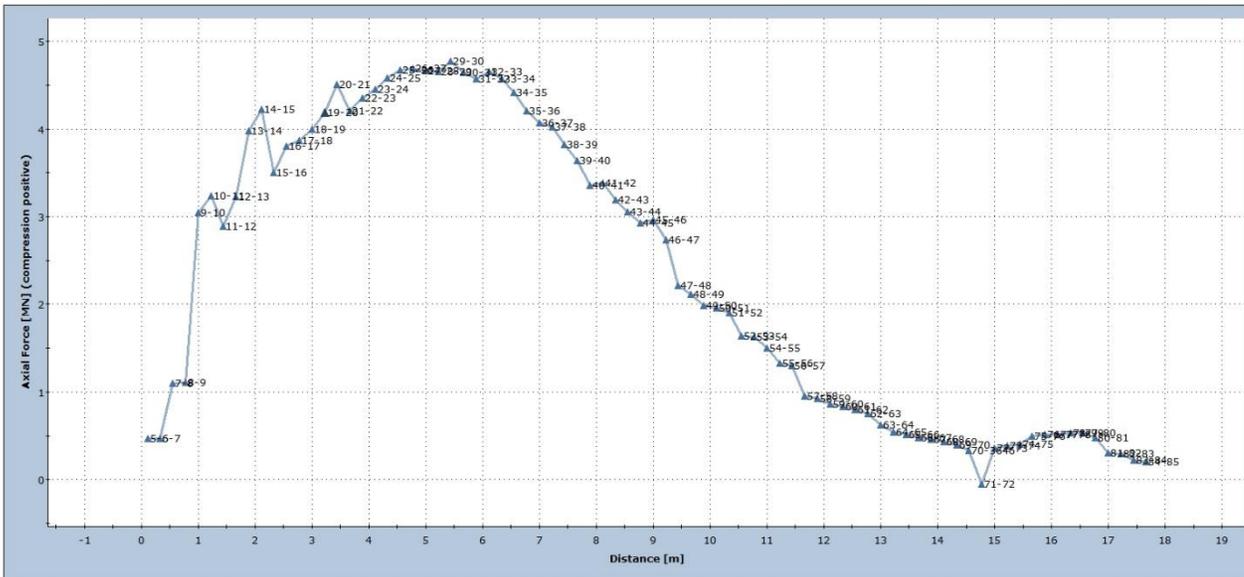


Axial Force

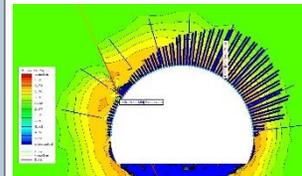


Sector 11 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

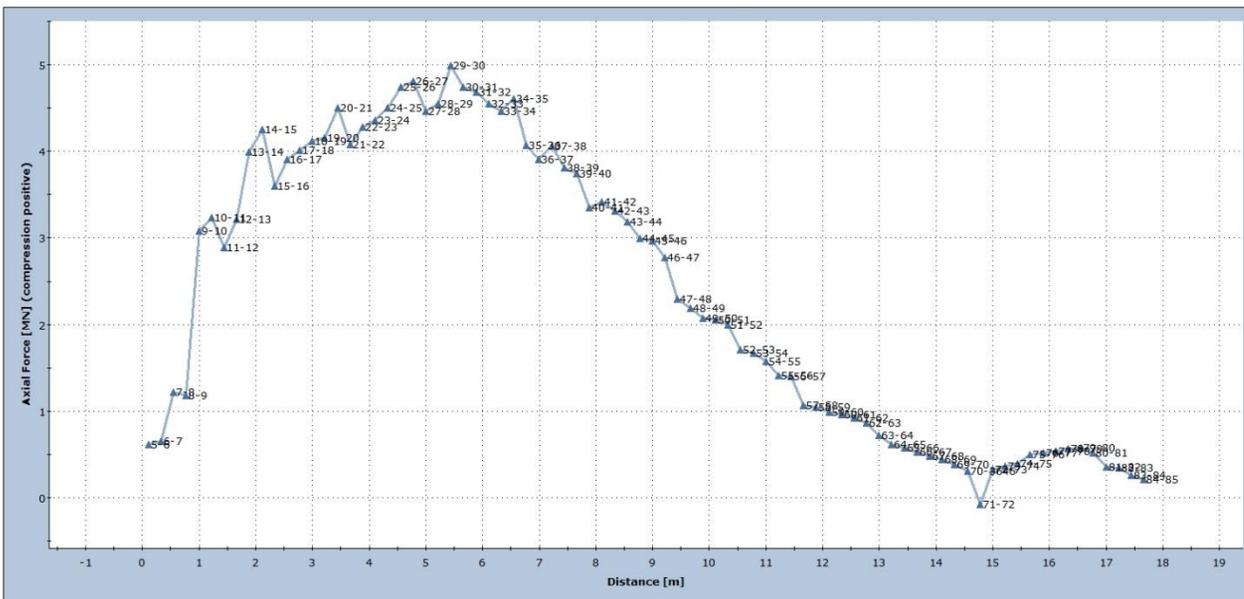
Axial Force



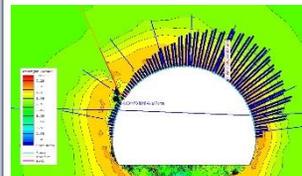
Etapa constructiva



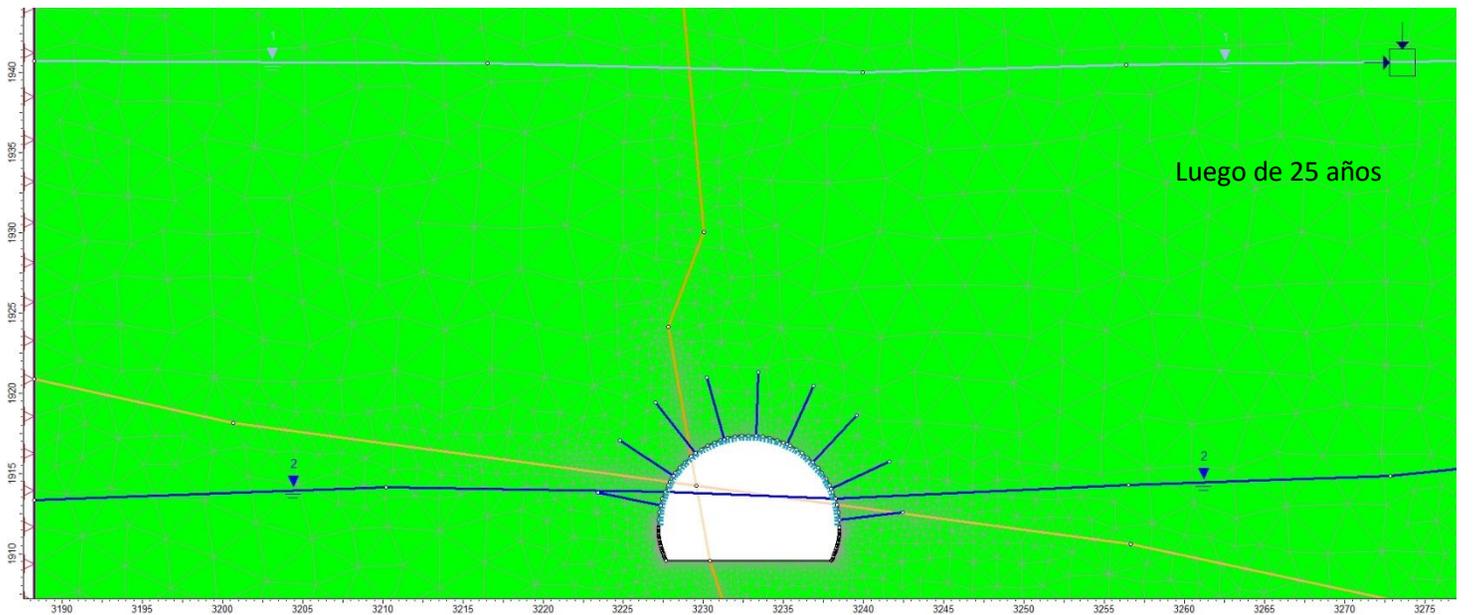
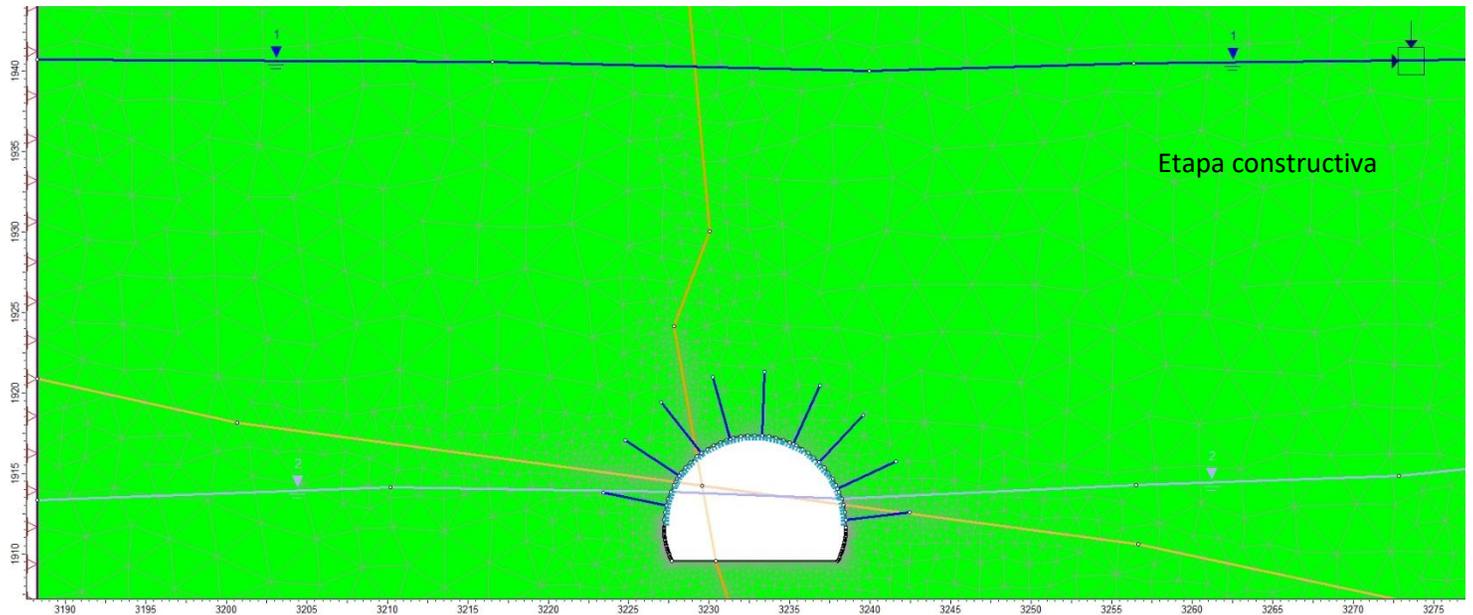
Axial Force



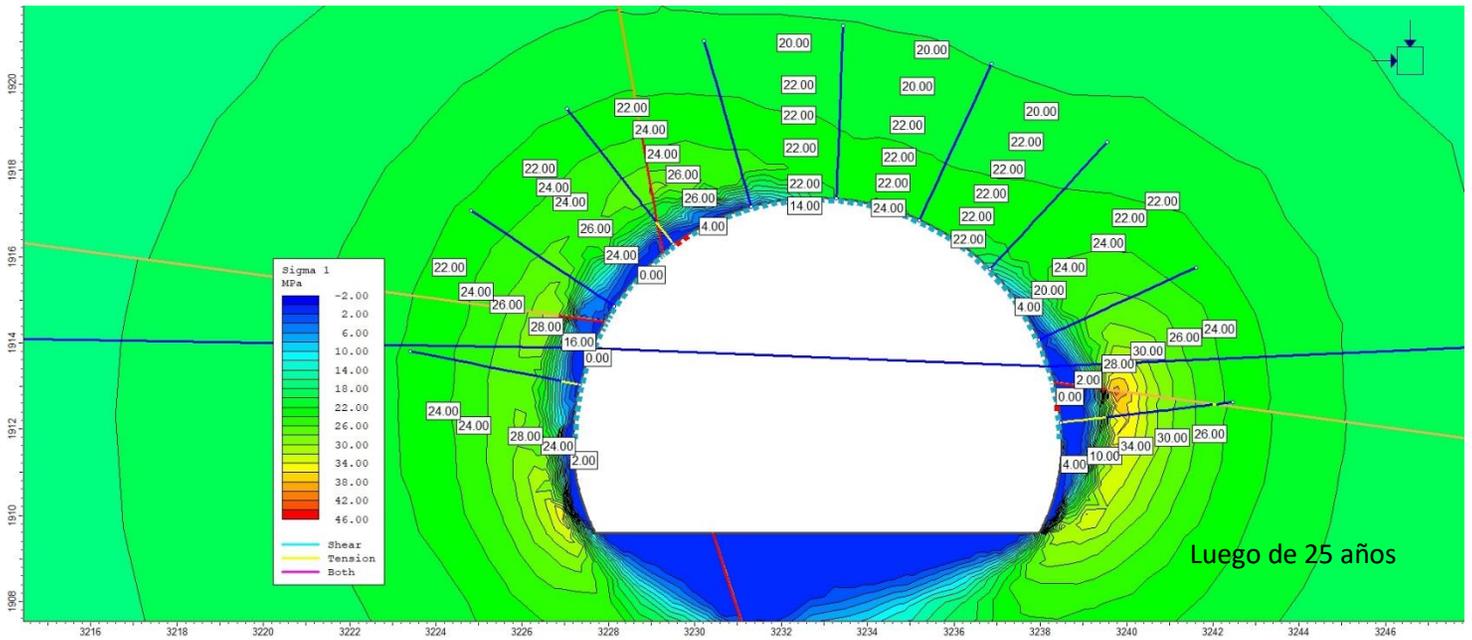
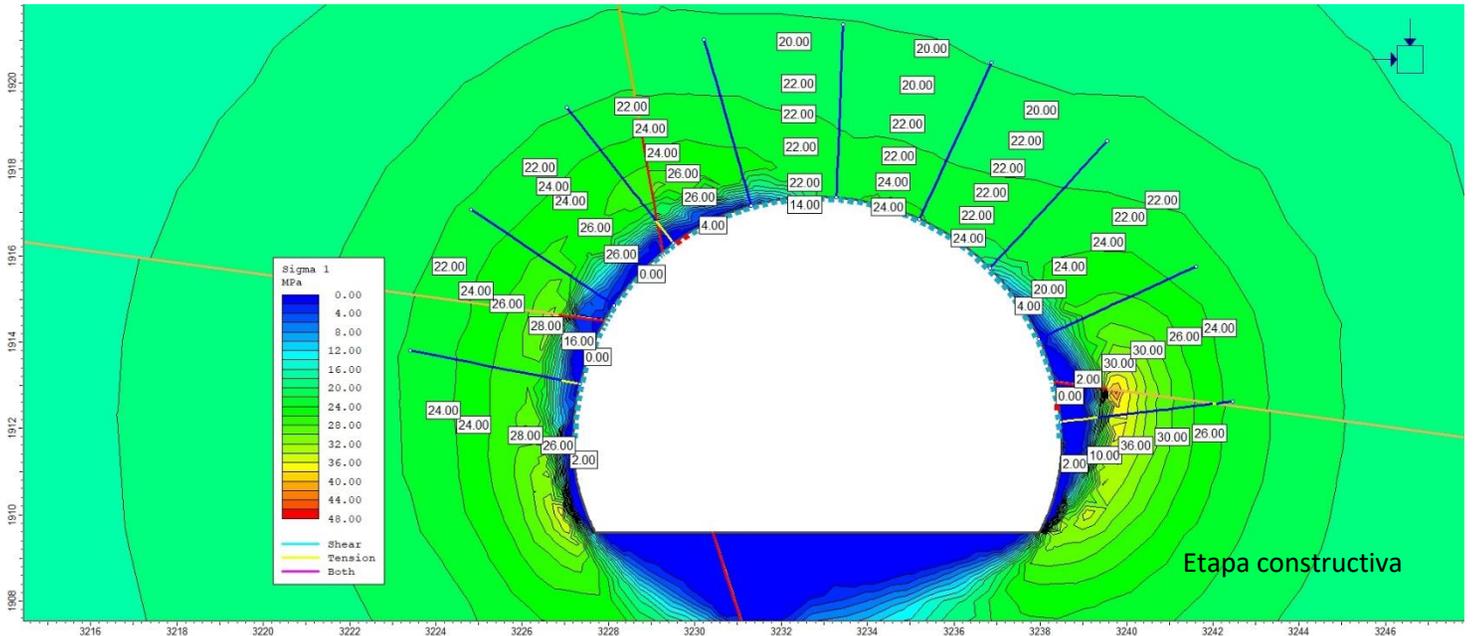
Luego de 25 años



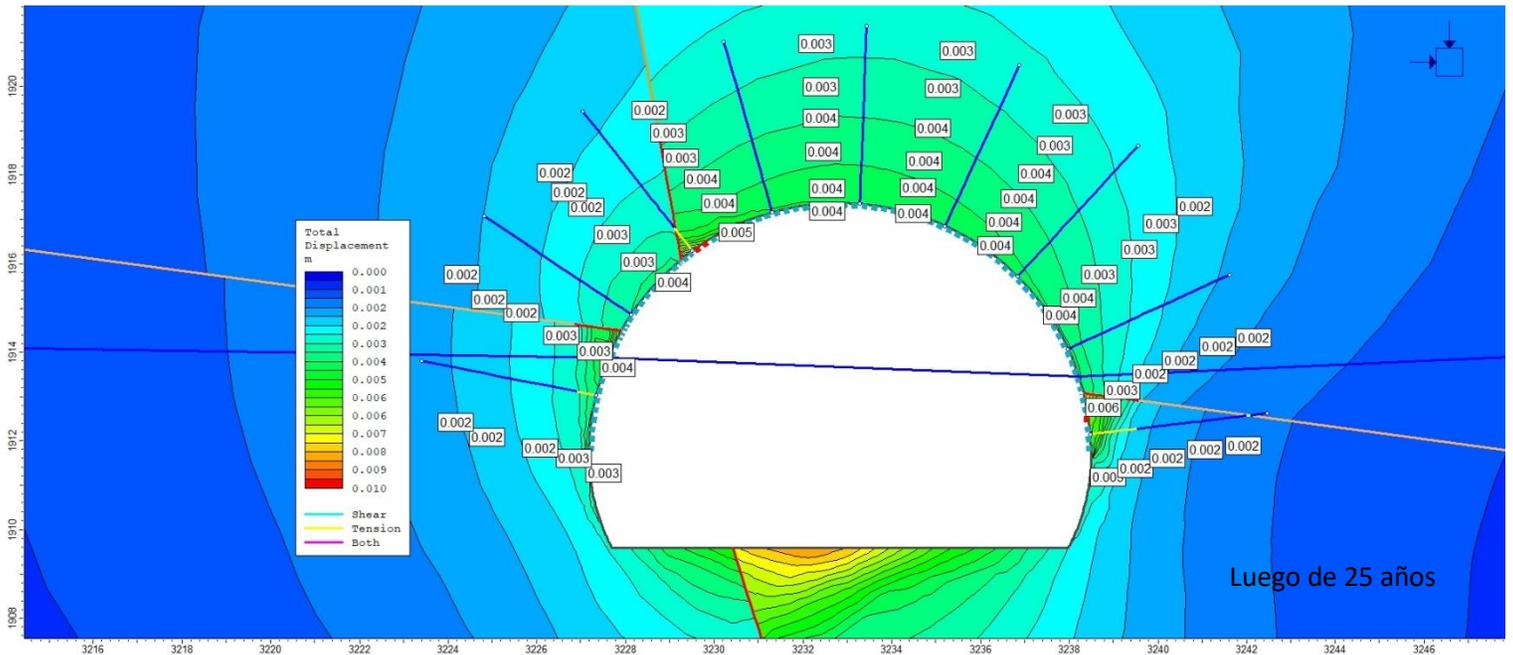
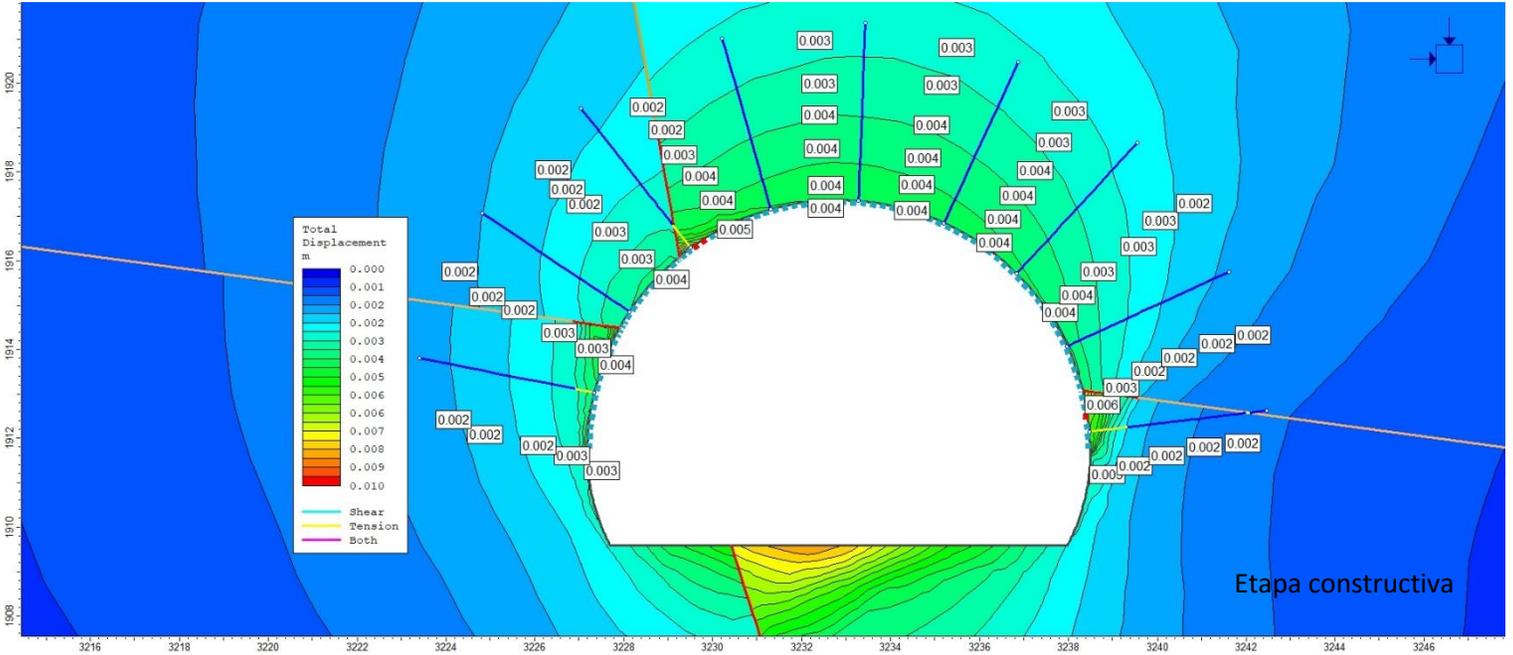
Sector 12 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



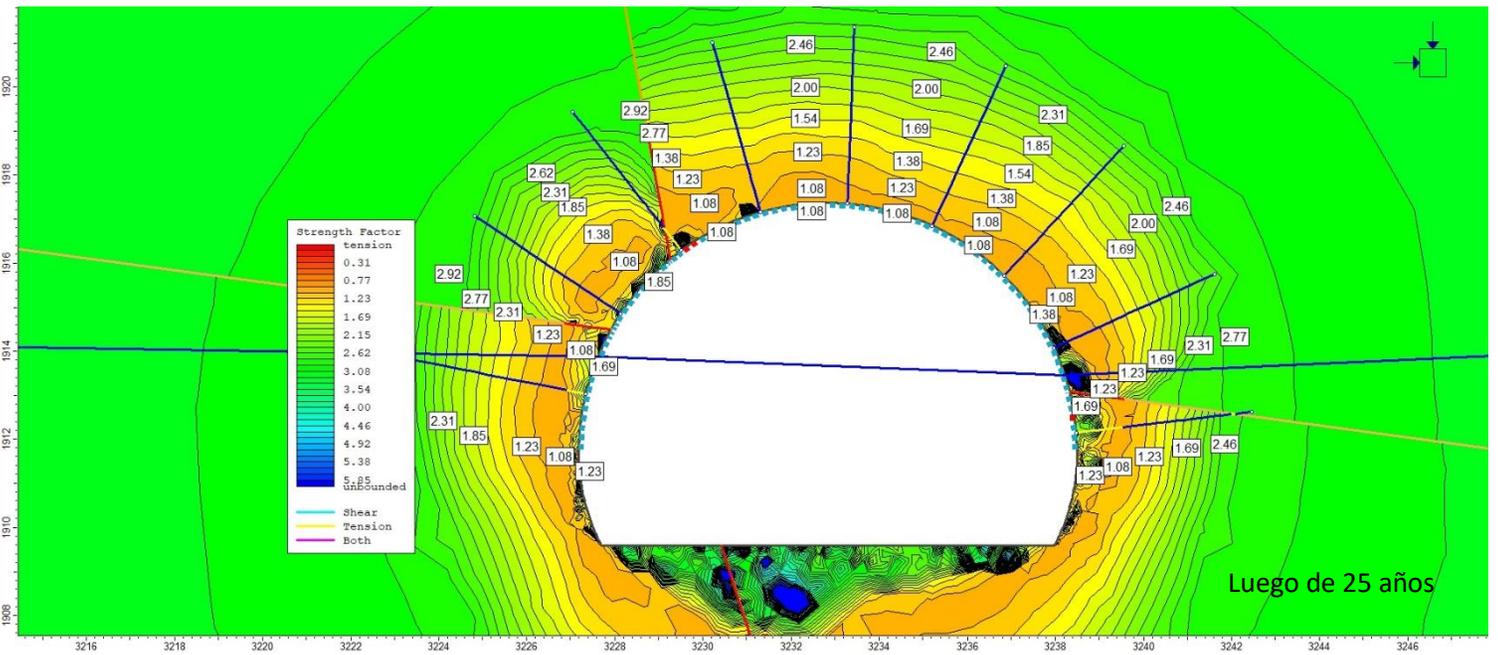
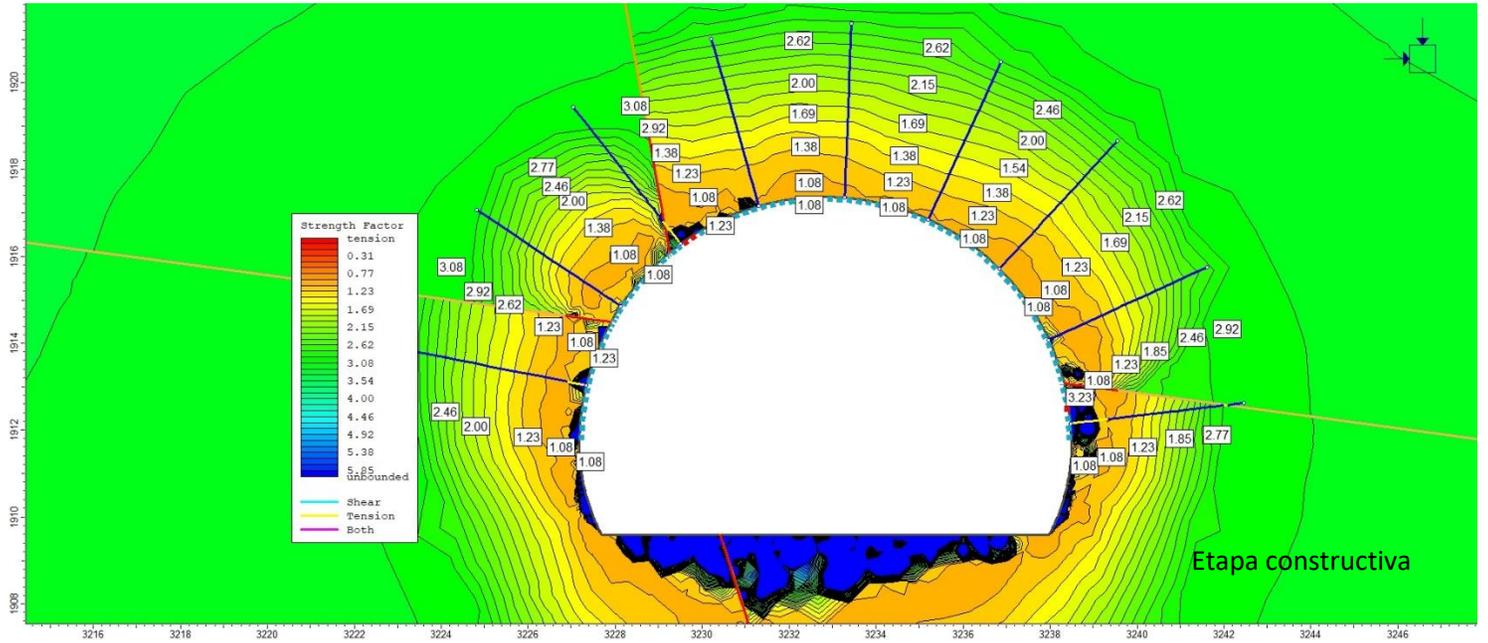
Sector 12 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 12 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

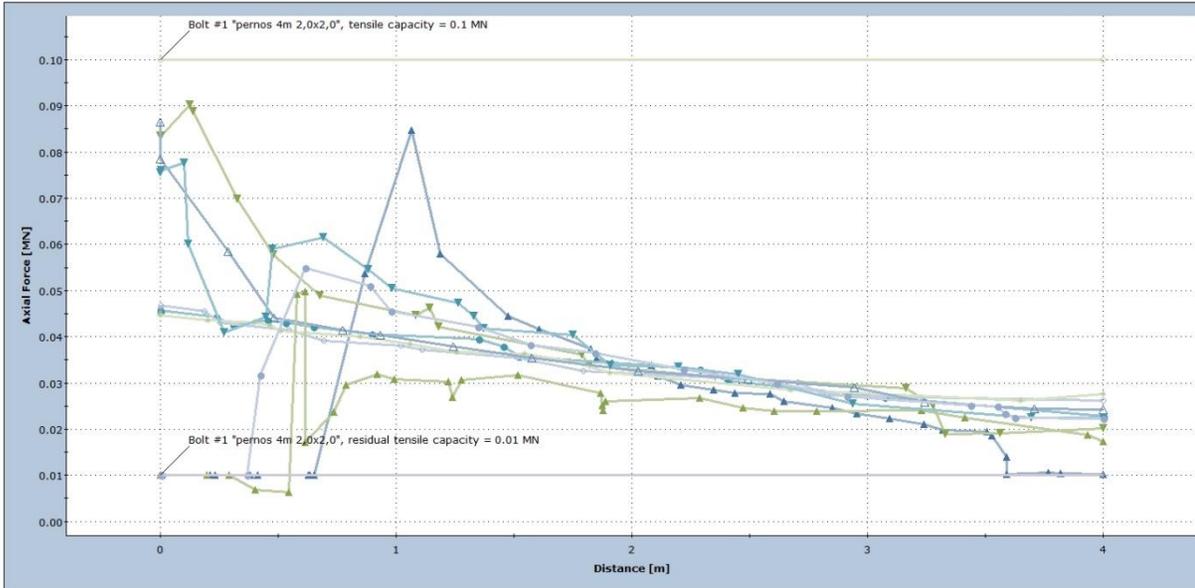


Sector 12 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



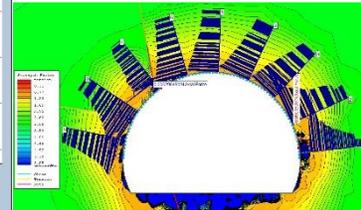
Sector 12 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

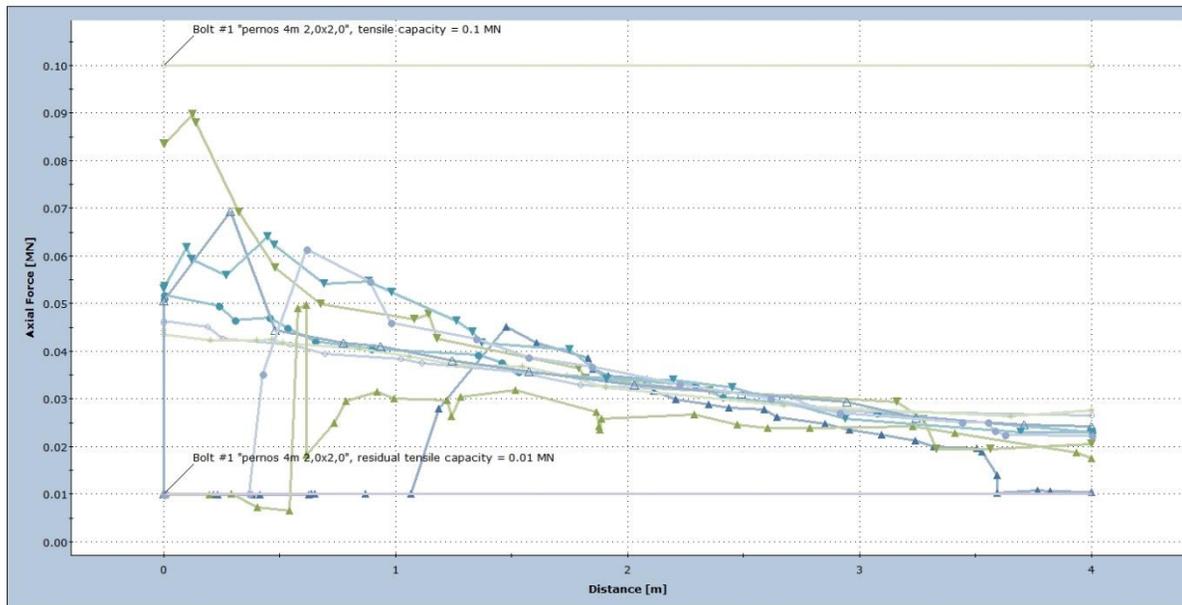


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: etapa constructiva
- Bolt #5 Stage: etapa constructiva
- △ Bolt #6 Stage: etapa constructiva
- ▽ Bolt #7 Stage: etapa constructiva
- ◆ Bolt #8 Stage: etapa constructiva
- ◇ Bolt #9 Stage: etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

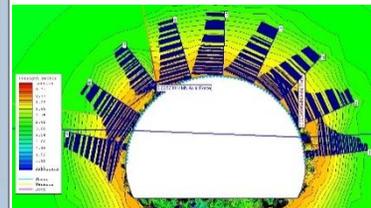


Axial Force

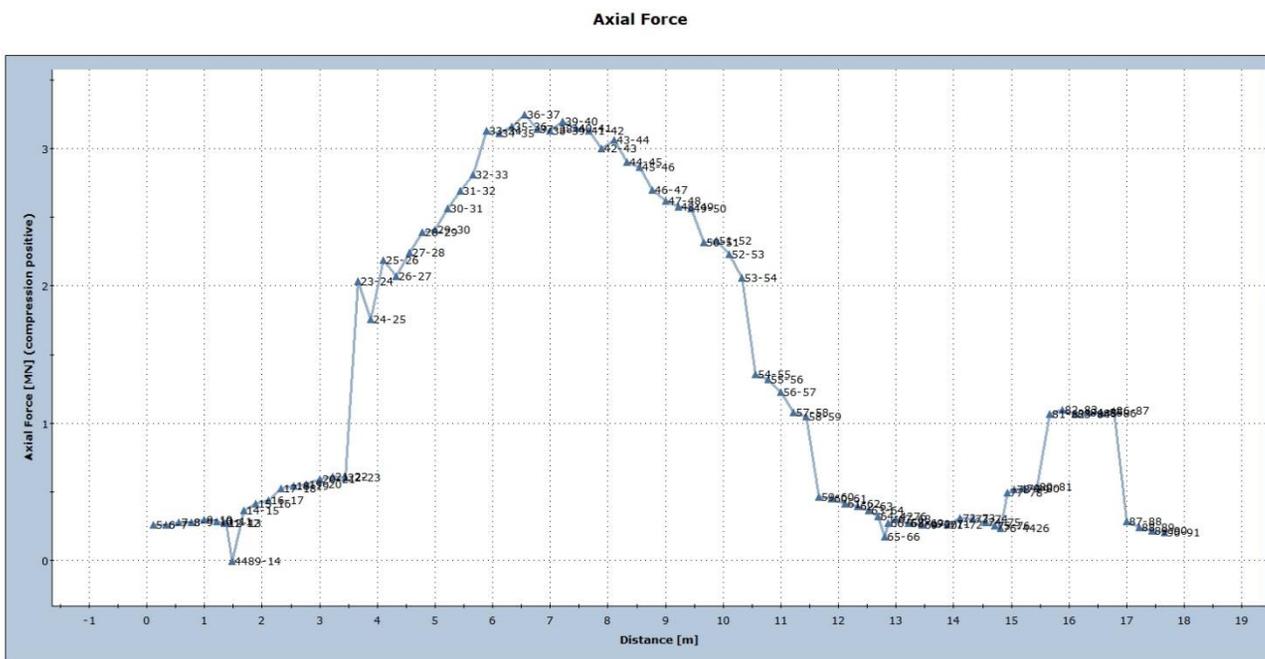
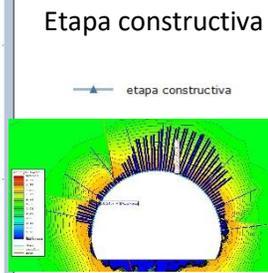
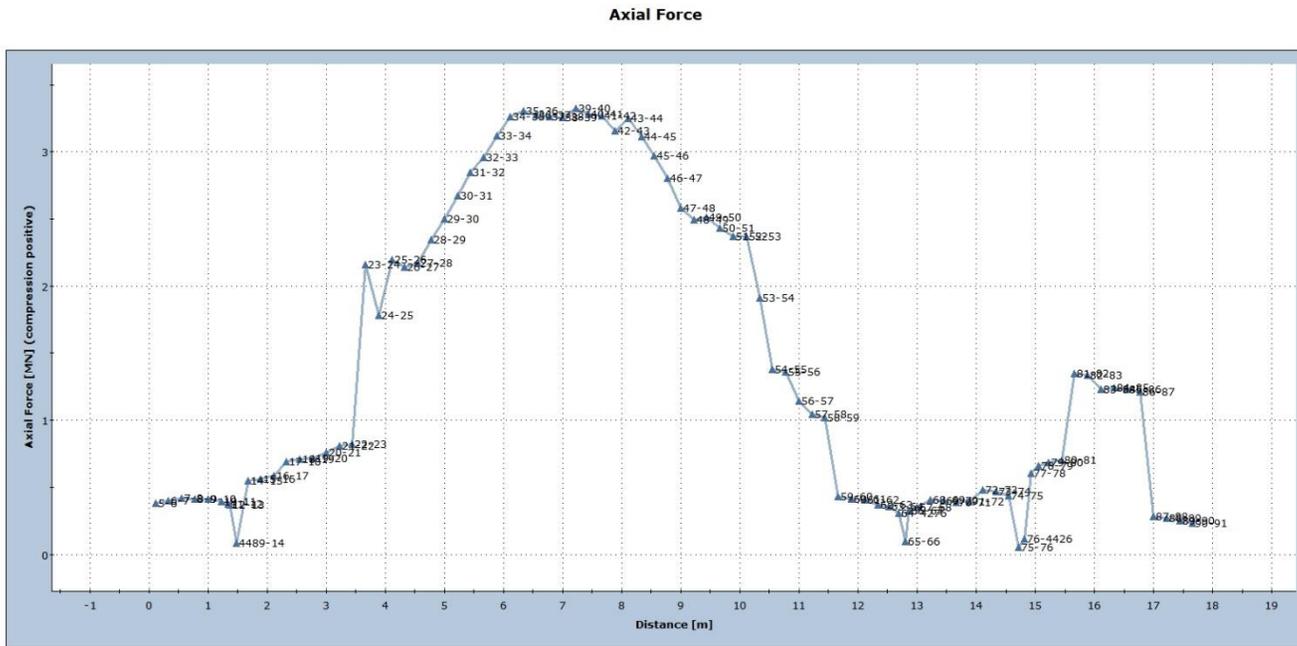


Luego de 25 años

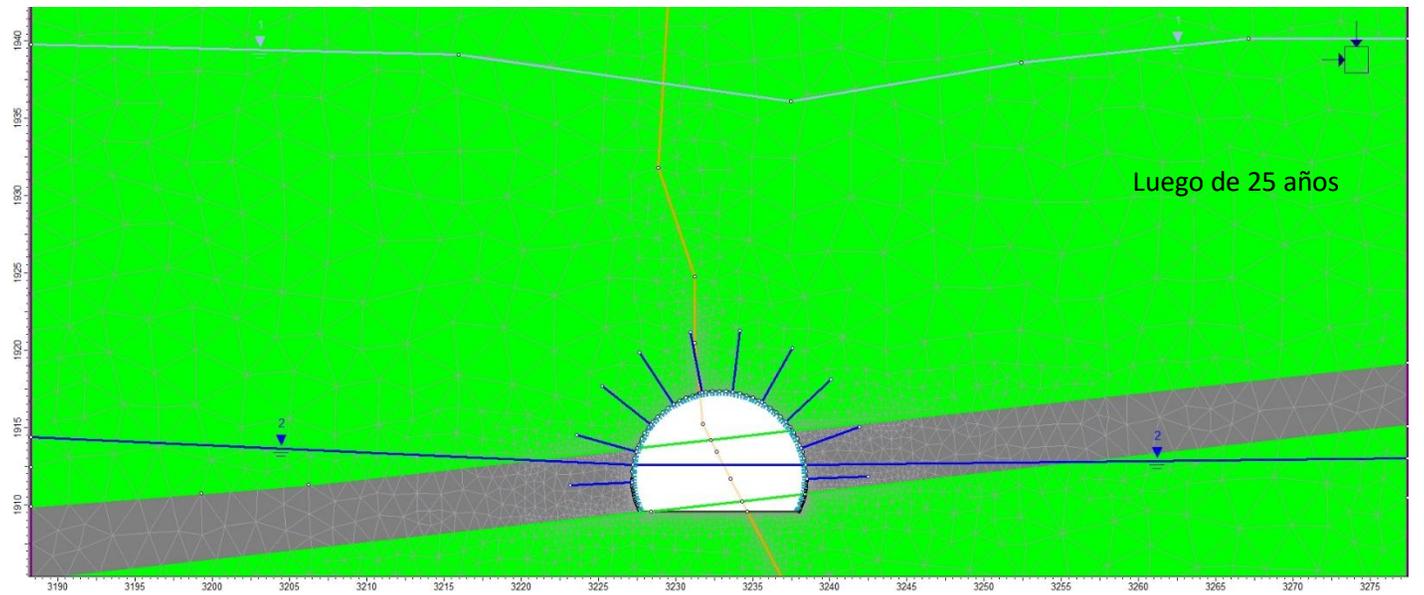
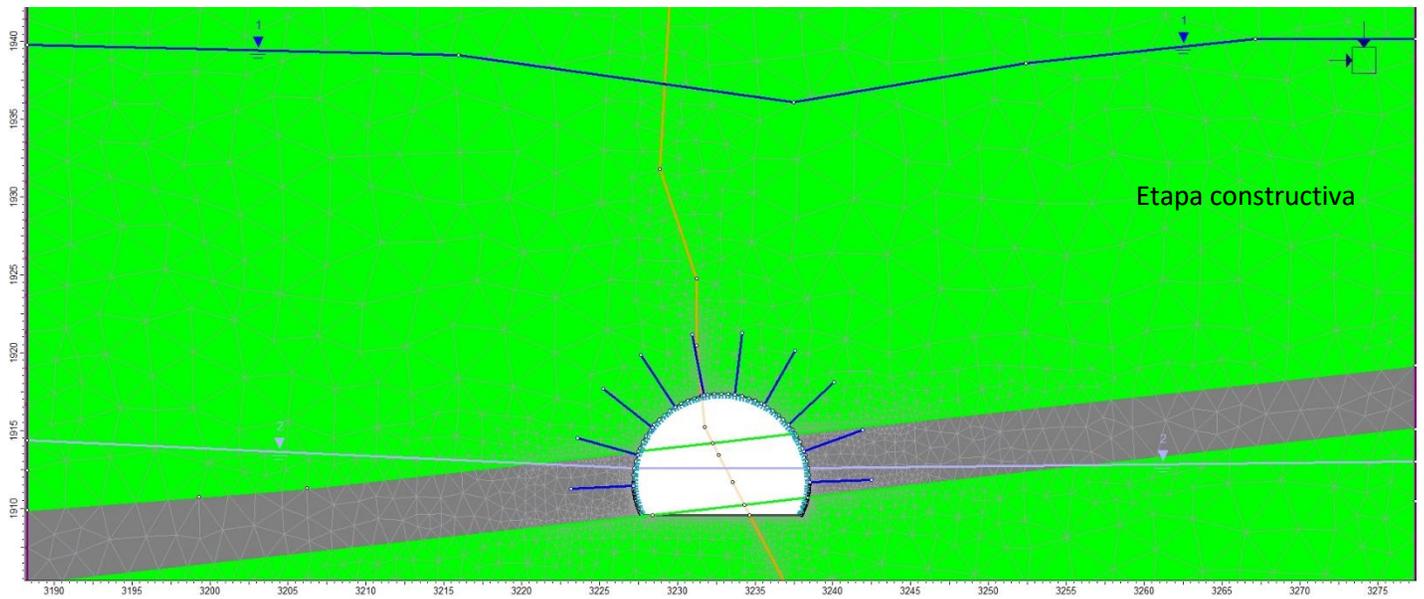
- ▲ Bolt #1 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #5 Stage: Resistencia luego de 25 años
- △ Bolt #6 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ▽ Bolt #7 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ◆ Bolt #8 Stage: Resistencia luego de 25 años
- ◇ Bolt #9 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity



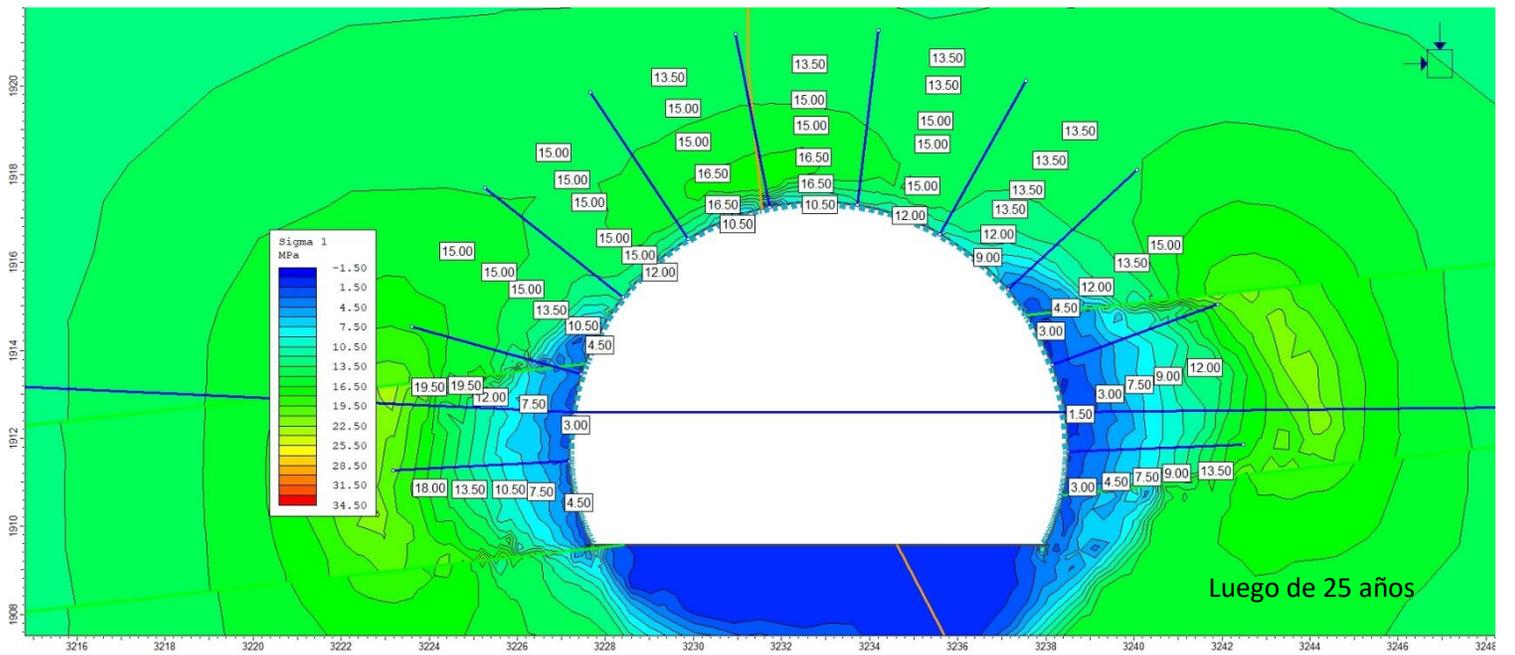
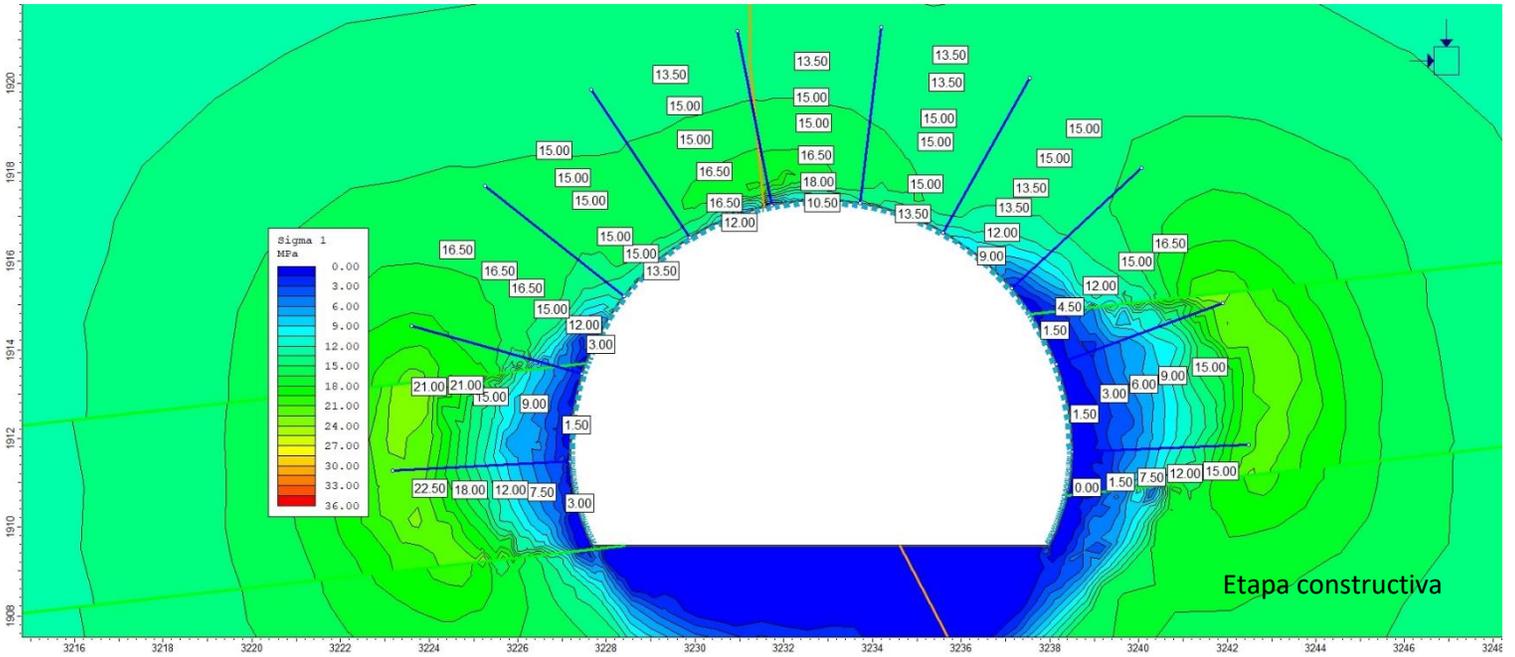
Sector 12 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años



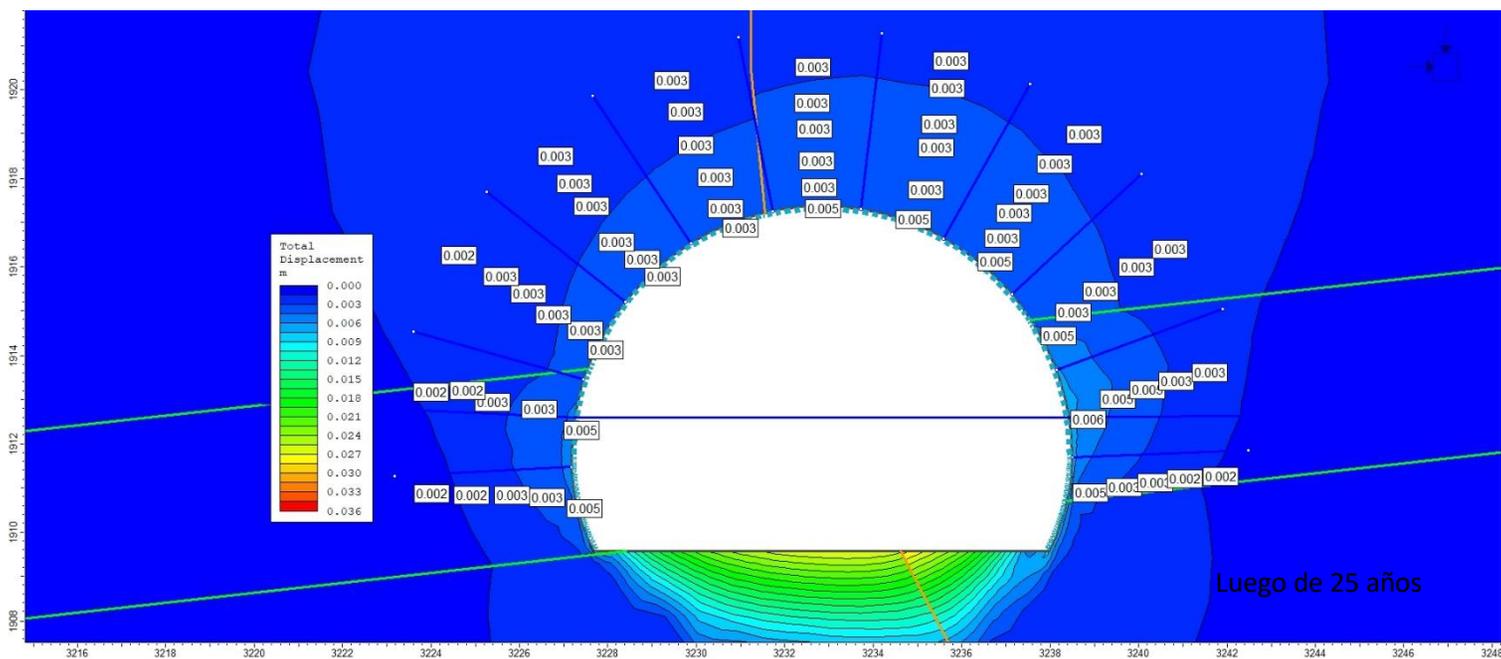
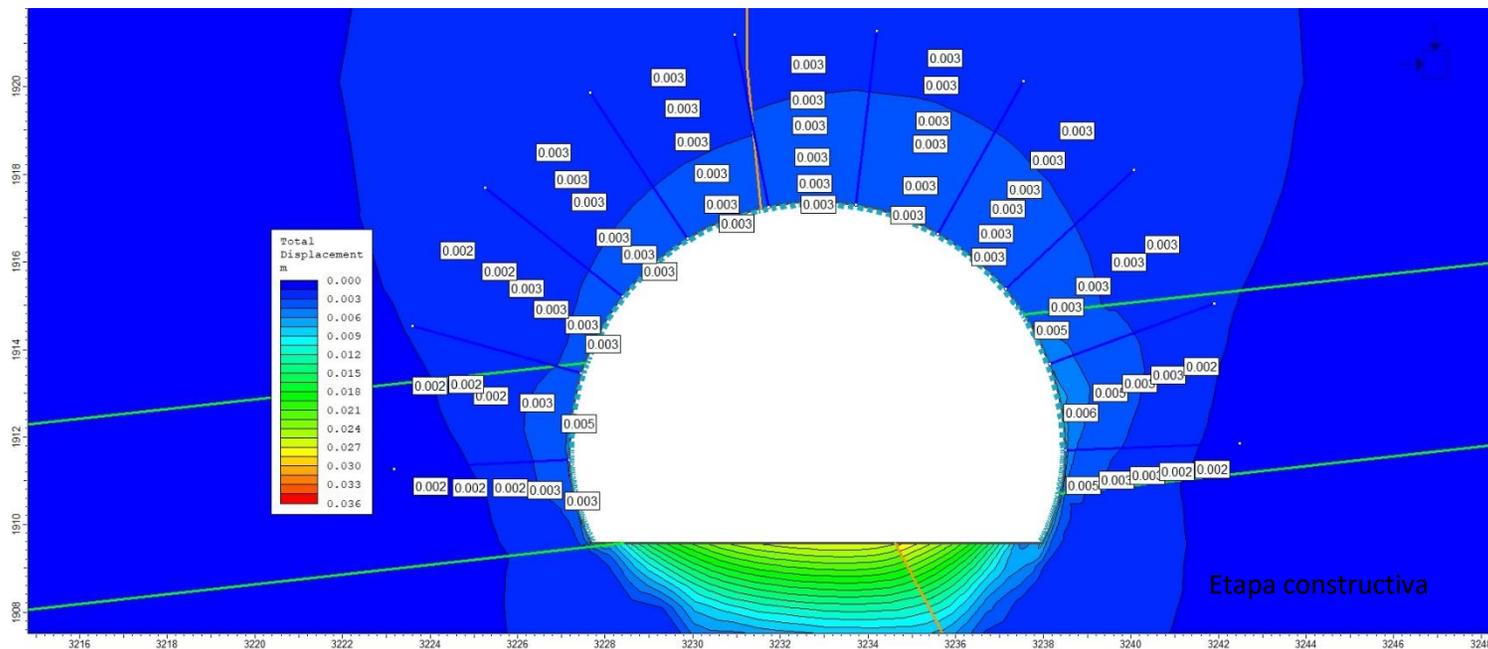
Sector 13 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



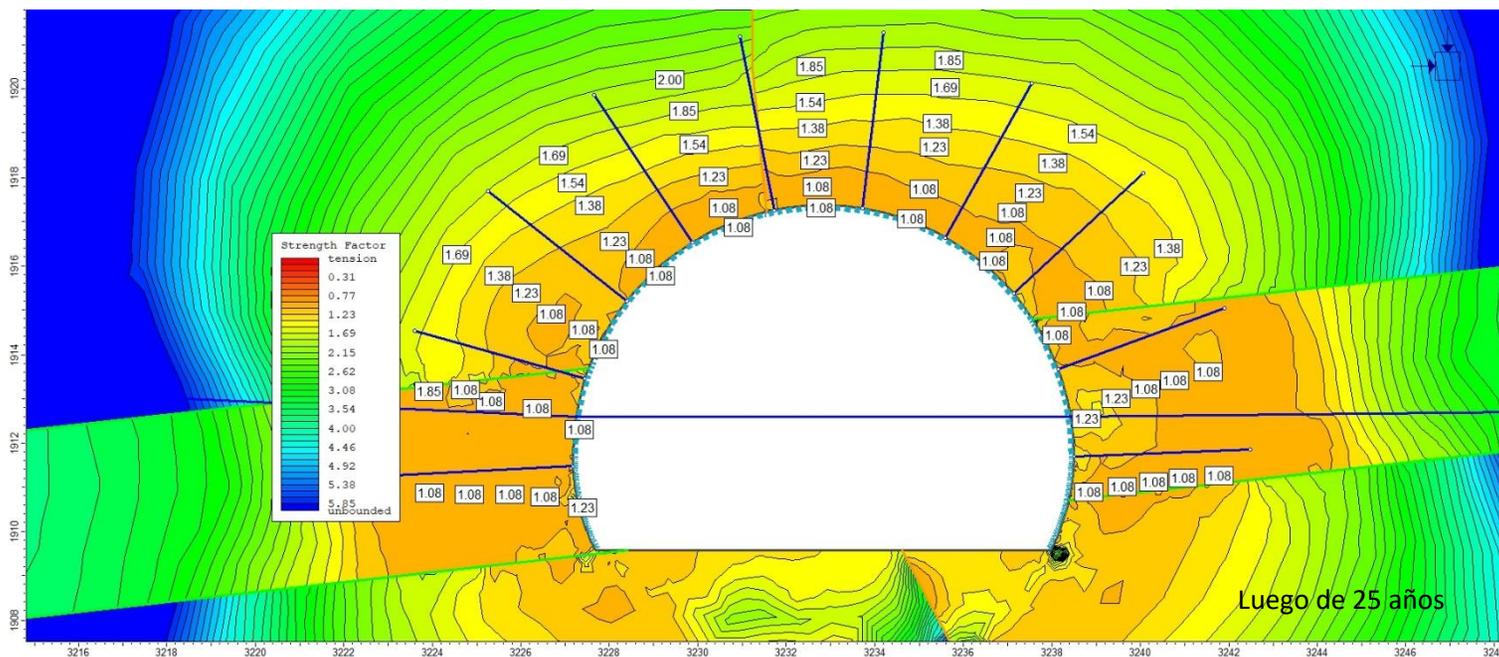
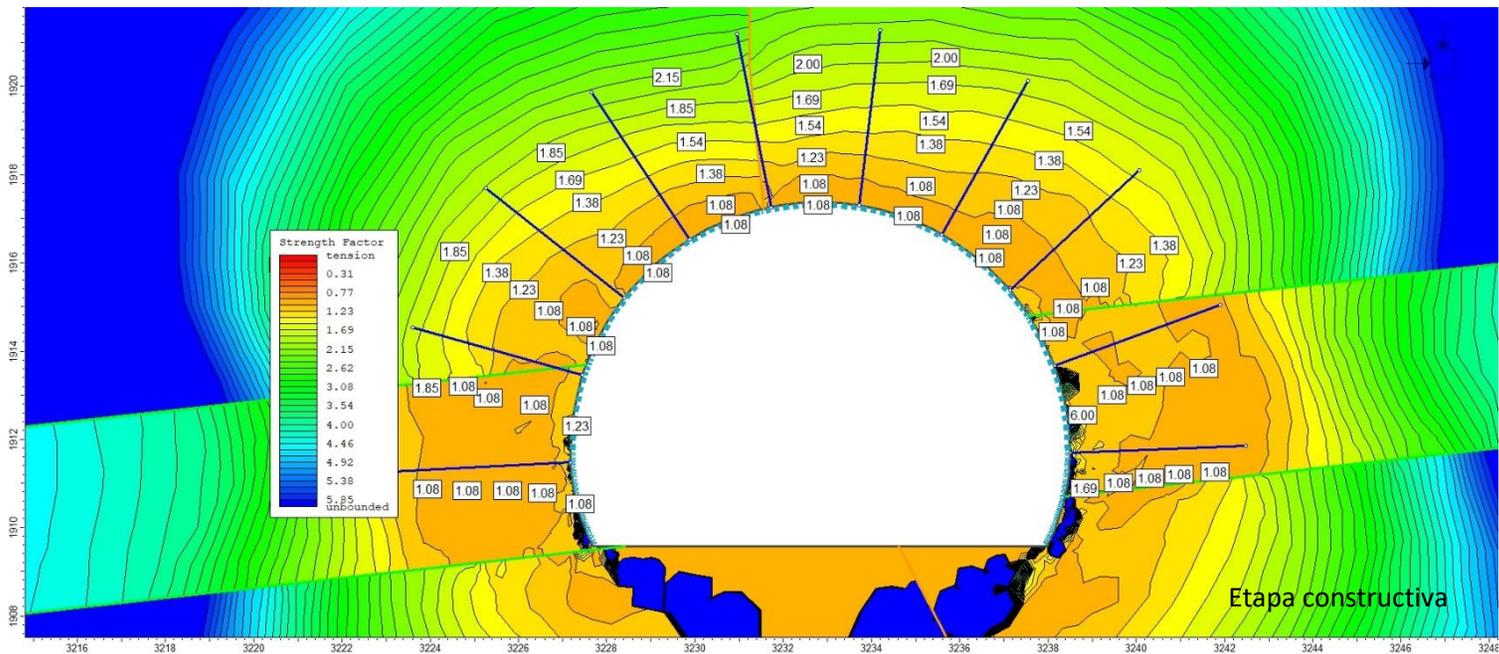
Sector 13 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 13 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

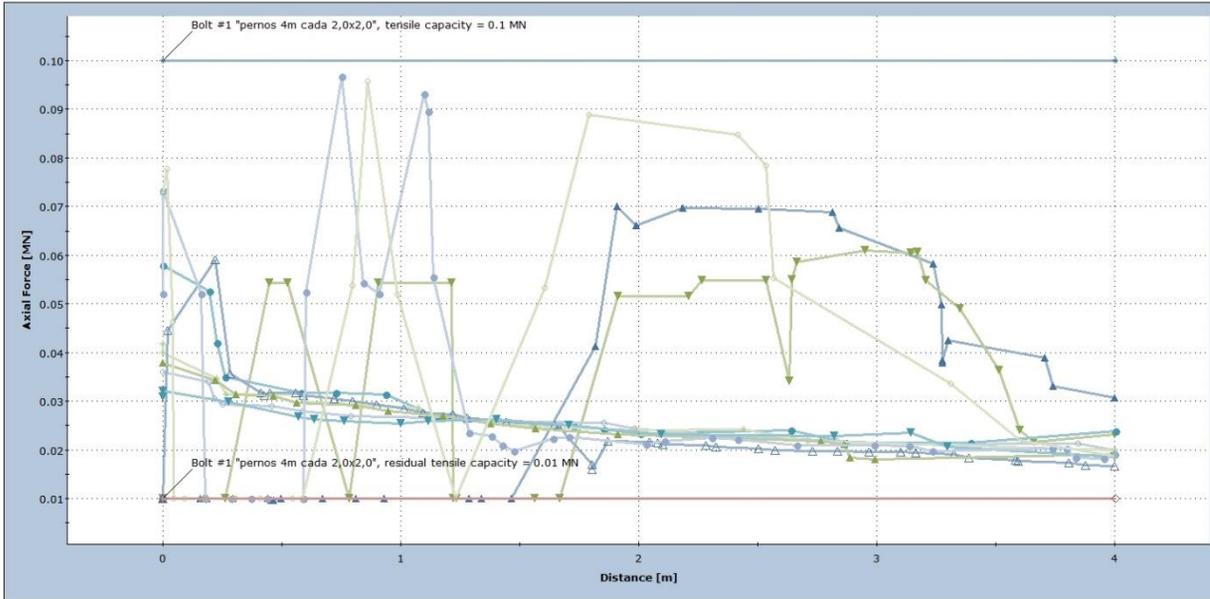


Sector 13 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



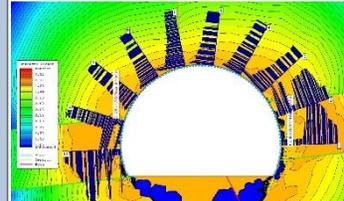
Sector 13 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

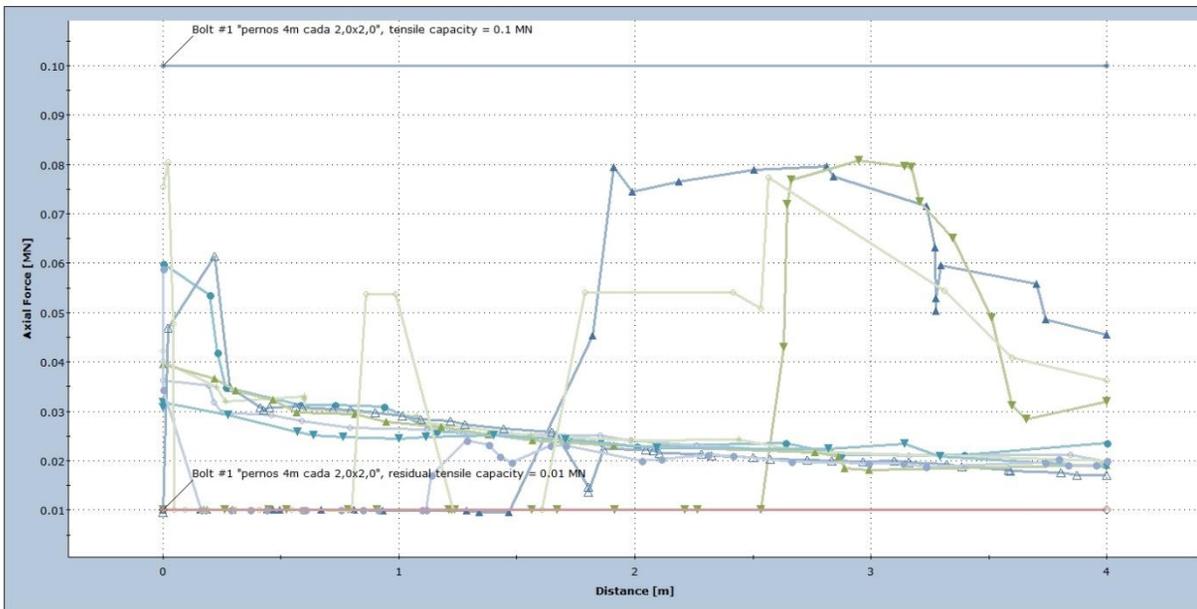


Etapa constructiva

- Bolt #1 Stage: etapa constructiva
- Bolt #2 Stage: etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: etapa constructiva
- Bolt #5 Stage: etapa constructiva
- Bolt #6 Stage: etapa constructiva
- Bolt #7 Stage: etapa constructiva
- Bolt #8 Stage: etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: etapa constructiva
- Bolt #10 Stage: etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

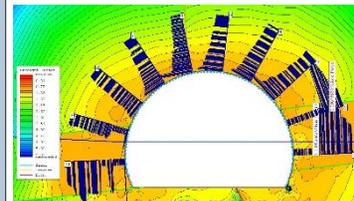


Axial Force

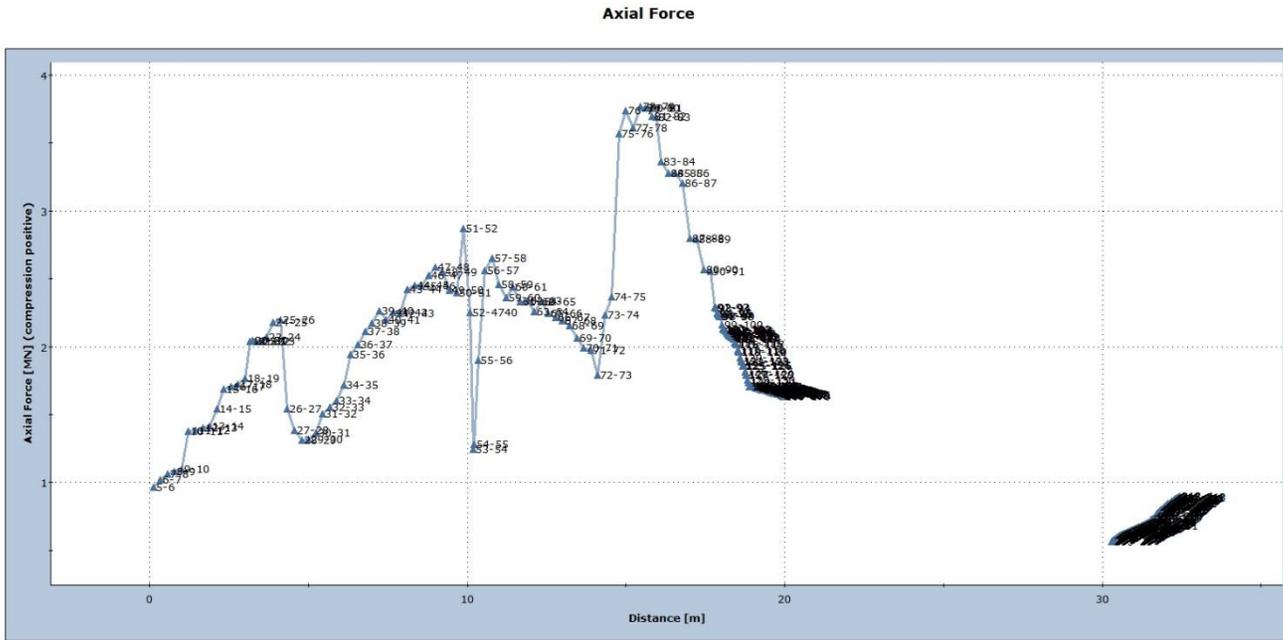


Luego de 25 años

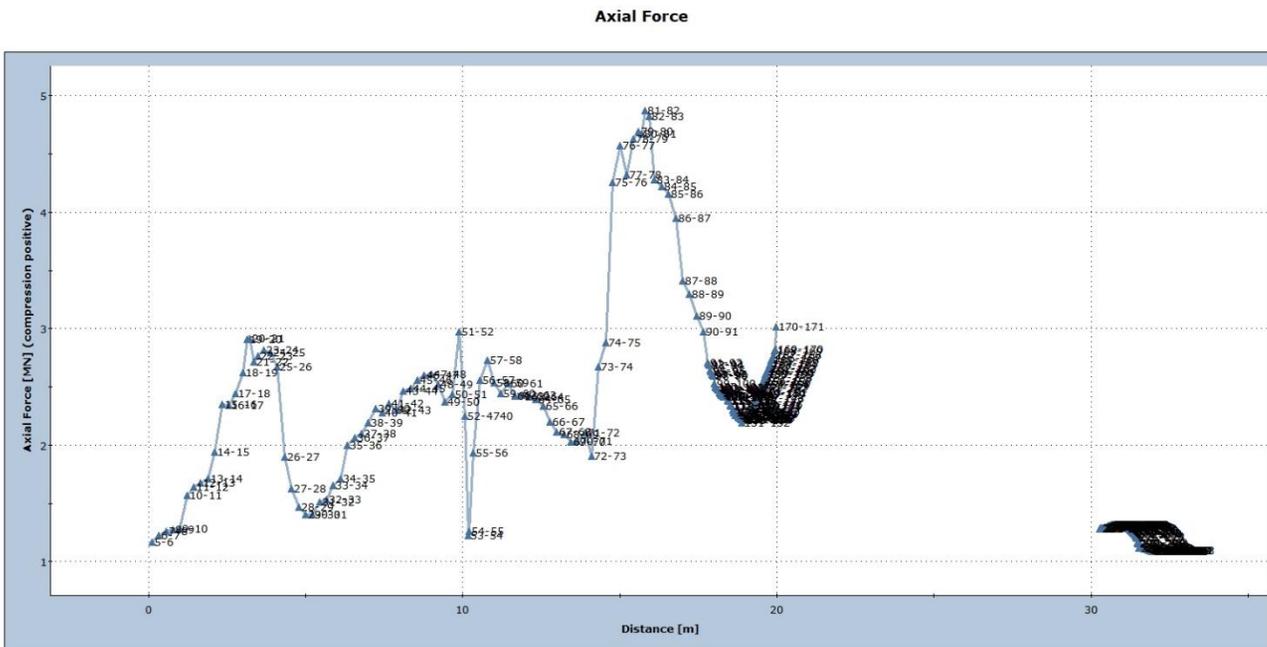
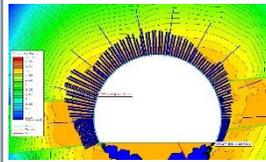
- Bolt #1 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #2 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #3 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #4 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #5 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #6 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #7 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #8 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #9 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #10 Stage: resistencia a los 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity



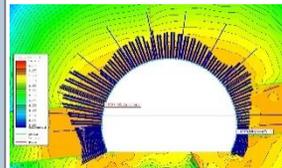
Sector 13 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años



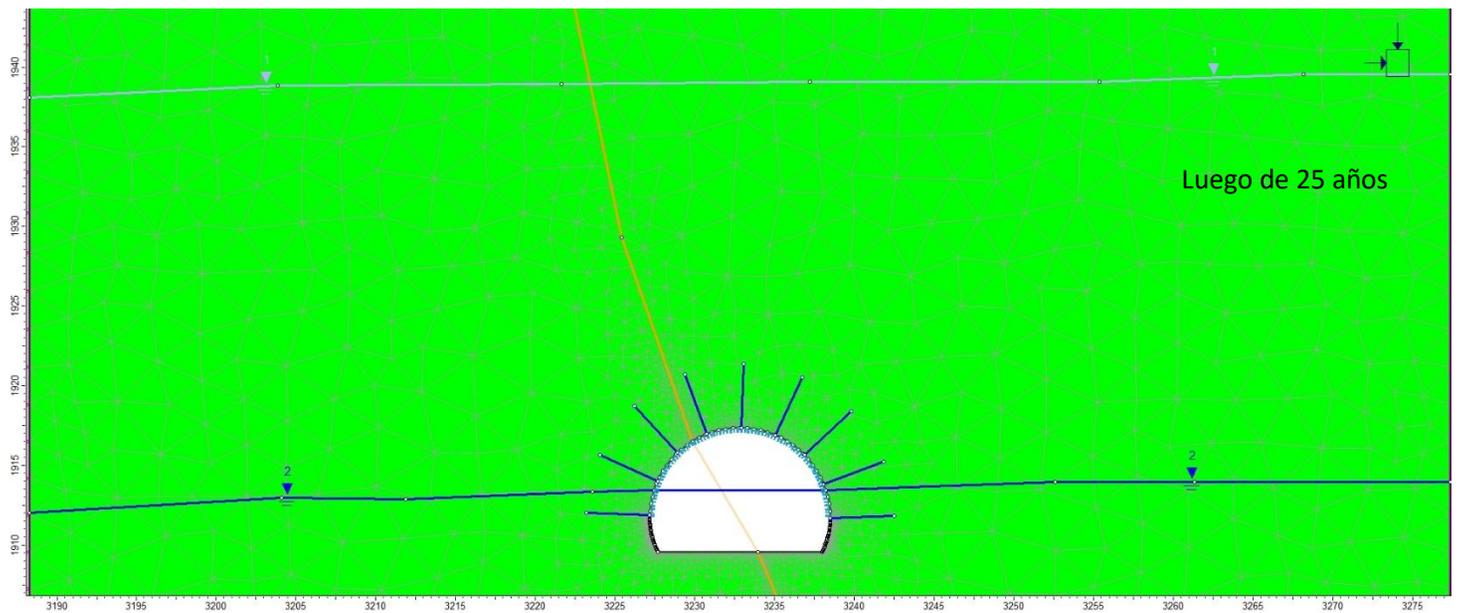
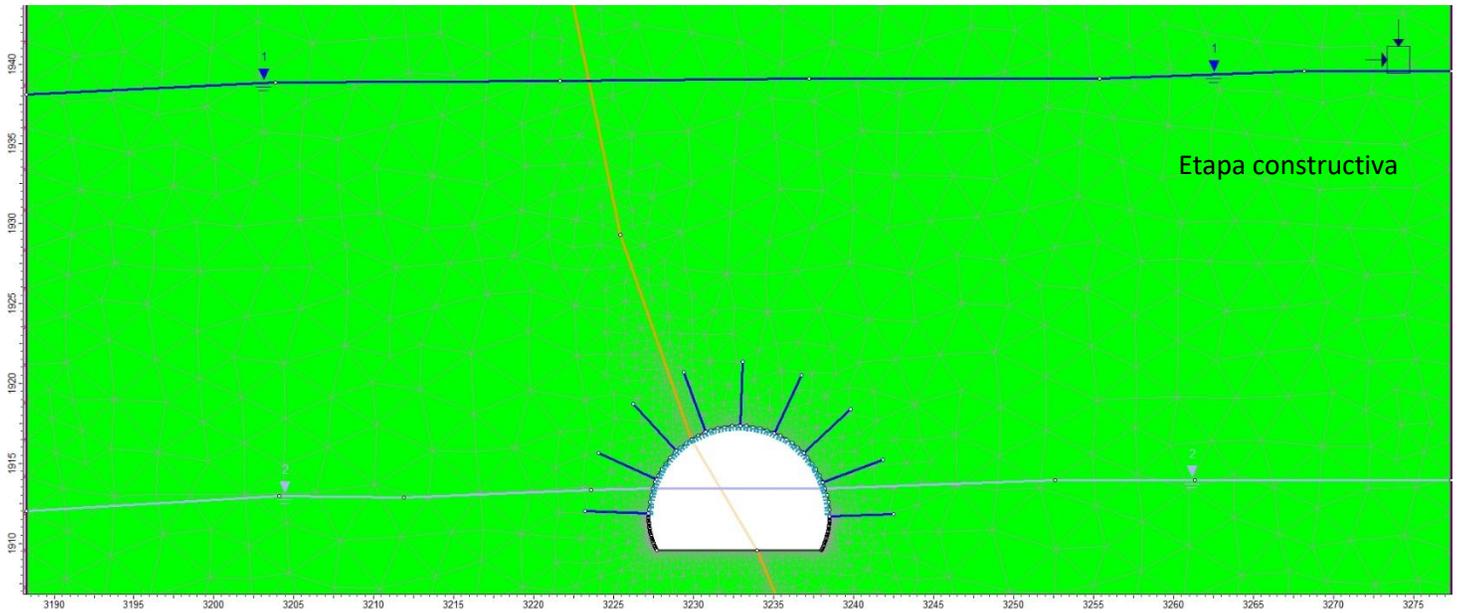
Etapa constructiva



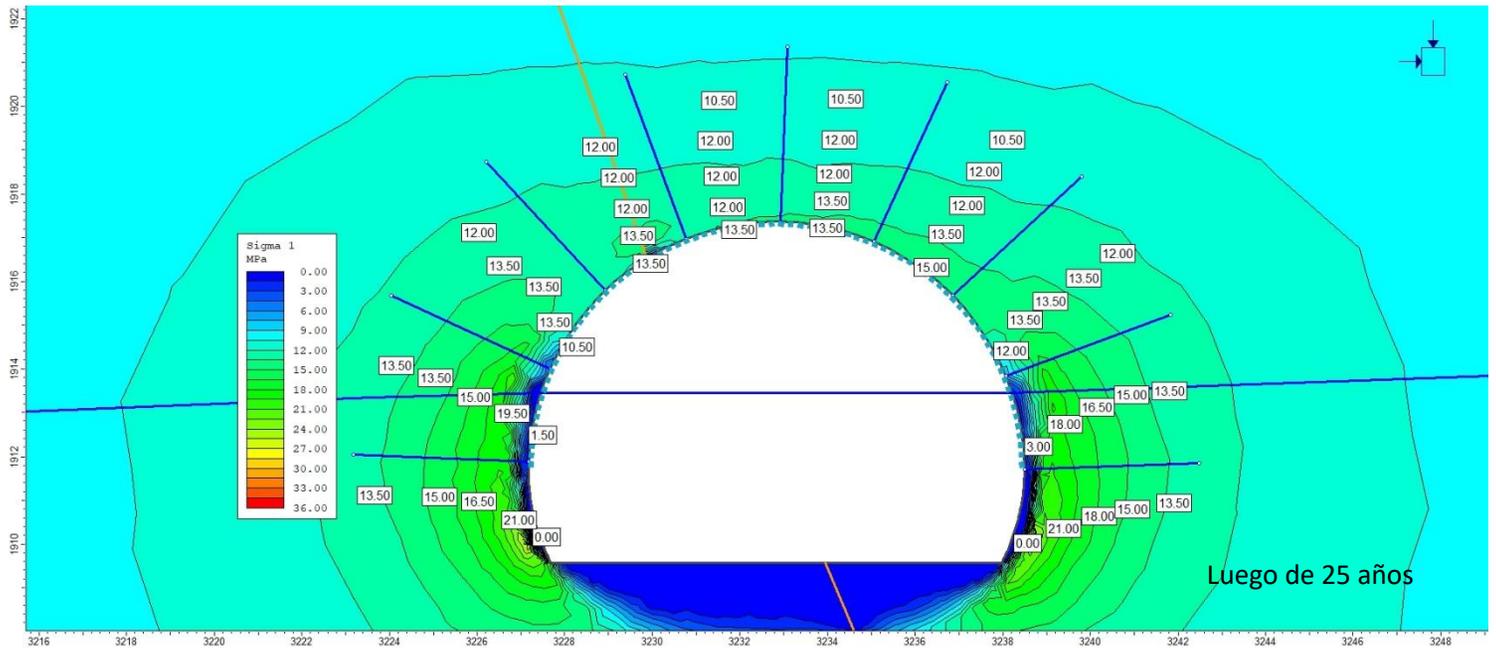
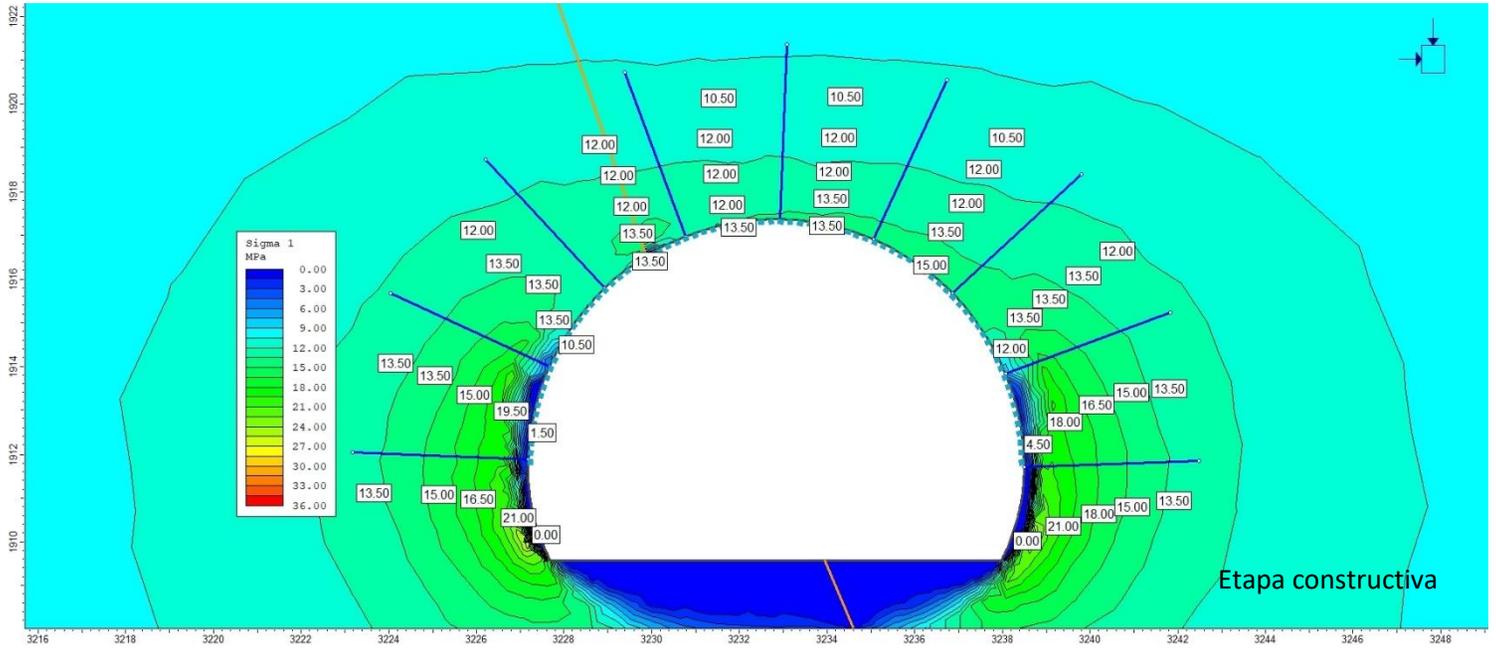
Luego de 25 años



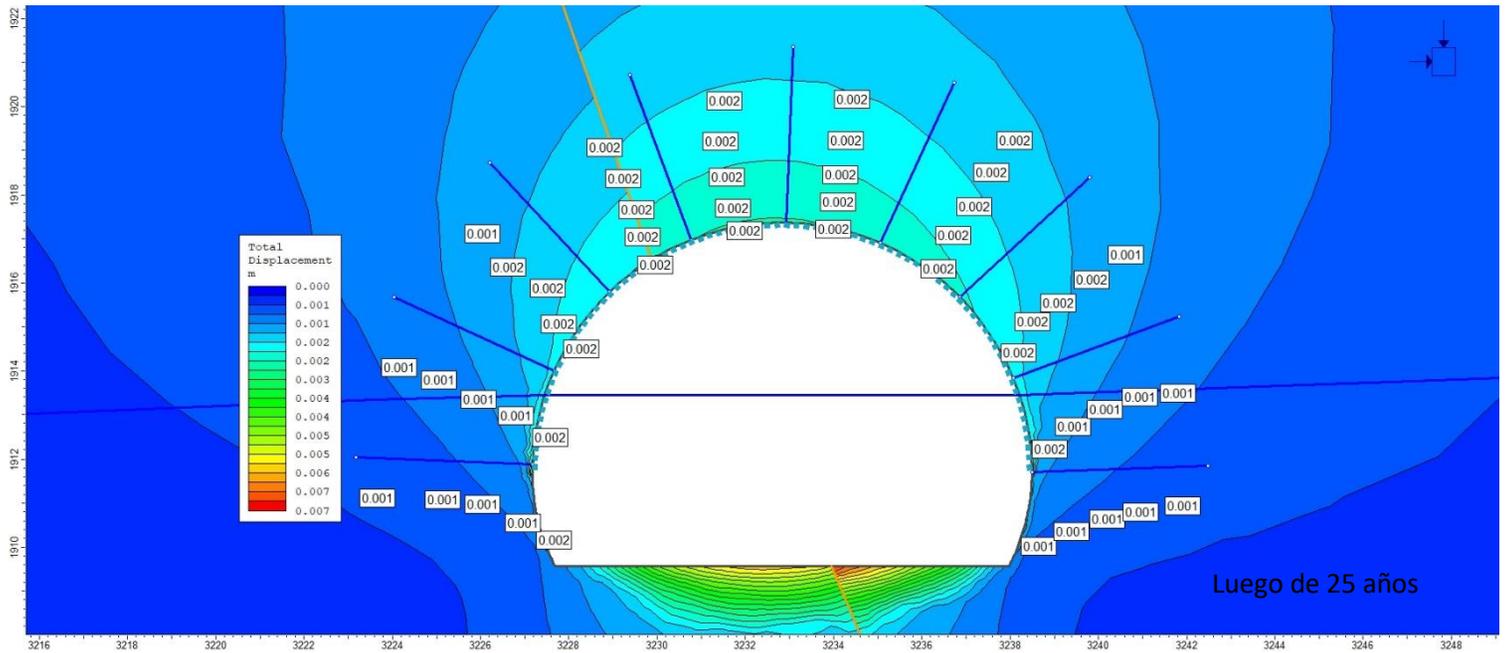
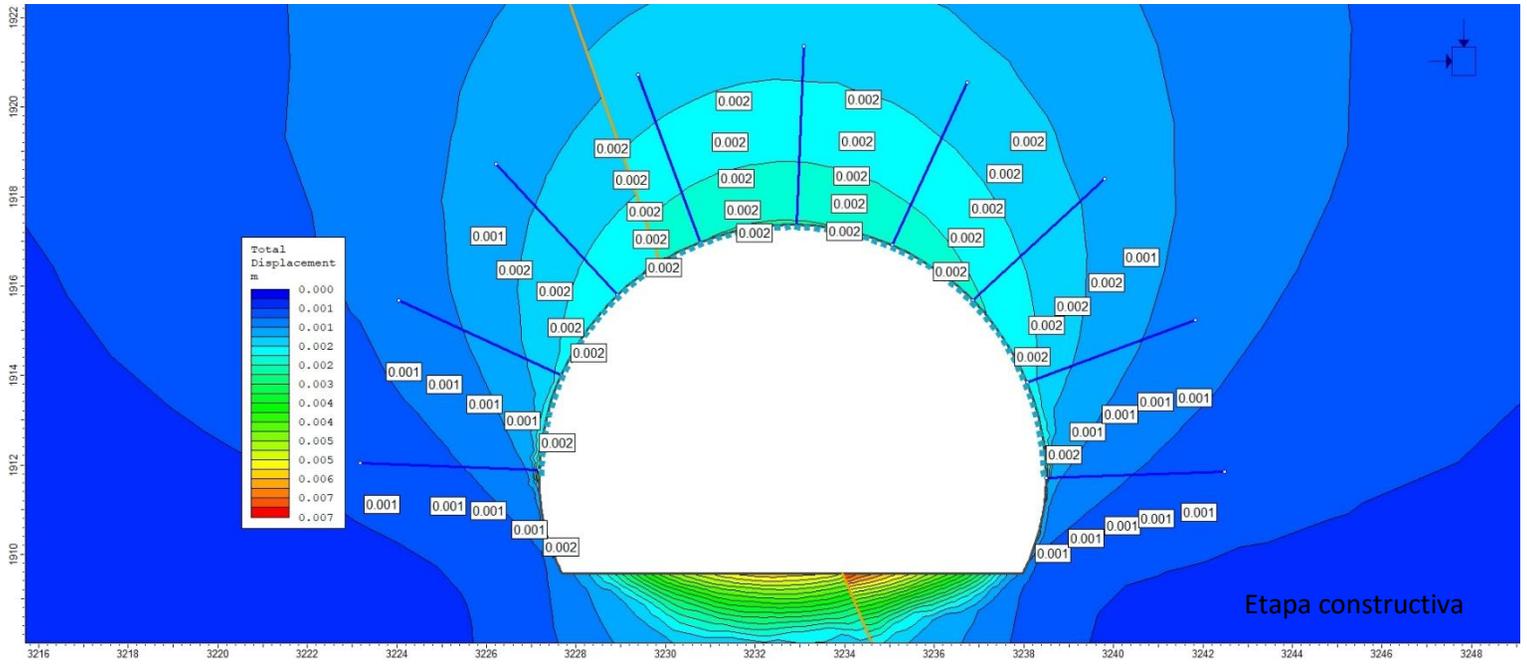
Sector 14 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



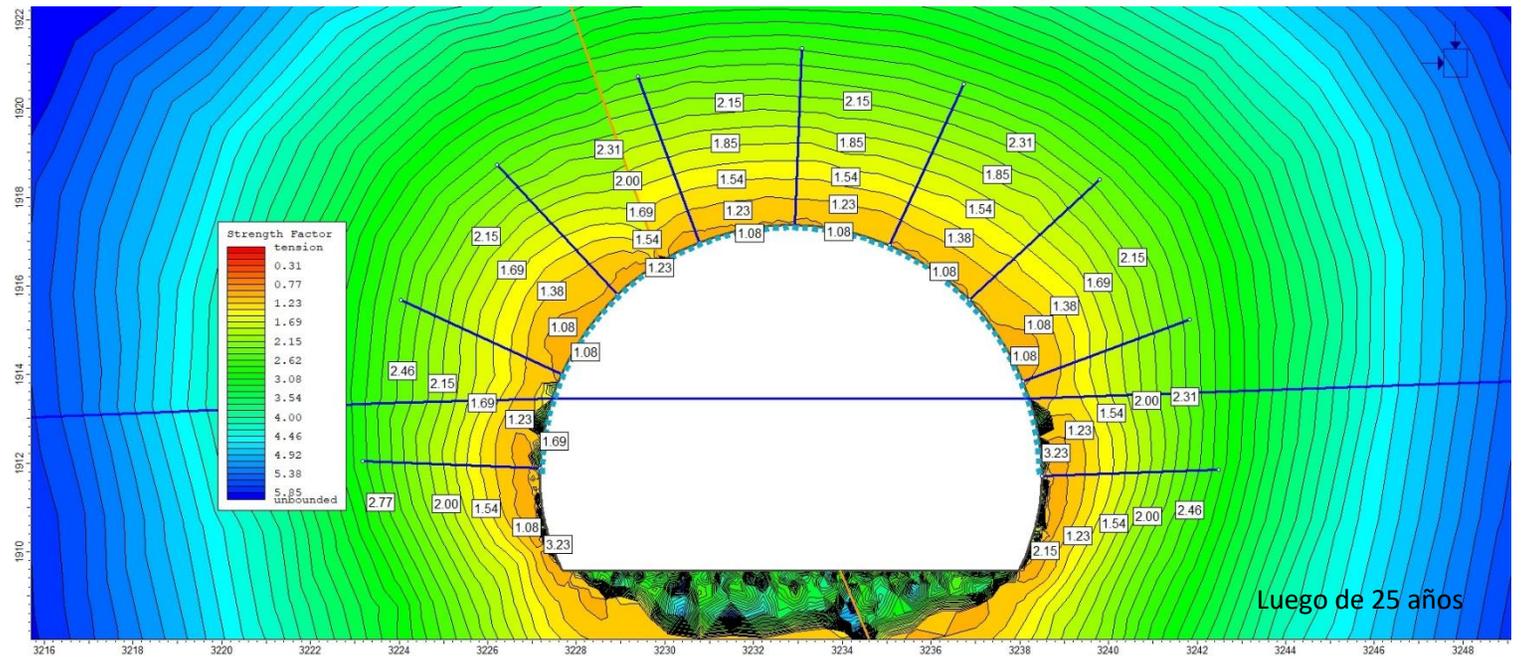
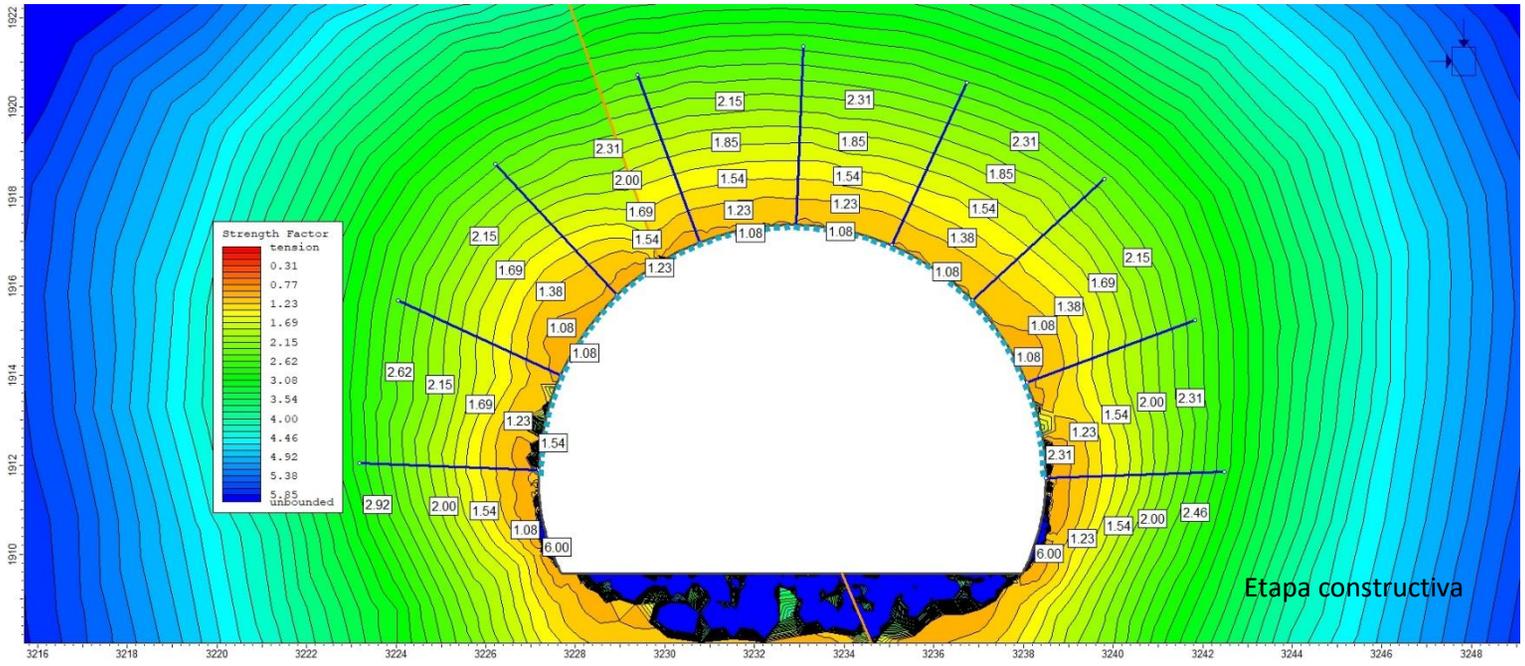
Sector 14 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 14 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

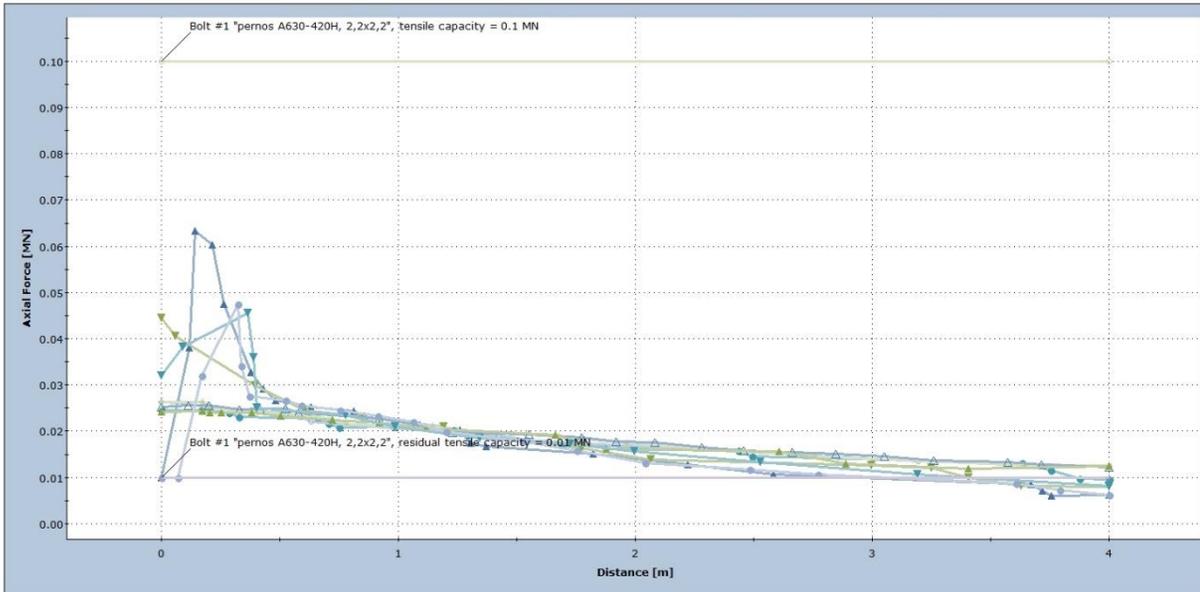


Sector 14 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



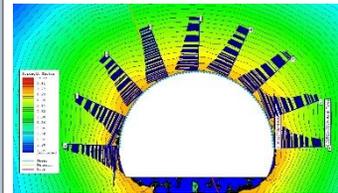
Sector 14 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

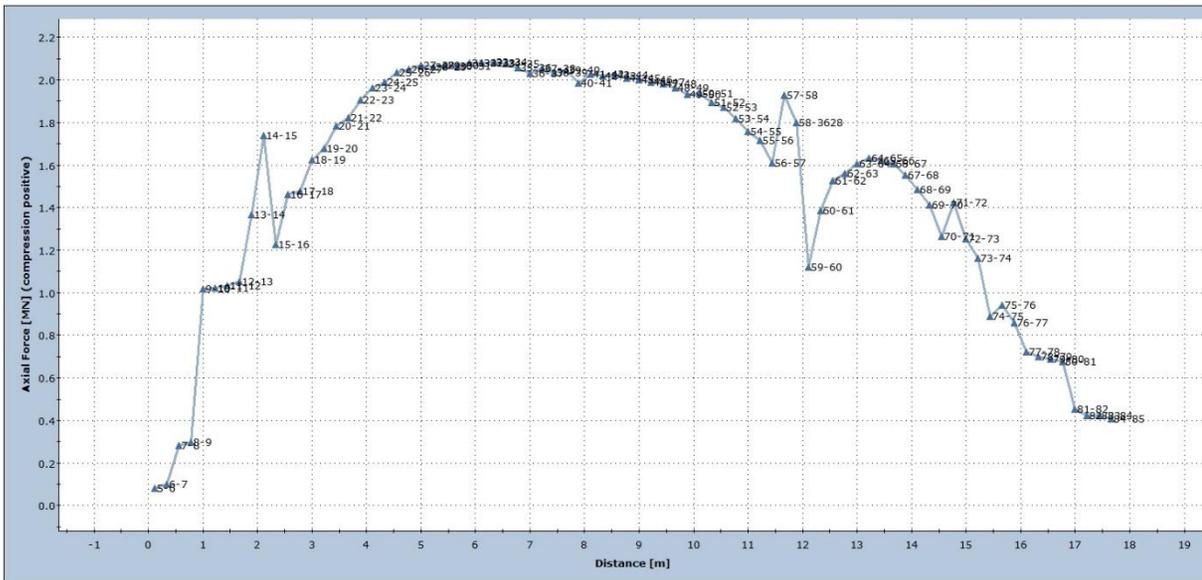


Etapa constructiva

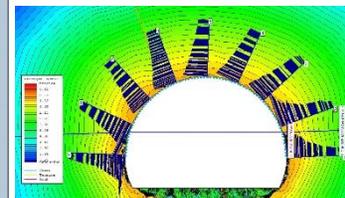
- ▲ Bolt #1 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: etapa constructiva
- ▲ Bolt #5 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #6 Stage: etapa constructiva
- Bolt #7 Stage: etapa constructiva
- Bolt #8 Stage: etapa constructiva
- ▲ Bolt #9 Stage: etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity



Axial Force

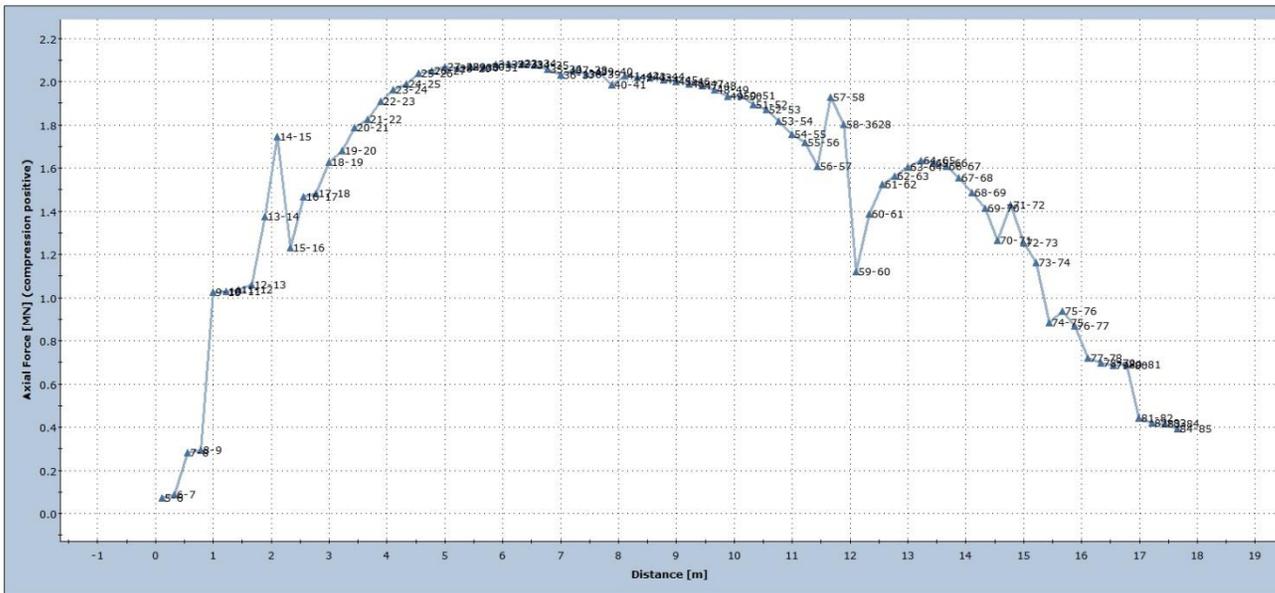


Luego de 25 años

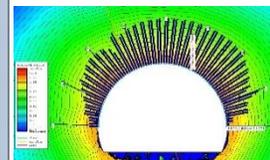


Sector 14 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

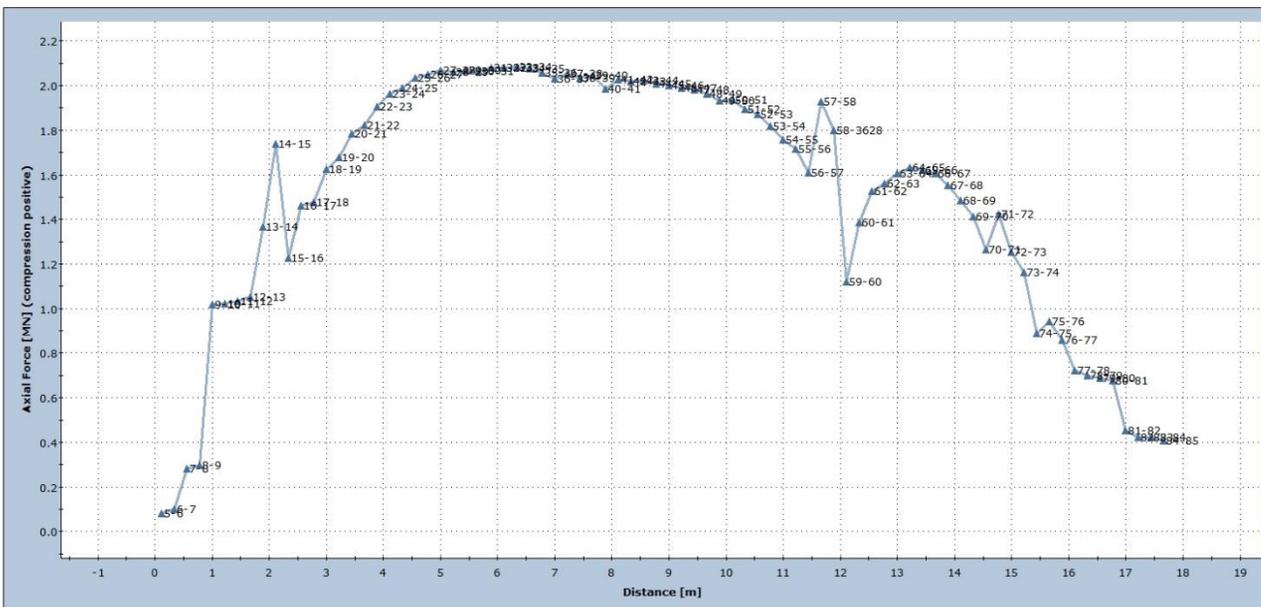
Axial Force



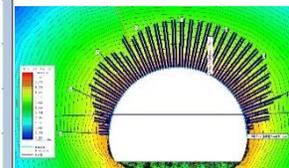
Etapa constructiva



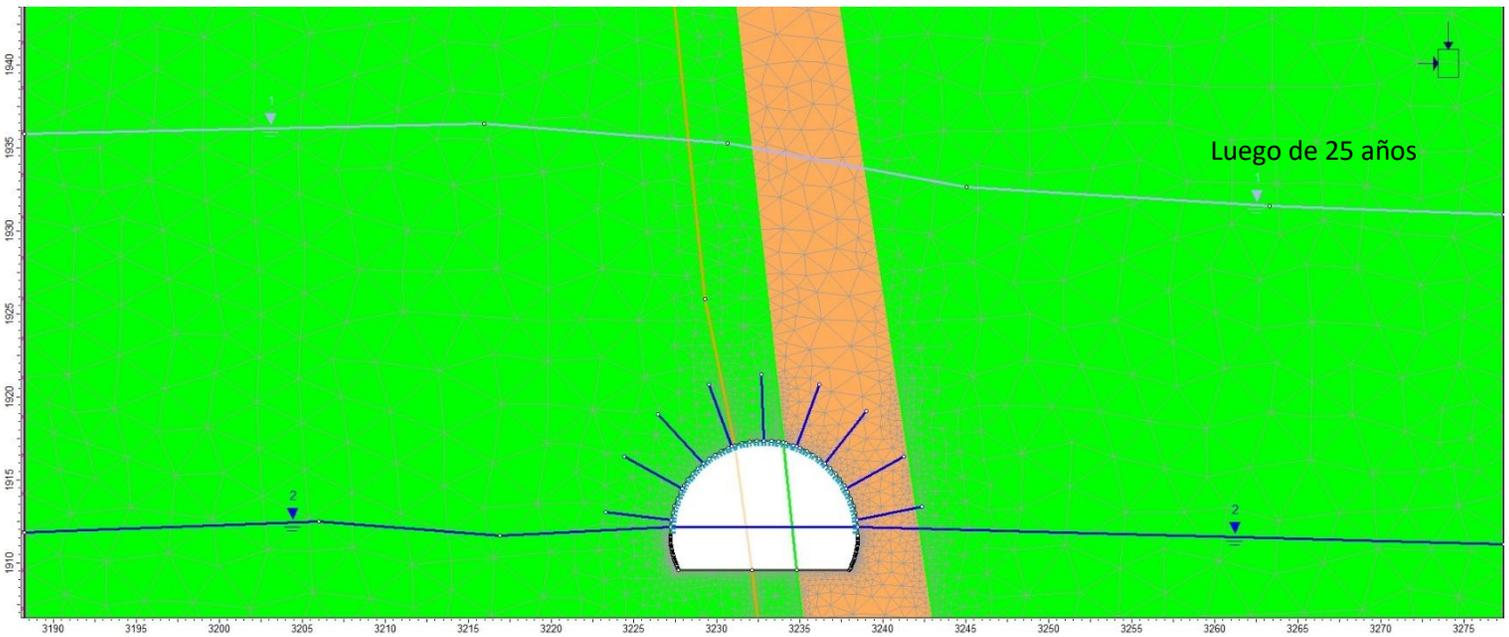
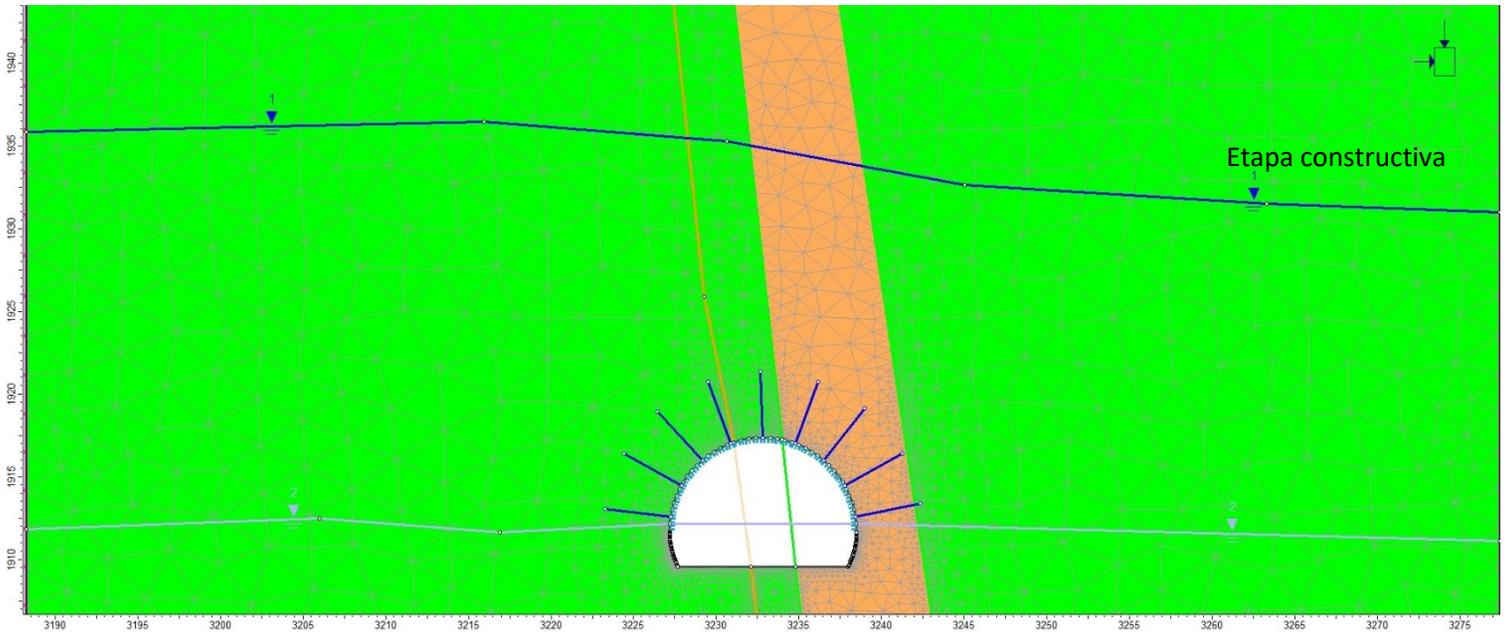
Axial Force



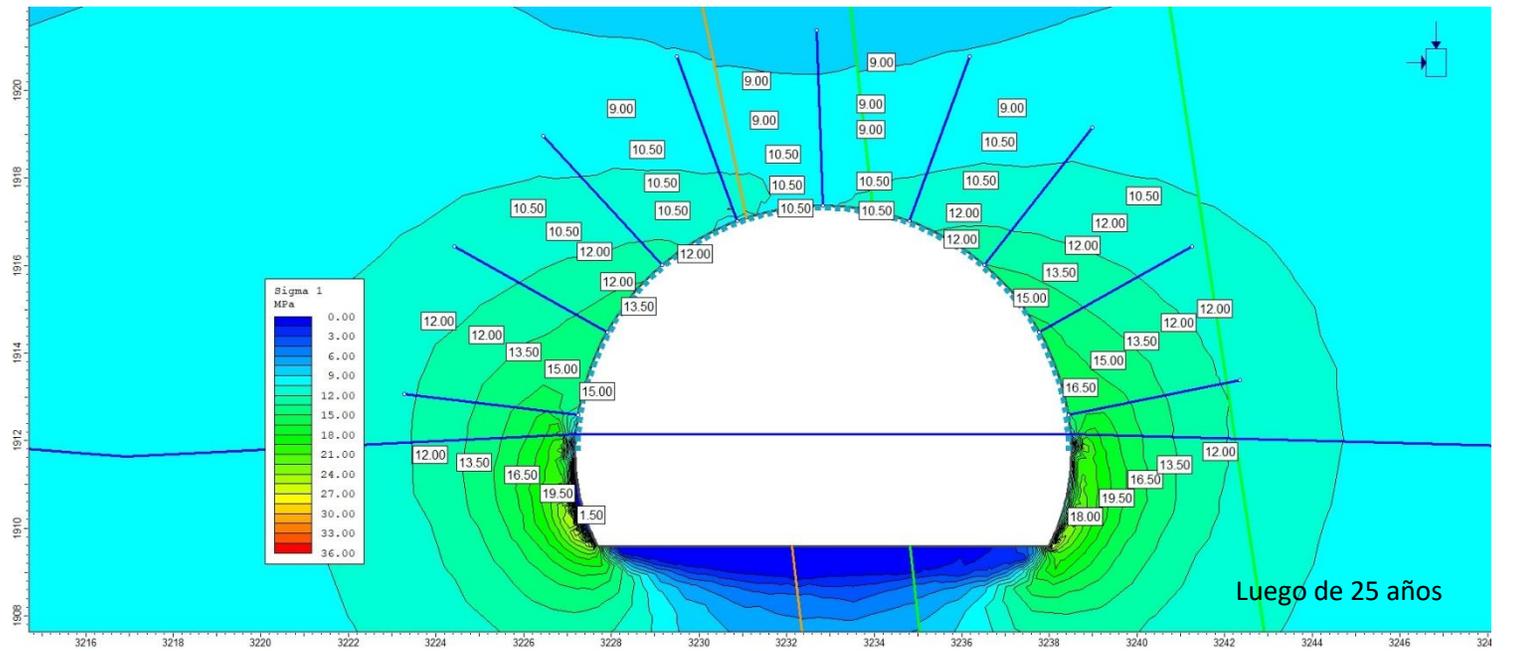
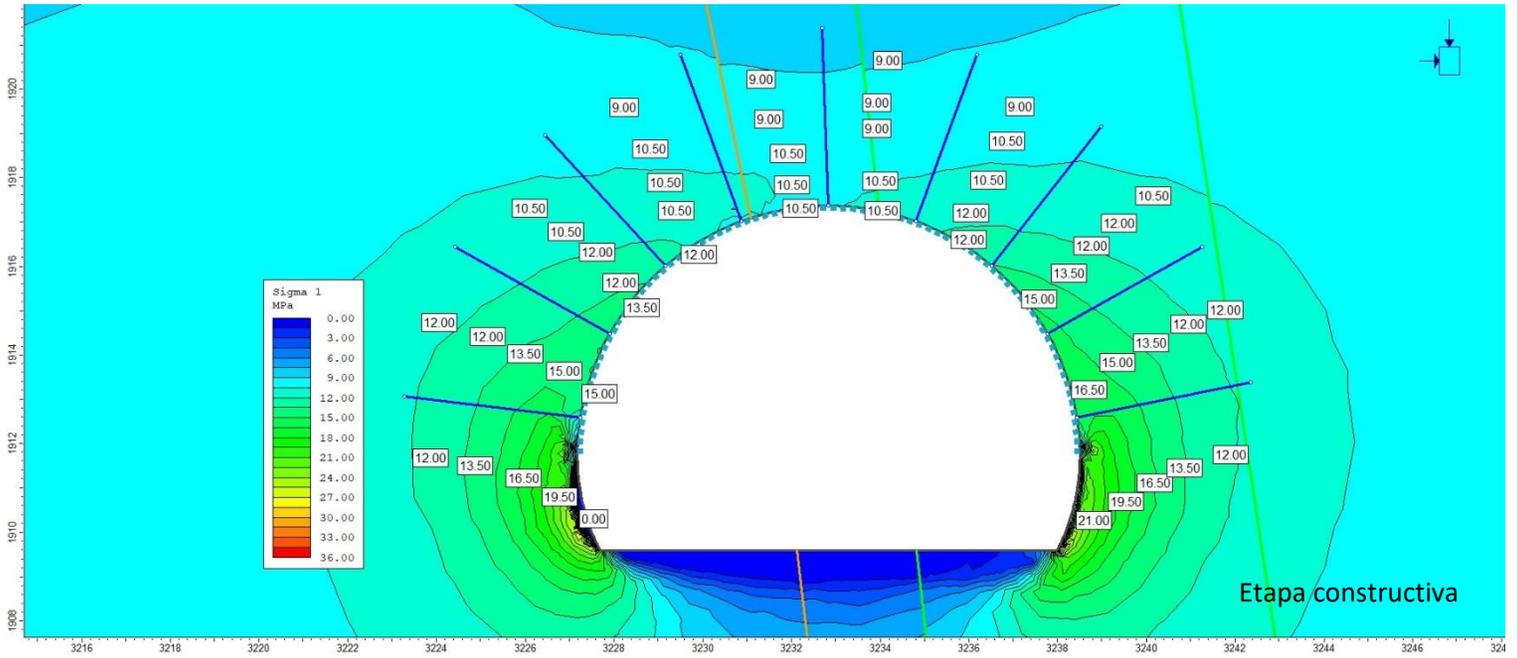
Luego de 25 años



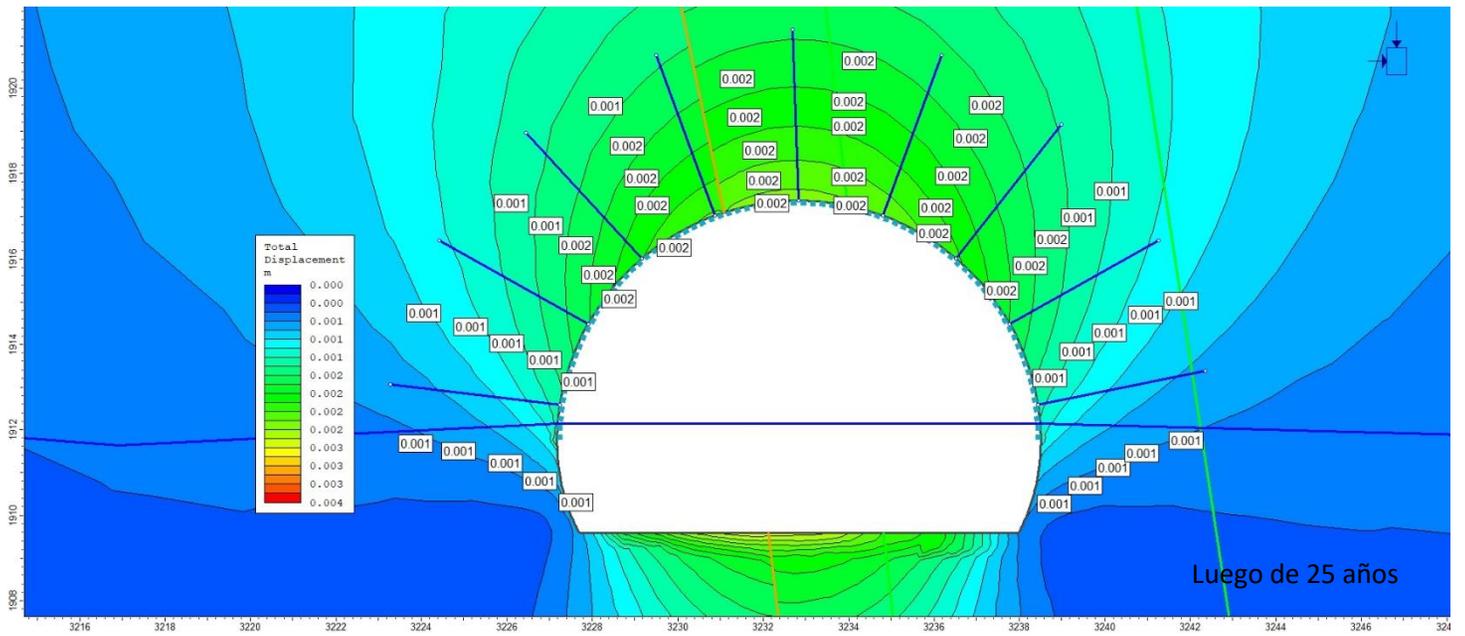
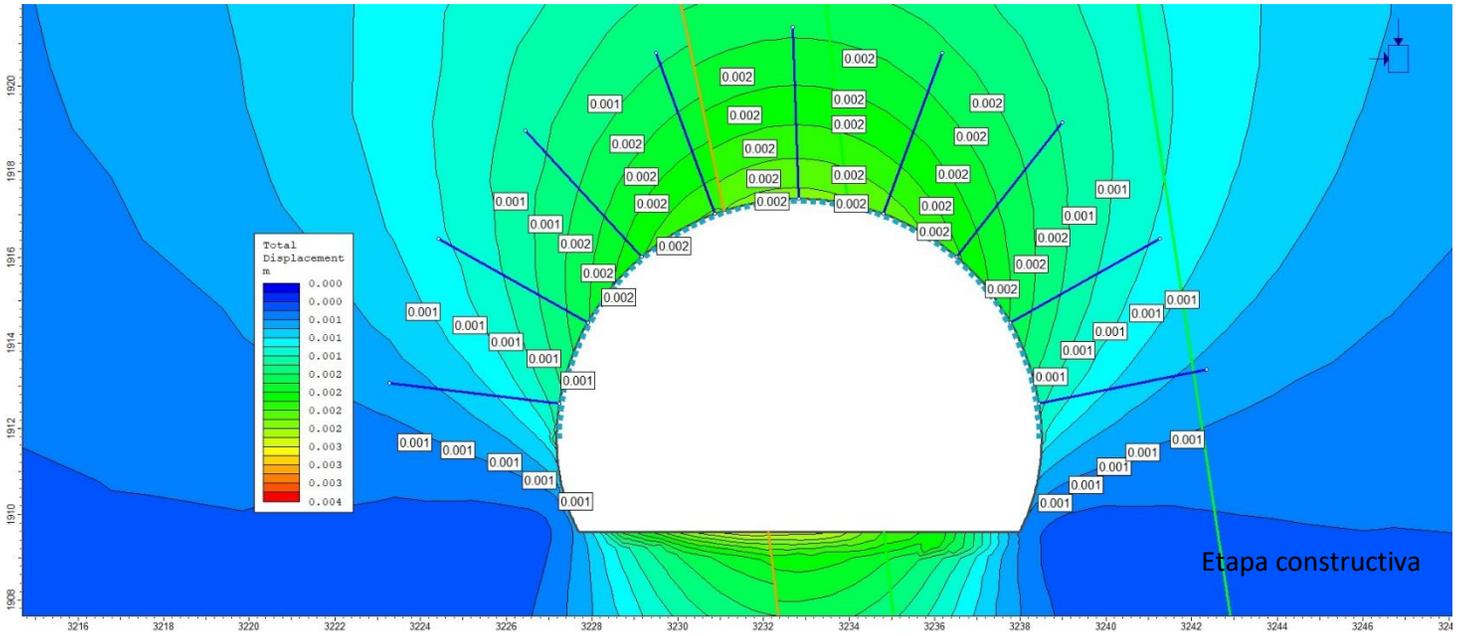
Sector 15 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



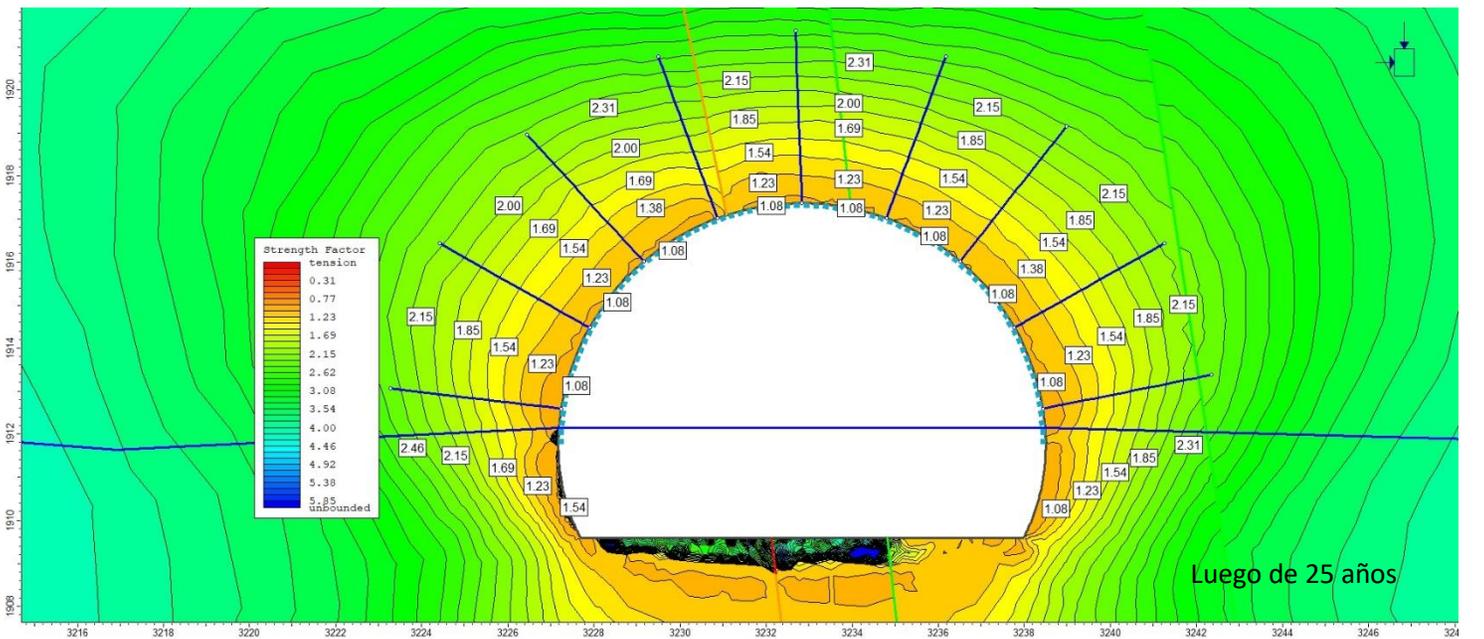
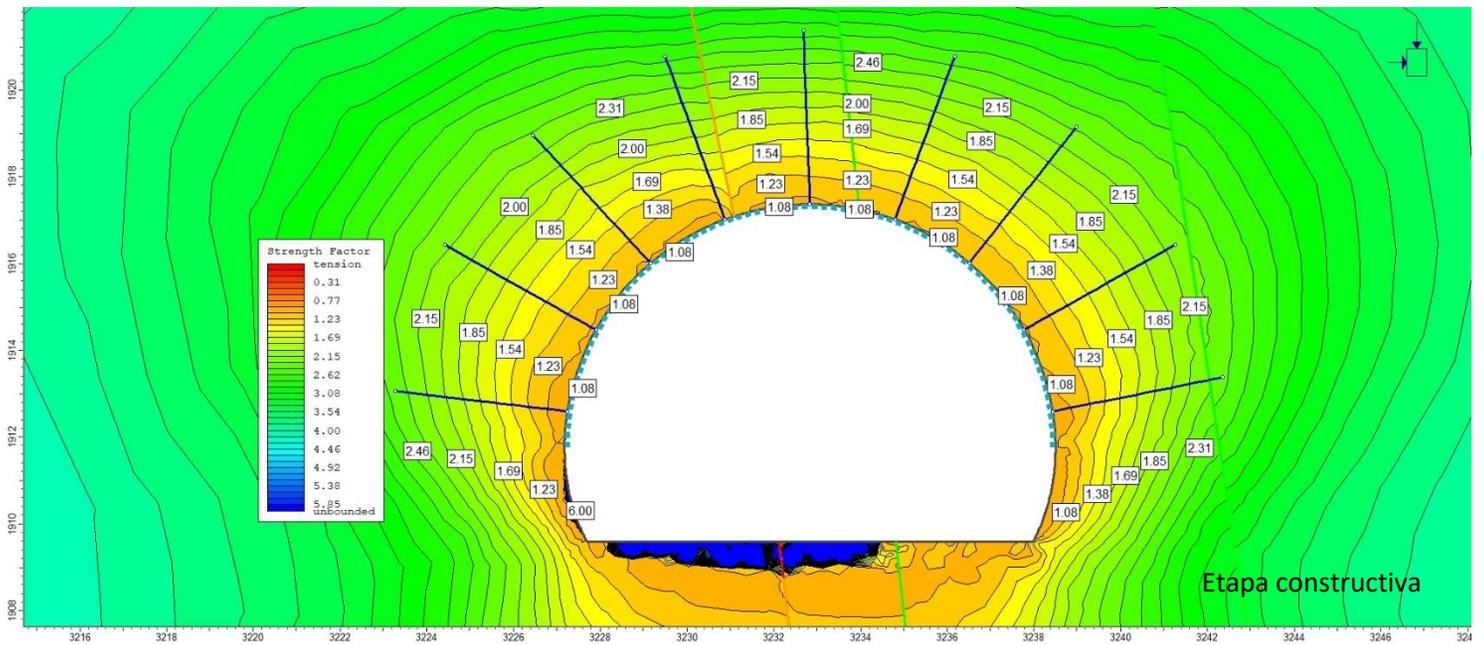
Sector 15 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 15 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

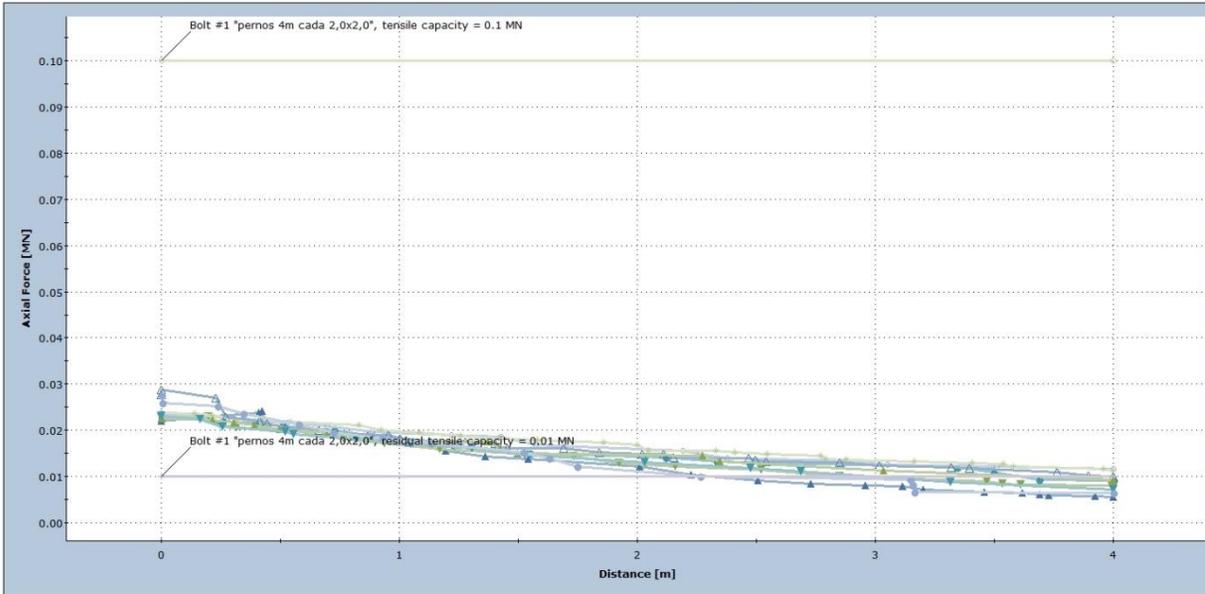


Sector 15 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



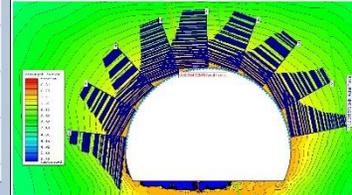
Sector 15 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

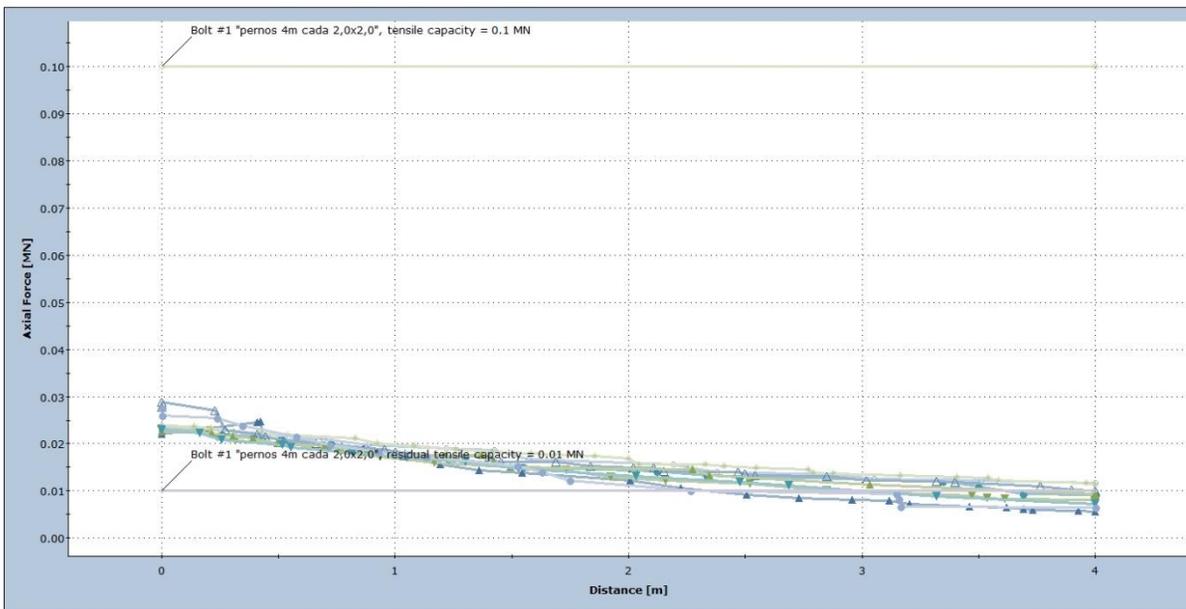


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: etapa constructiva
- Bolt #5 Stage: etapa constructiva
- △ Bolt #6 Stage: etapa constructiva
- ▲ Bolt #7 Stage: etapa constructiva
- ▼ Bolt #8 Stage: etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

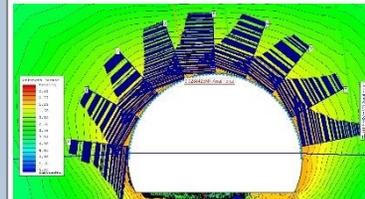


Axial Force



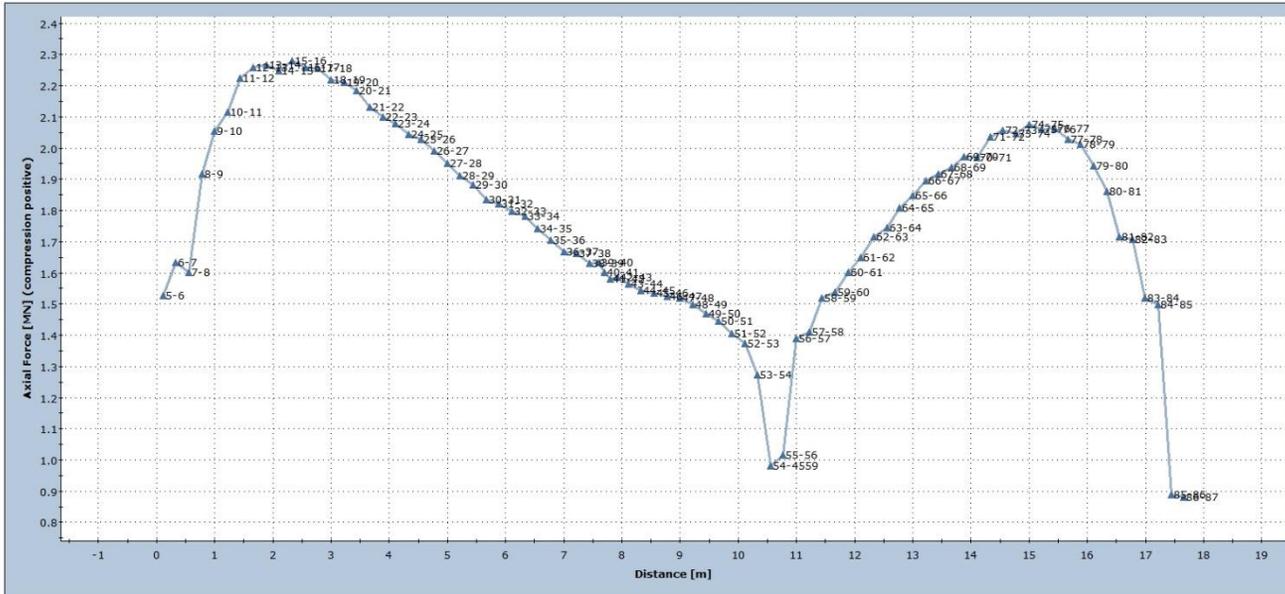
Luego de 25 años

- ▲ Bolt #1 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #5 Stage: resistencia luego de 25 años
- △ Bolt #6 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▲ Bolt #7 Stage: resistencia luego de 25 años
- ▼ Bolt #8 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: resistencia luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity



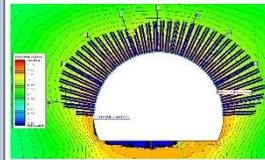
Sector 15 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

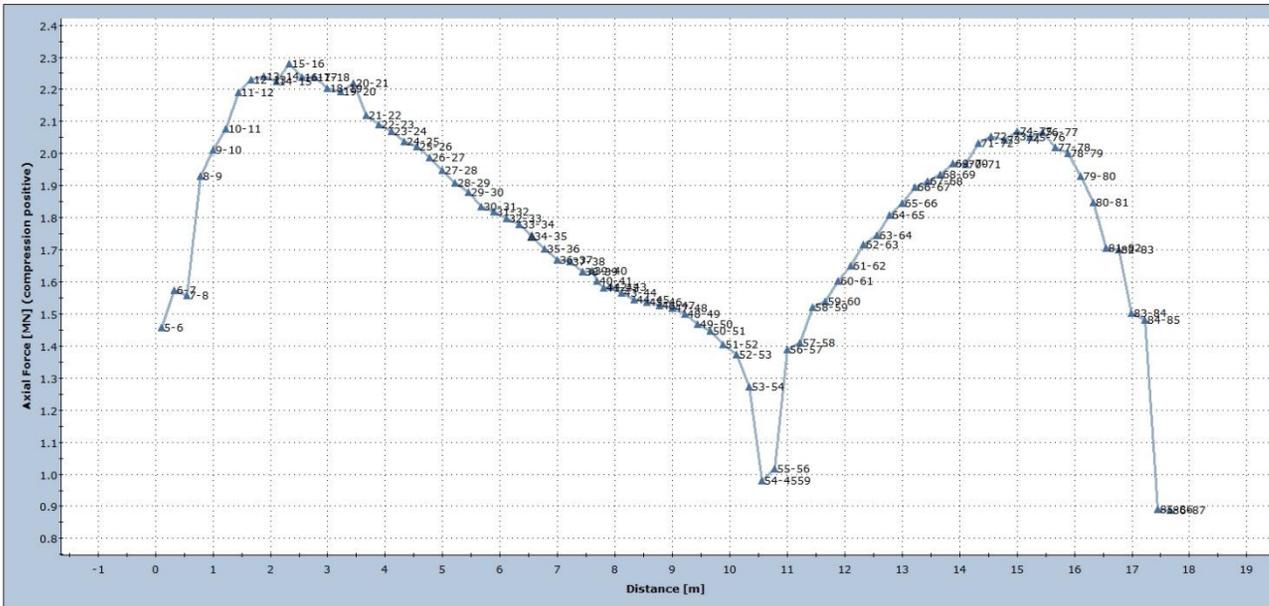


Etapa constructiva

—▲— etapa constructiva

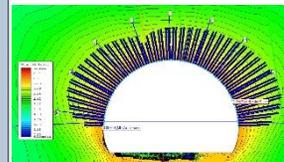


Axial Force

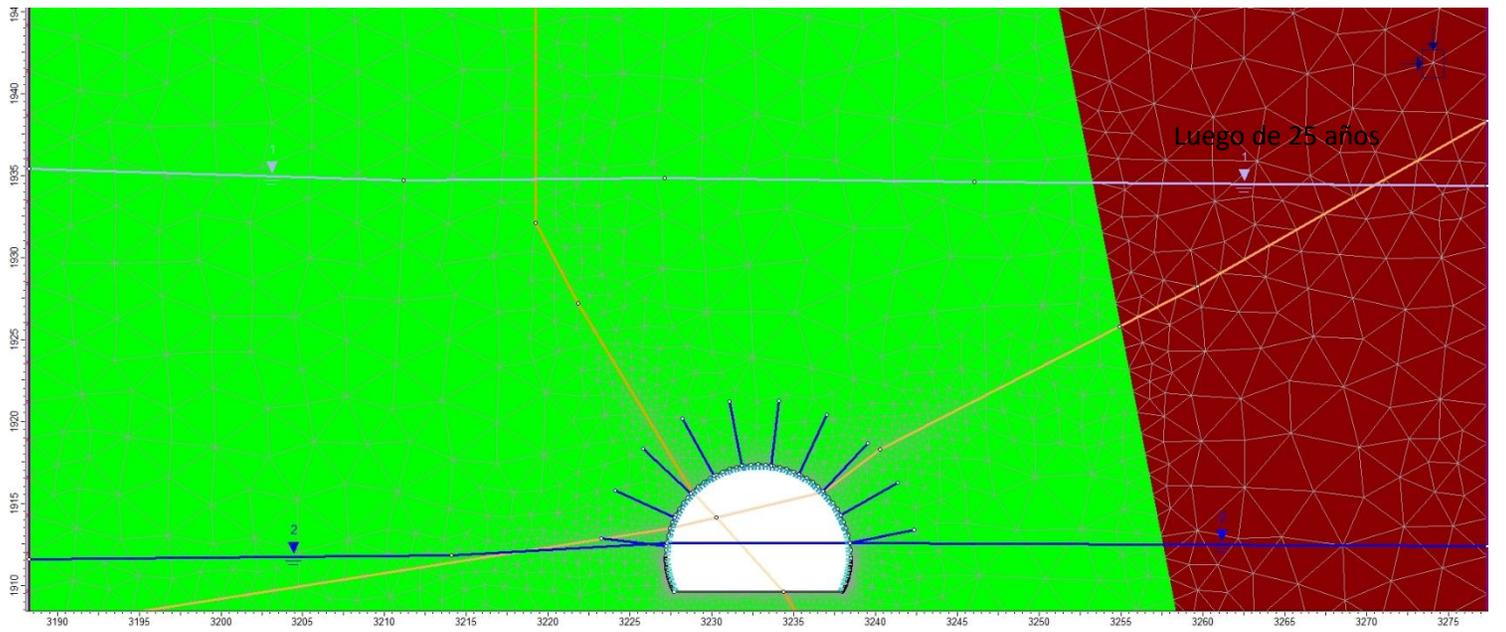
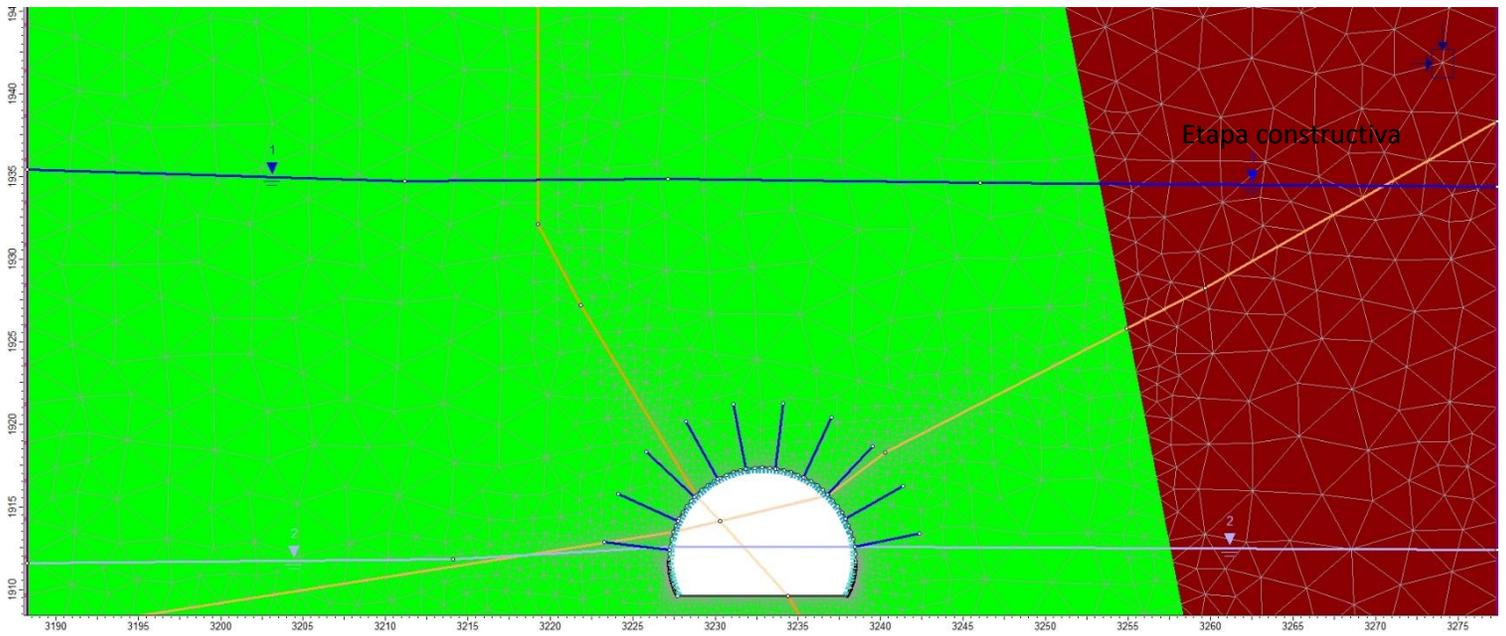


Luego de 25 años

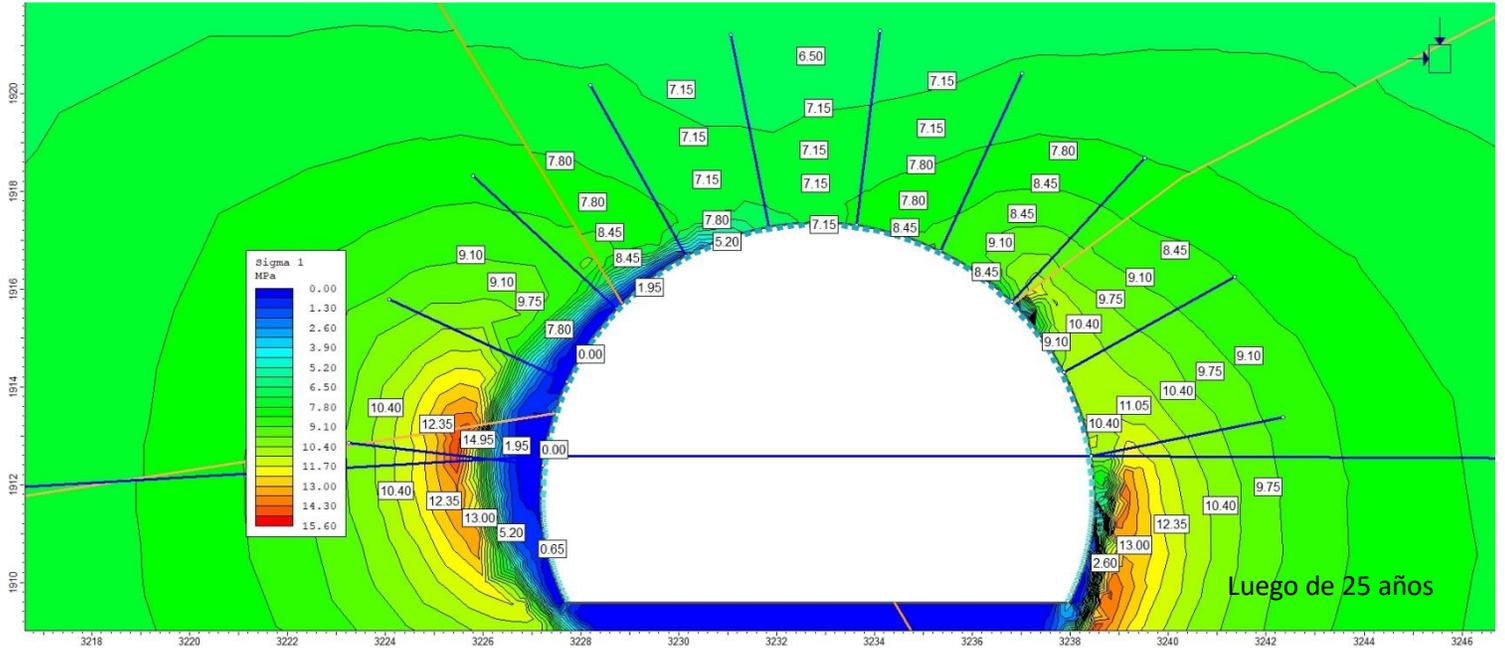
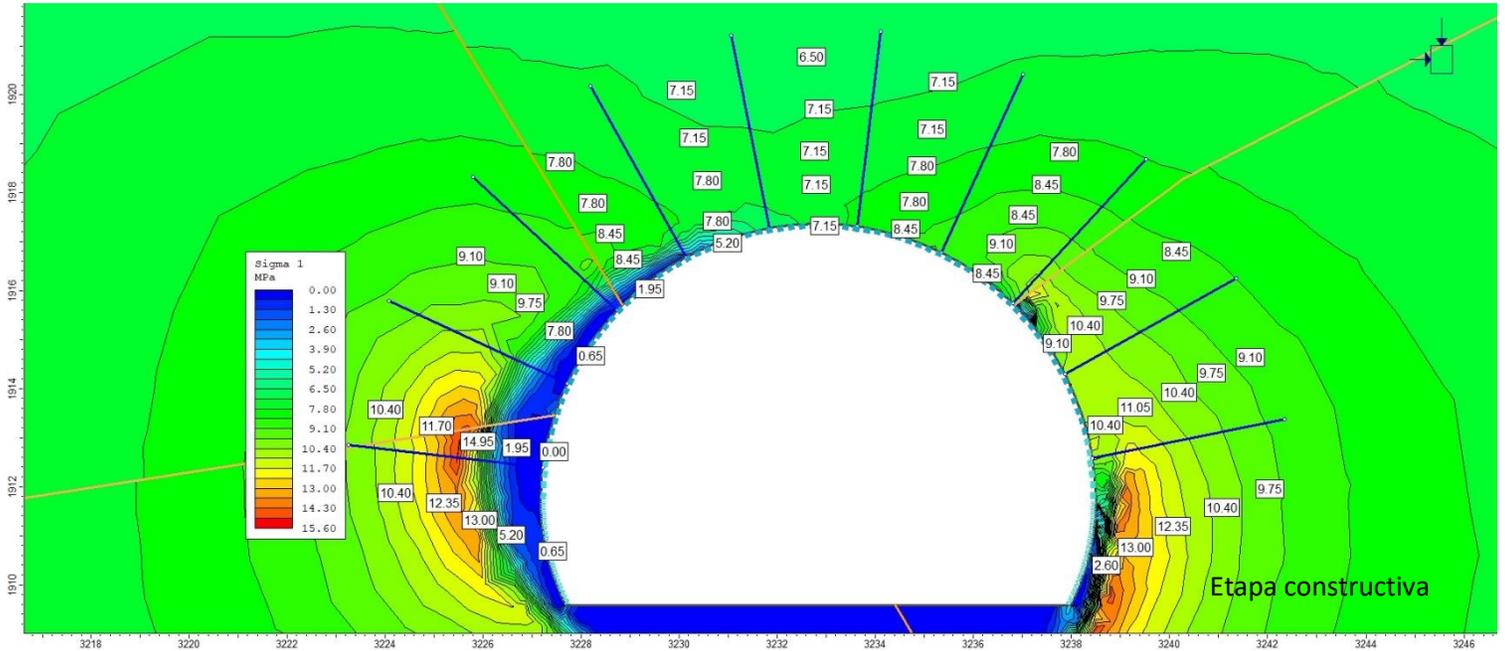
—▲— resistencia luego de 25 años



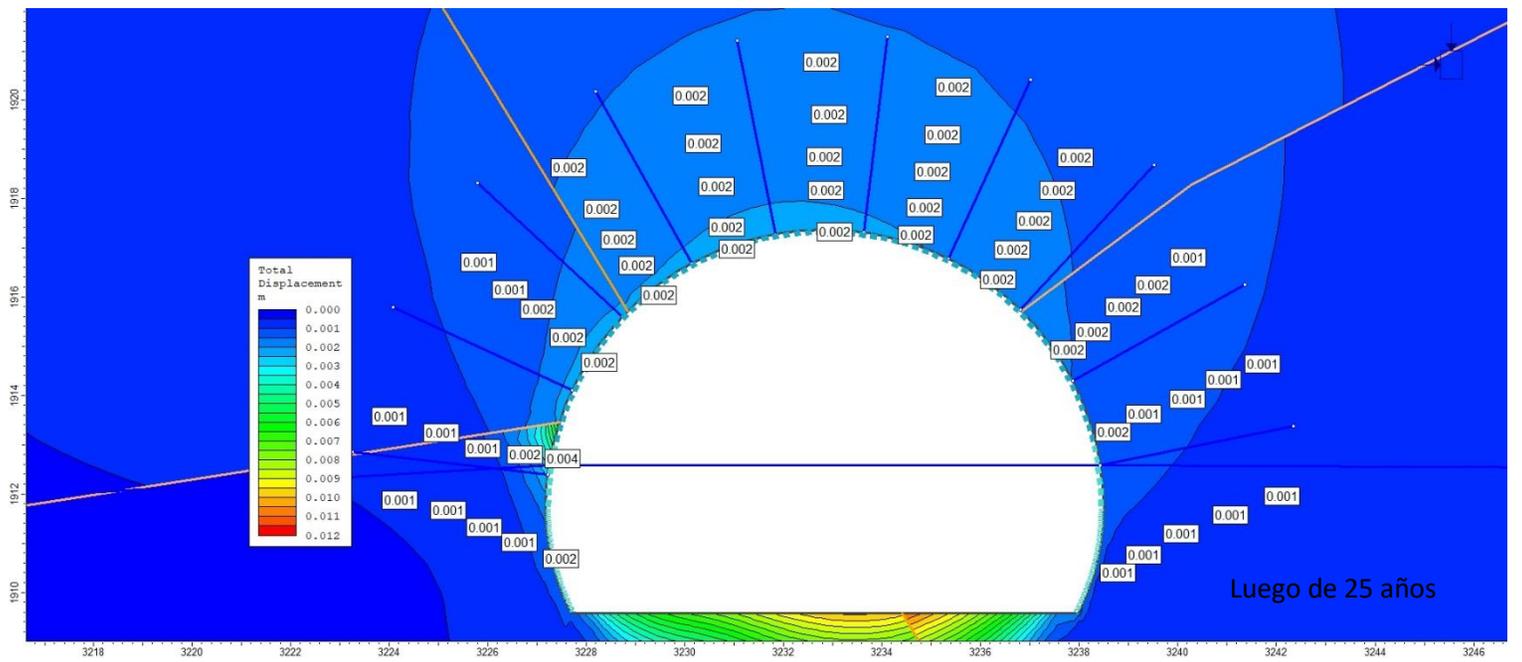
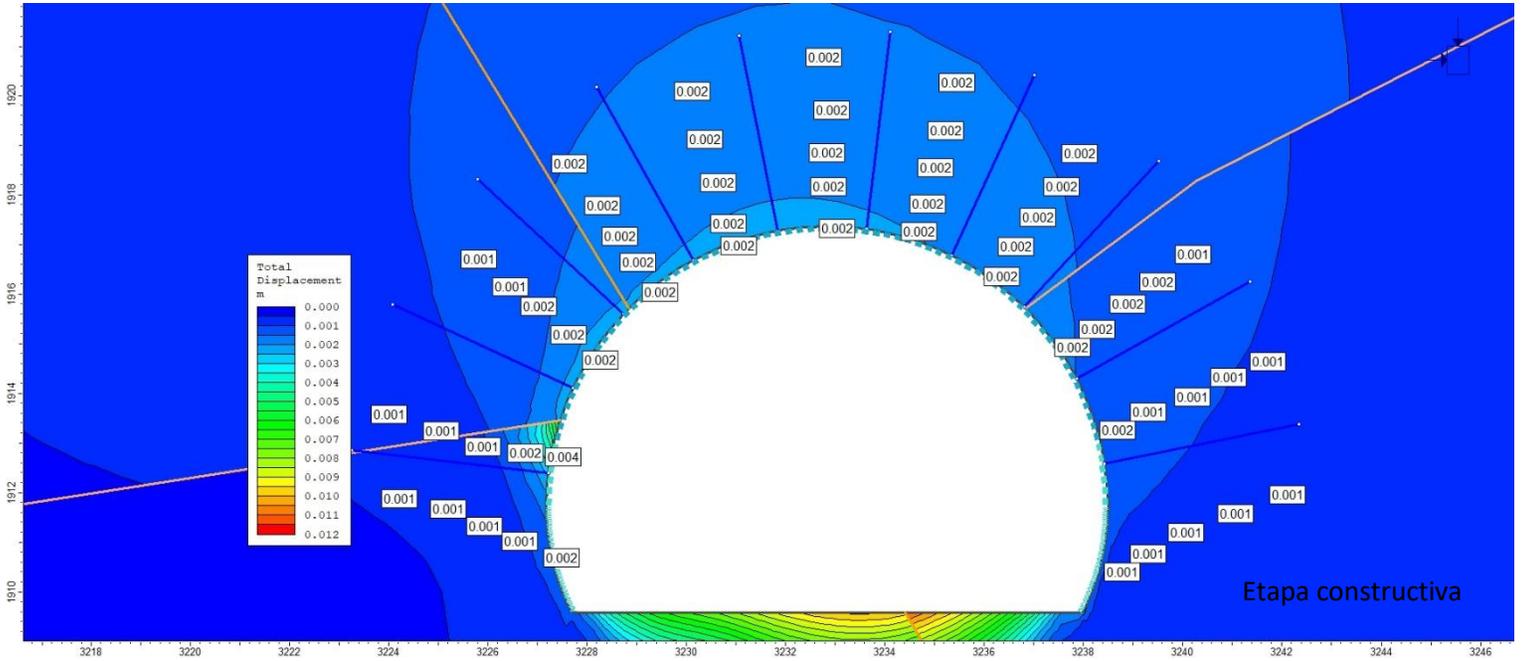
Sector 16 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



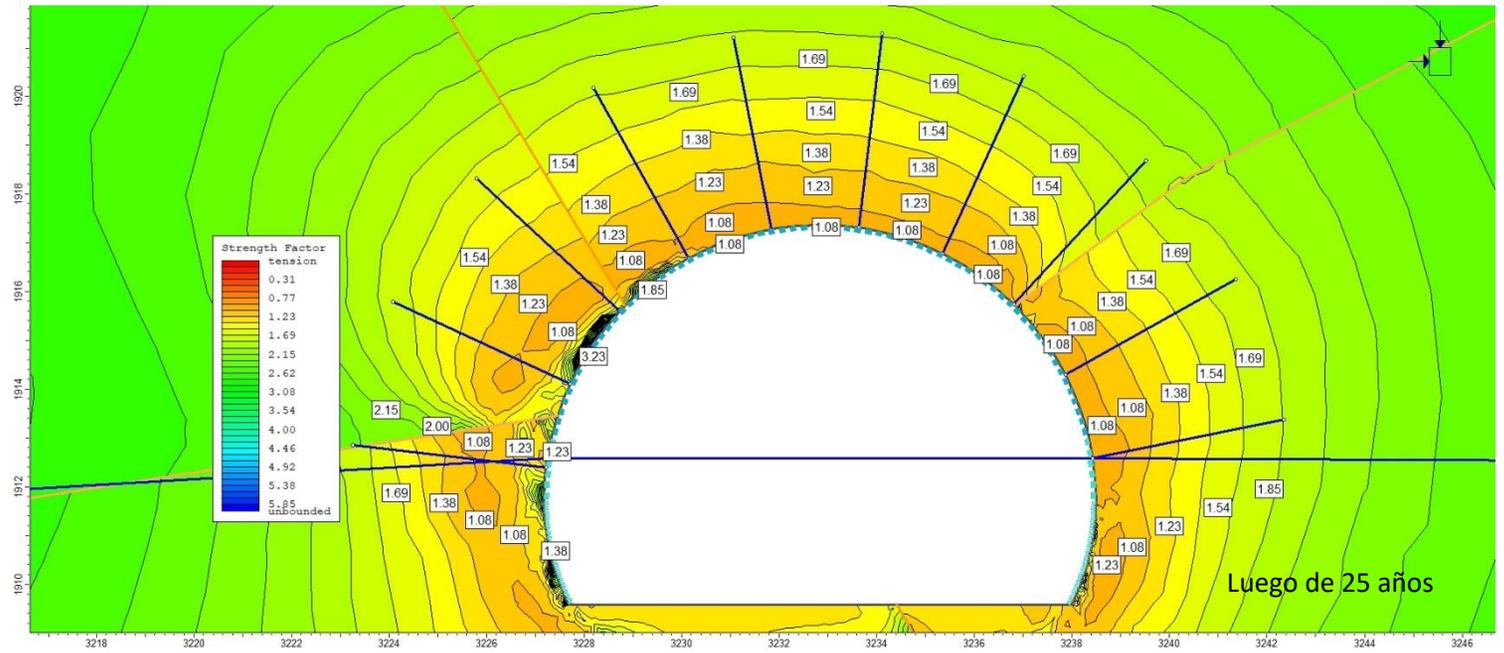
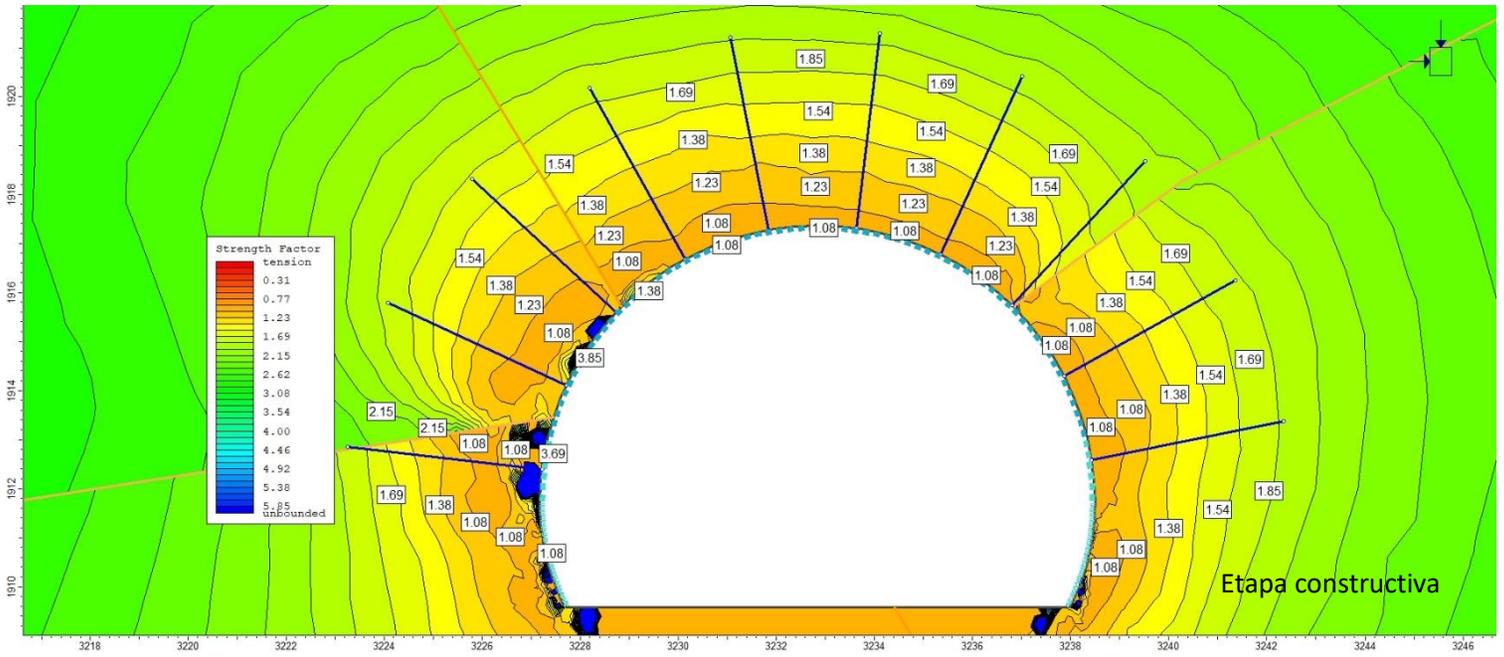
Sector 16 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 16 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

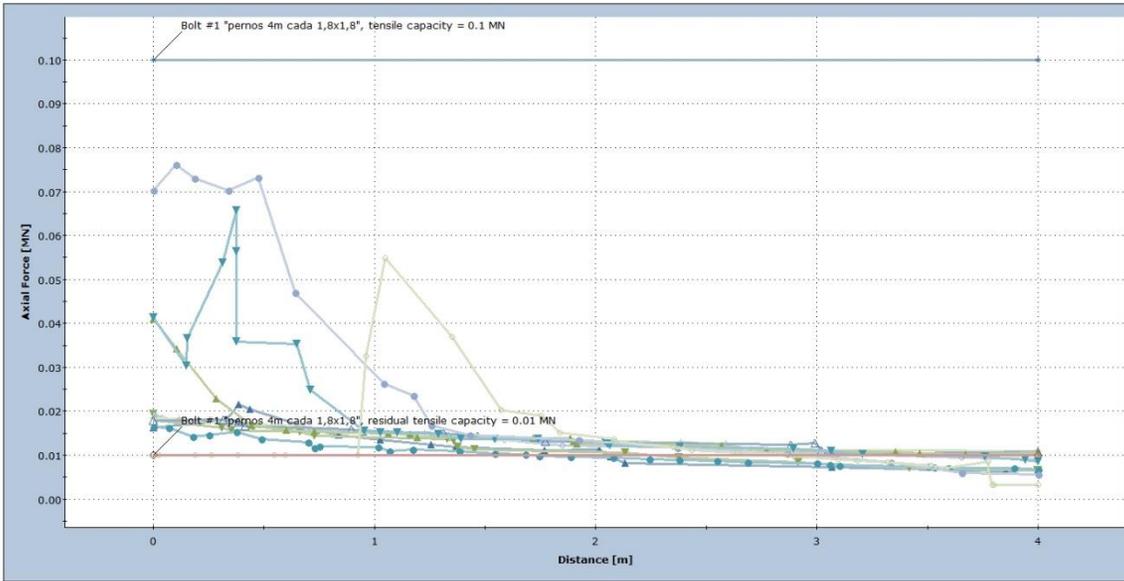


Sector 16 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



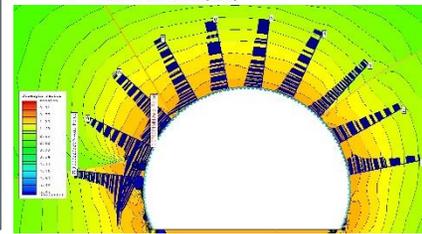
Sector 16 Gráfico de resistencia de Pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

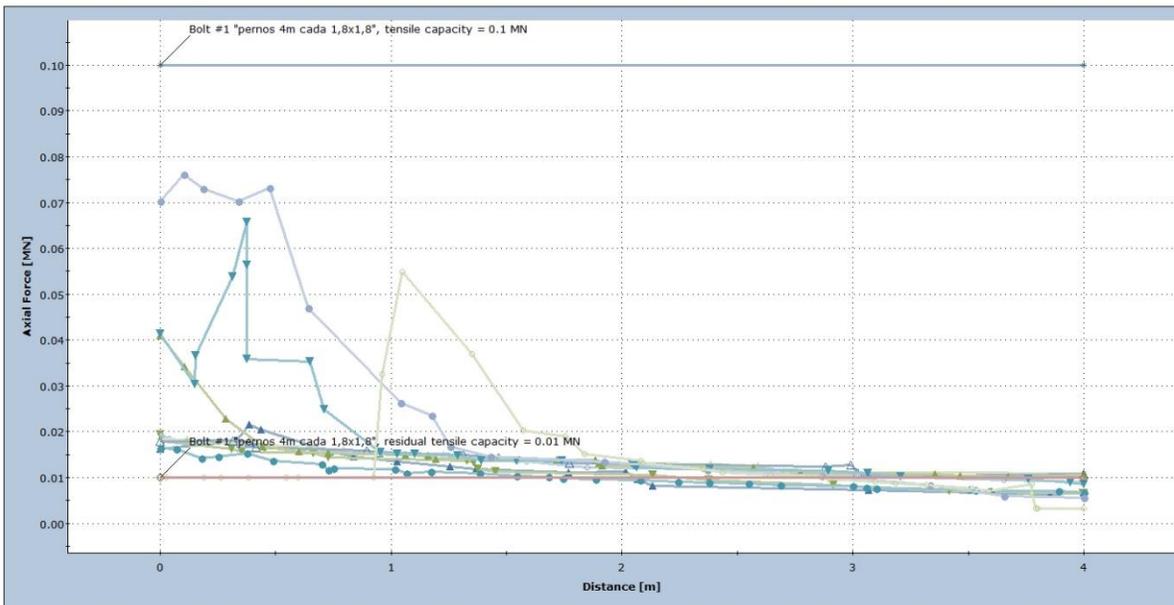


Etapa constructiva

- Bolt #1 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #2 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #5 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #6 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #7 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #8 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #10 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

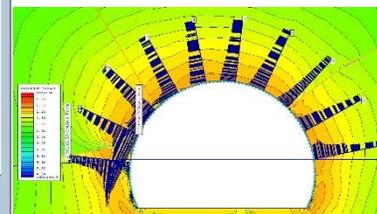


Axial Force

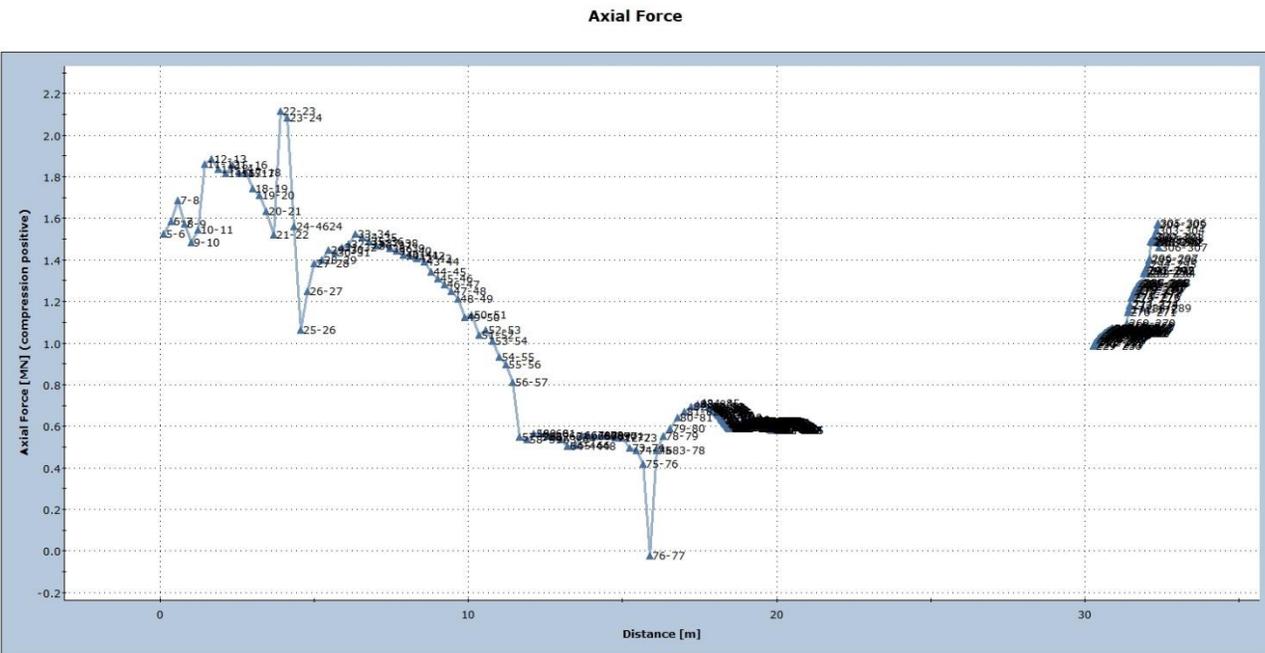
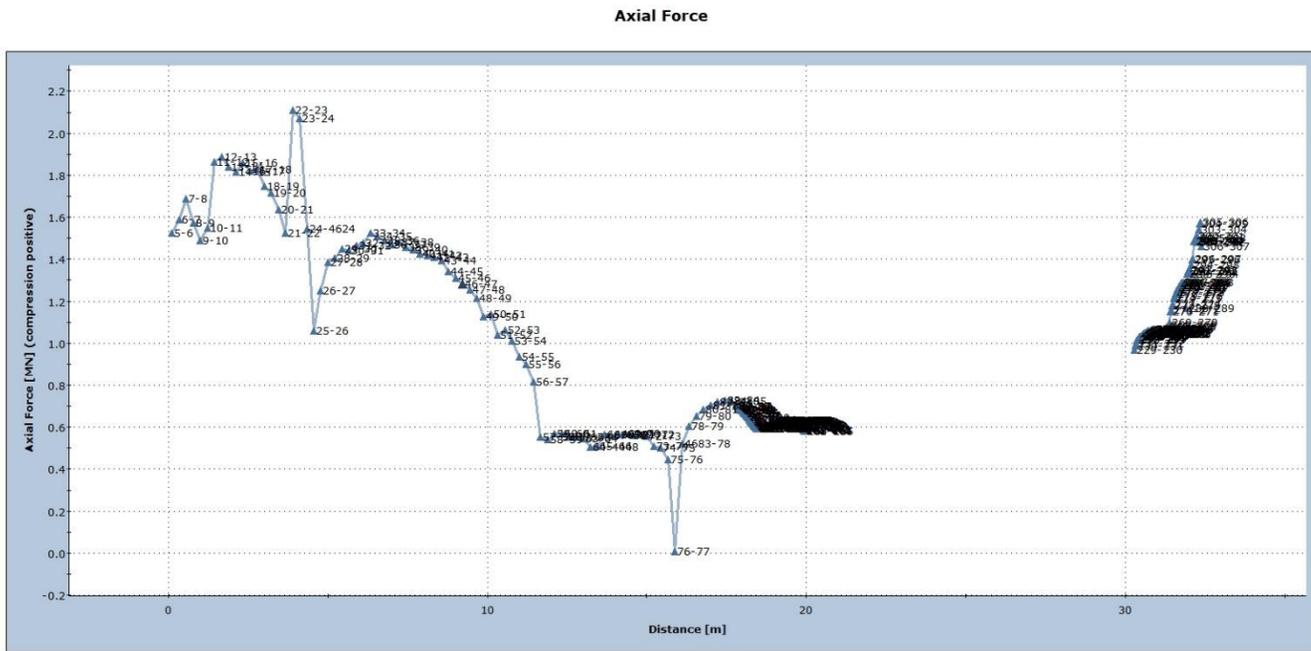


Luego de 25 años

- Bolt #1 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #2 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #3 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #4 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #5 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #6 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #7 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #8 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #9 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #10 Stage: Resistencia luego de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- Bolt #1 Residual Capacity

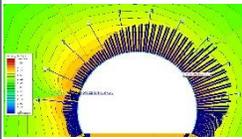


Sector 16 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años



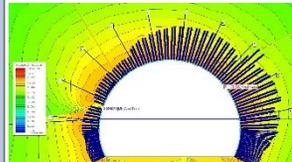
Etapa constructiva

Etapa constructiva

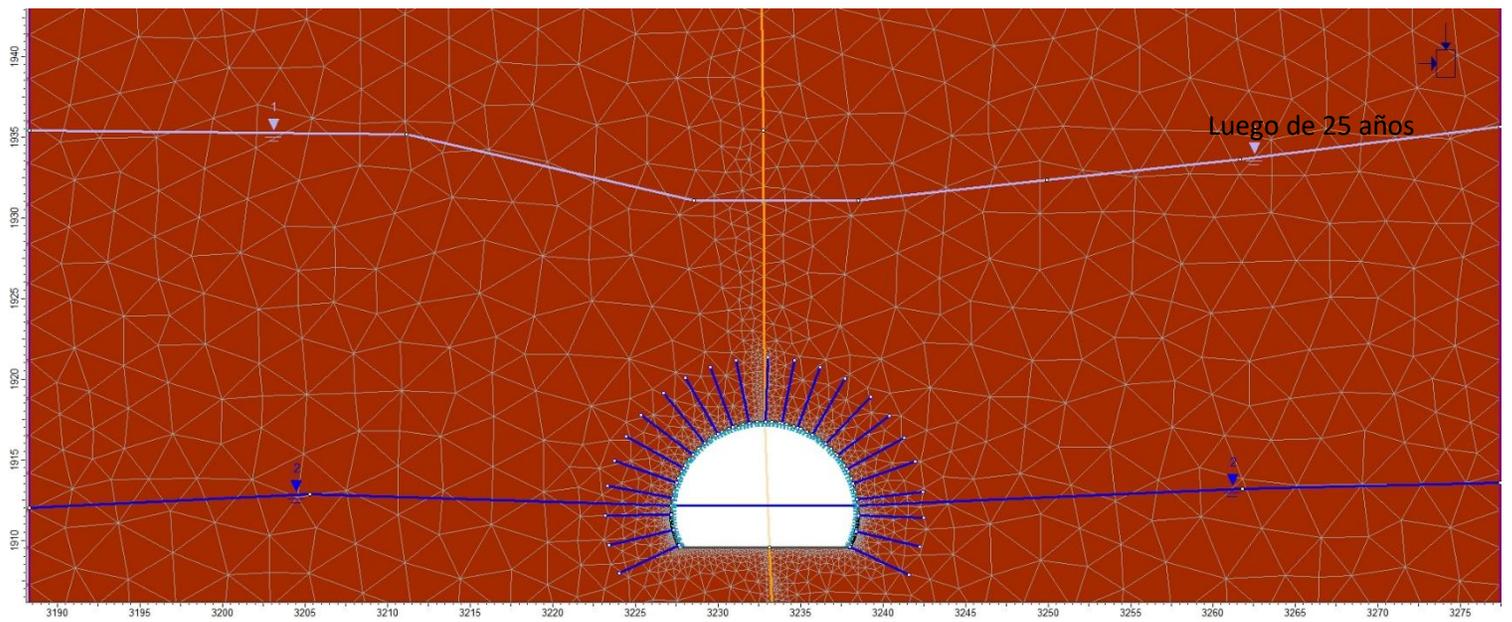
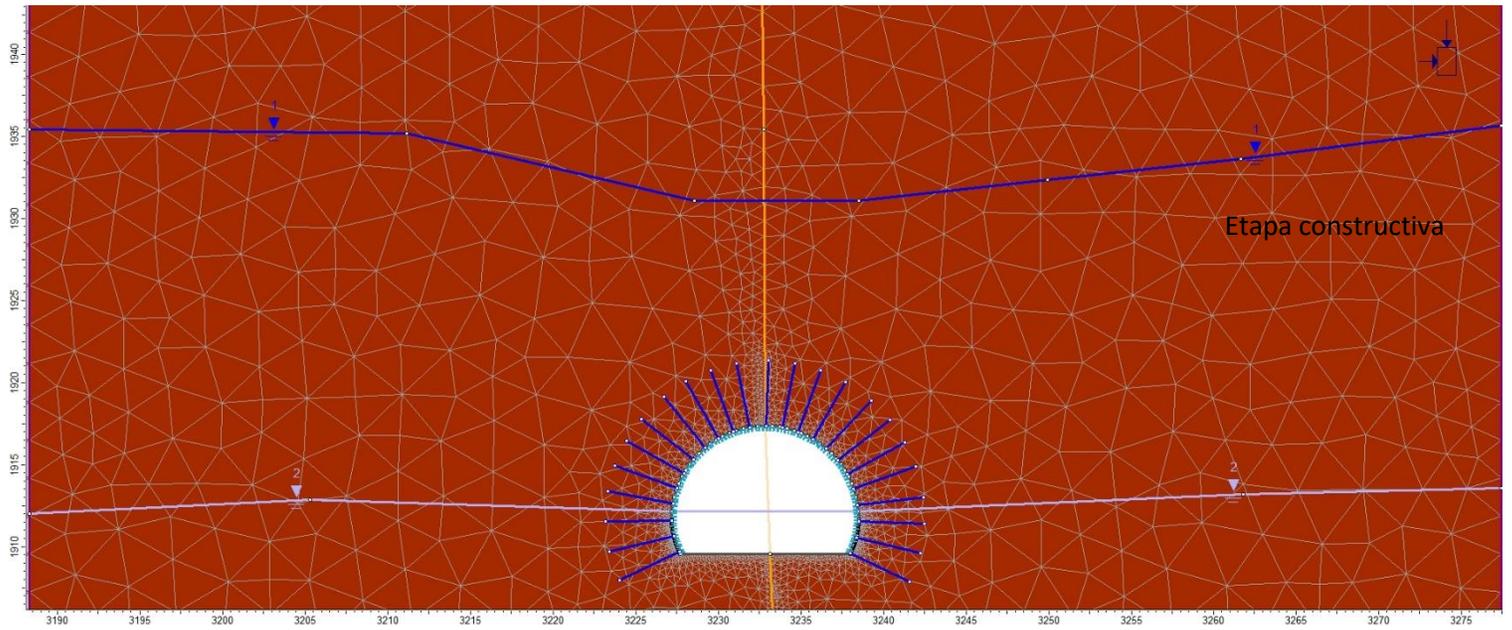


Luego de 25 años

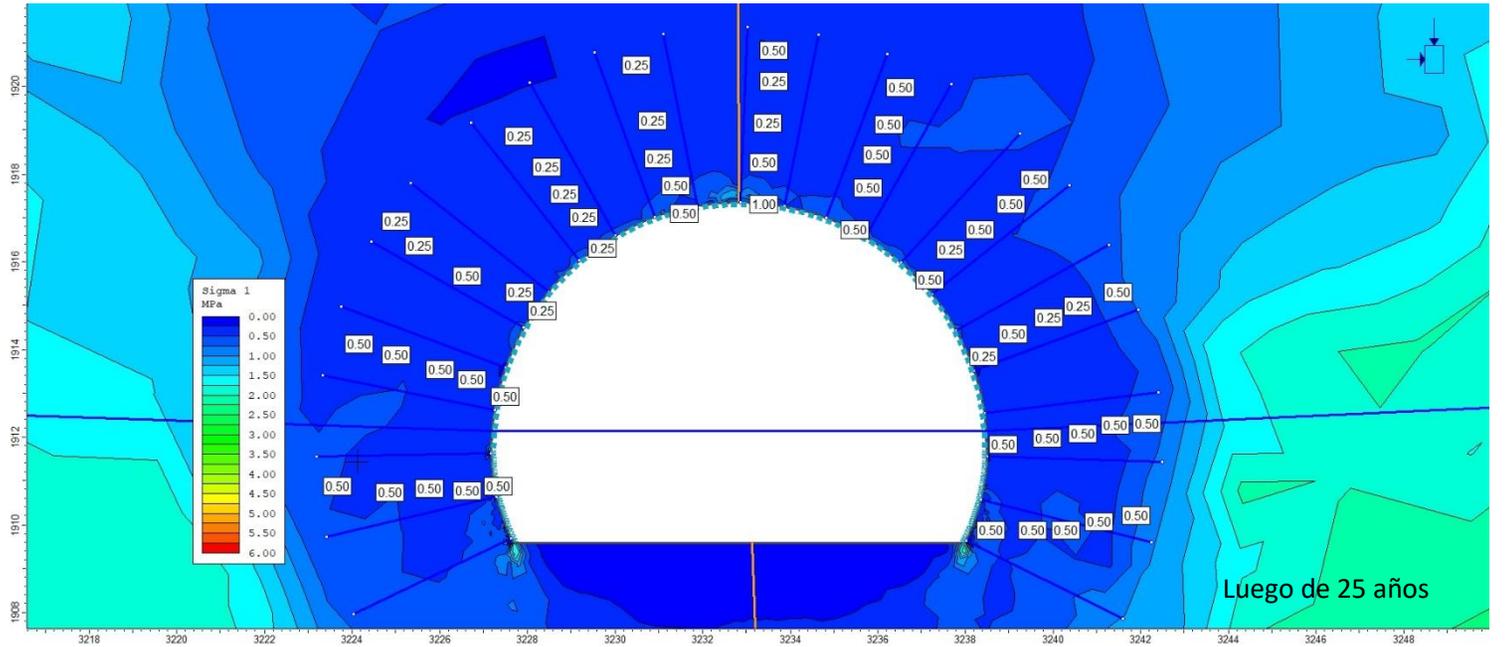
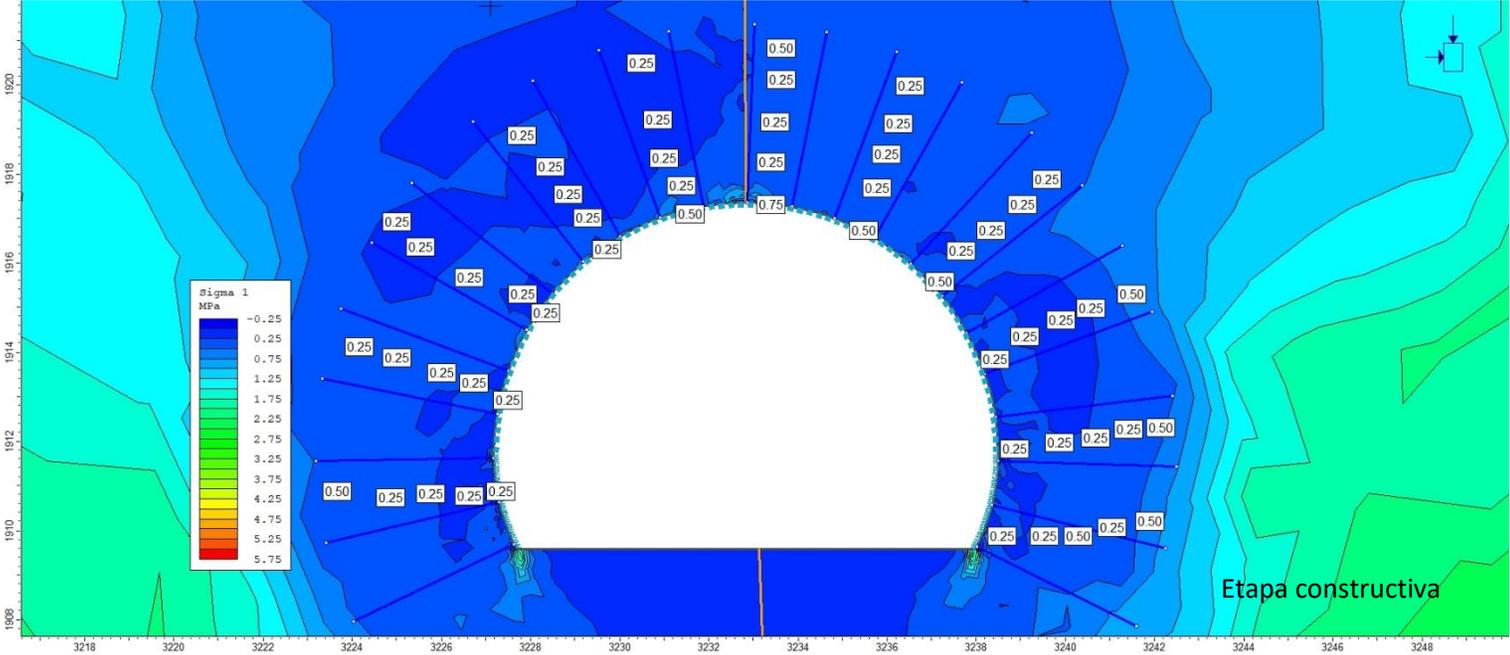
Resistencia luego de 25 años



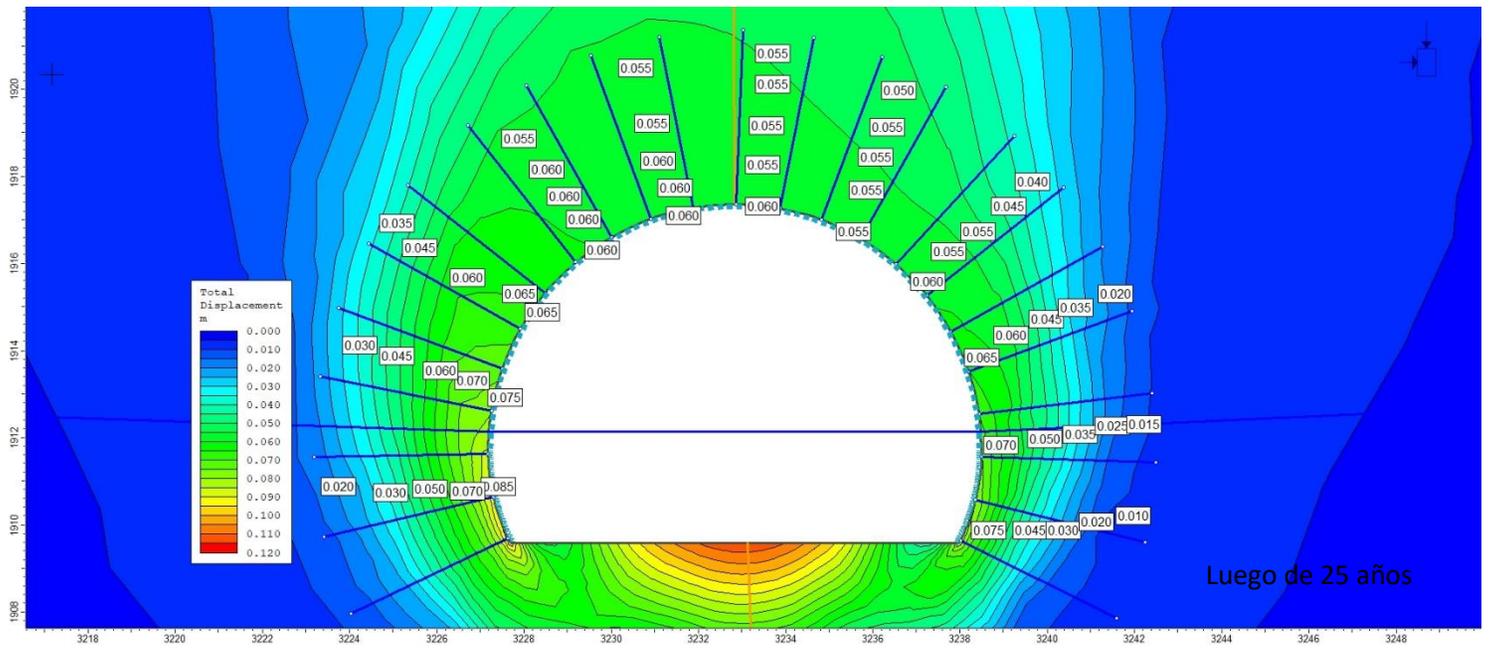
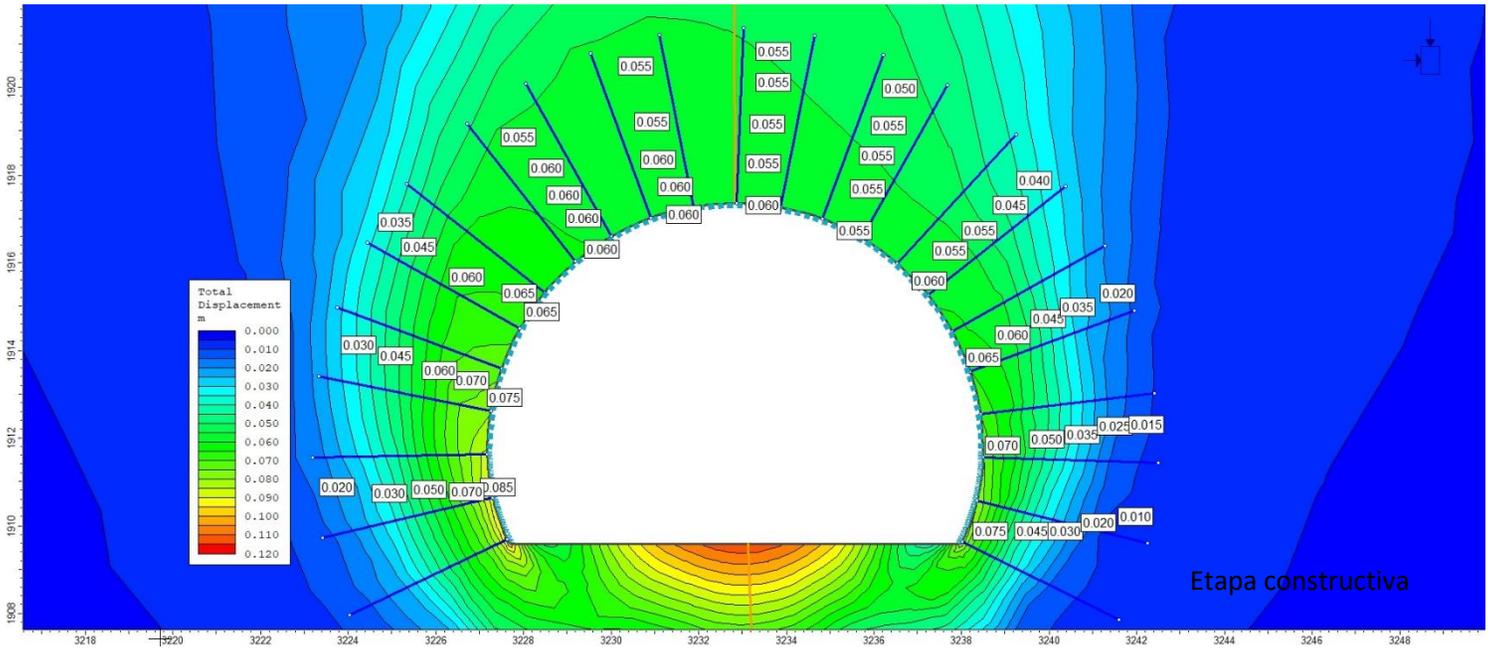
Sector 17 Modelos en etapa constructiva y luego de 25 años



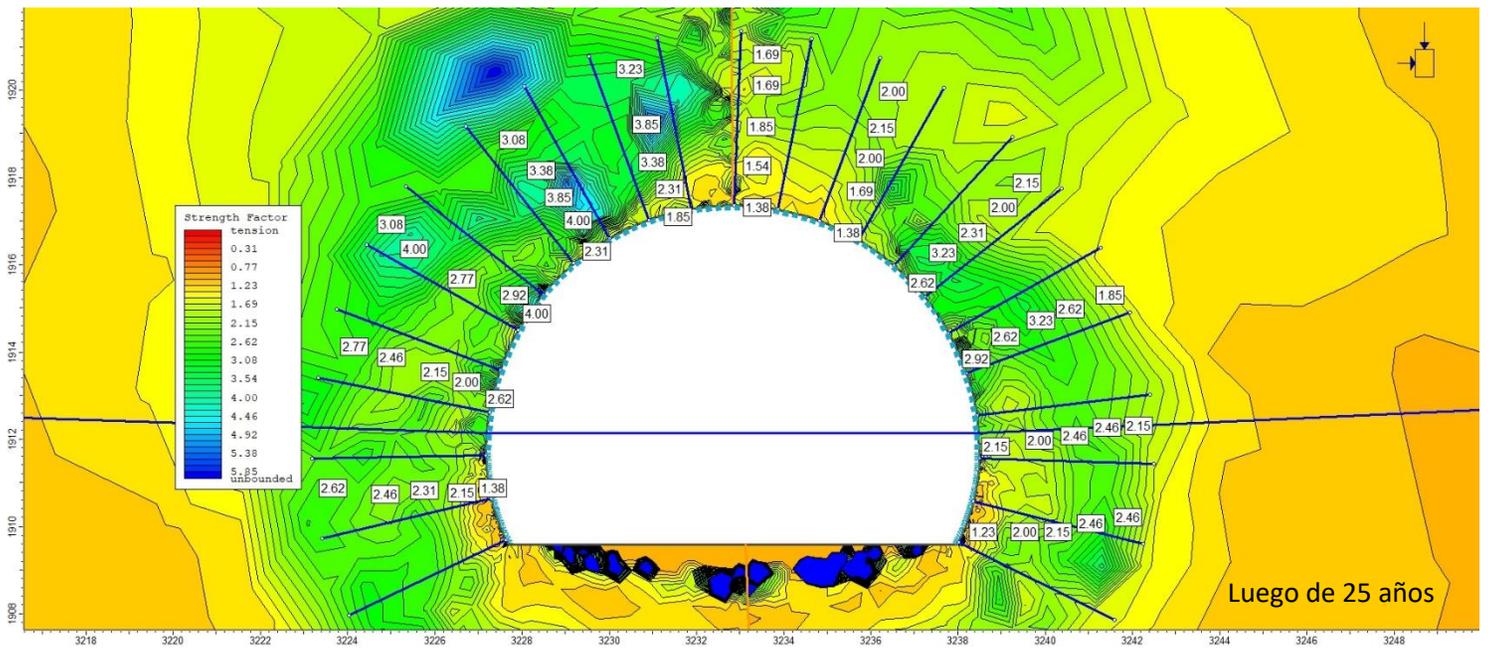
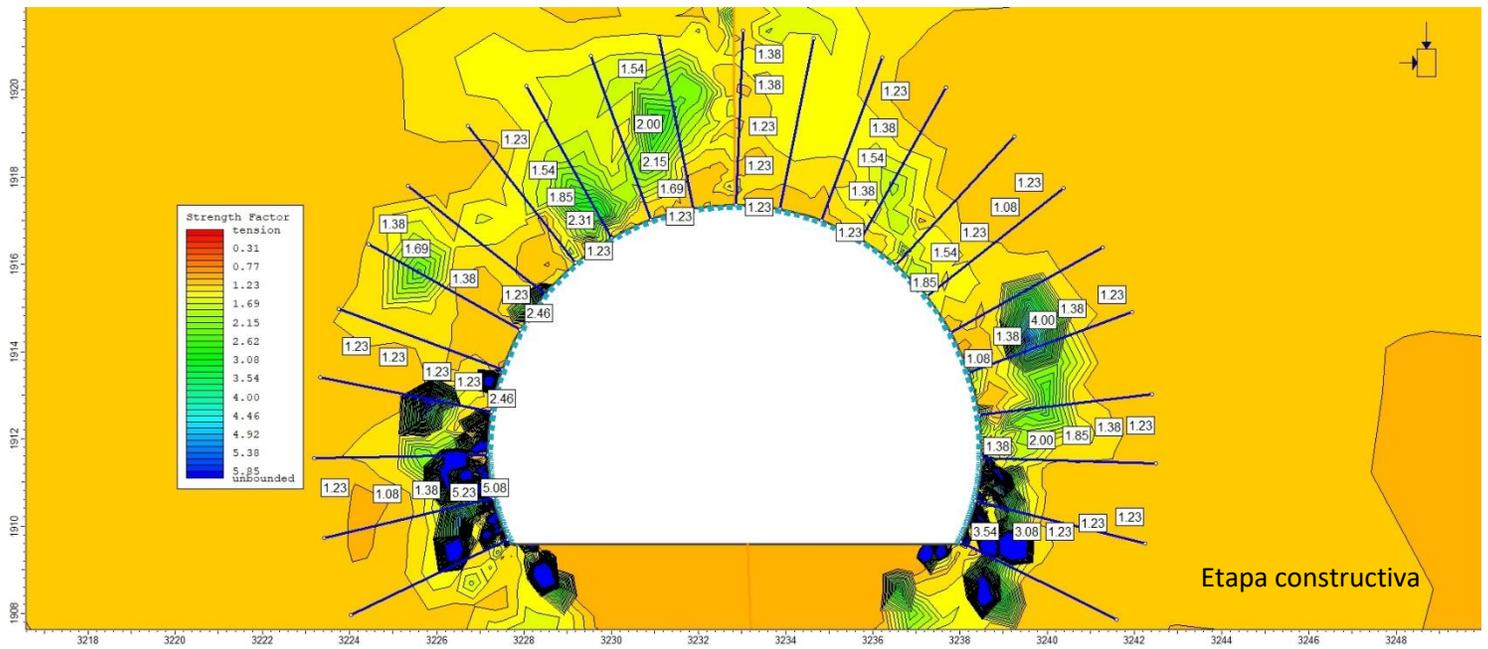
Sector 17 Esfuerzo principal en etapa constructiva y luego de 25 años



Sector 17 Desplazamiento total en etapa constructiva y luego de 25 años

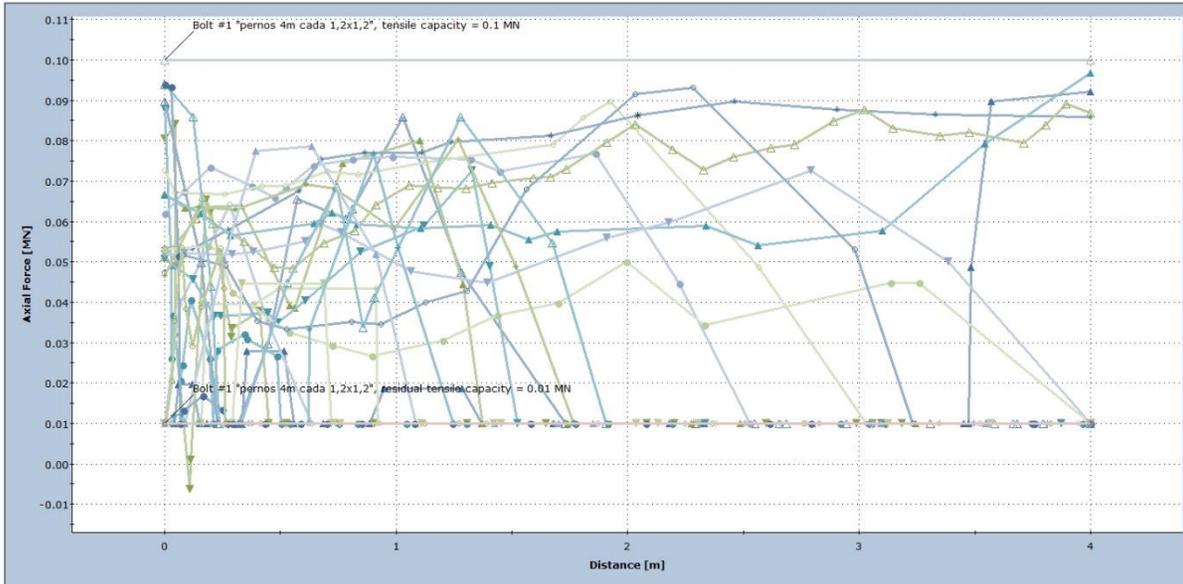


Sector 17 Factor de fuerzas tensionales en etapa constructiva y luego de 25 años



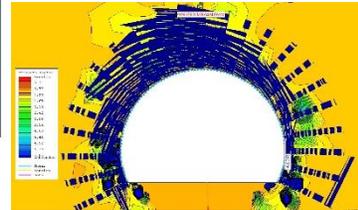
Sector 17 Gráfico de resistencia de pernos en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force

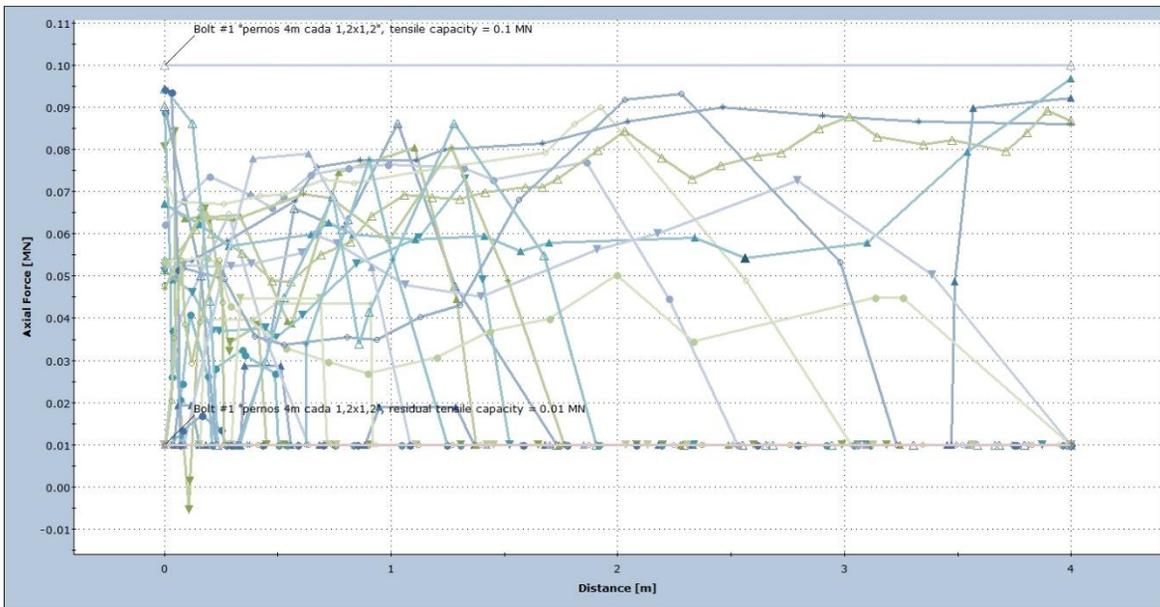


Etapa constructiva

- ▲ Bolt #1 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #2 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #3 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #4 Stage: Etapa constructiva
- ◆ Bolt #5 Stage: Etapa constructiva
- ▲ Bolt #6 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #7 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #8 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #9 Stage: Etapa constructiva
- ◆ Bolt #10 Stage: Etapa constructiva
- ▲ Bolt #11 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #12 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #13 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #14 Stage: Etapa constructiva
- ◆ Bolt #15 Stage: Etapa constructiva
- ▲ Bolt #16 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #17 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #18 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #19 Stage: Etapa constructiva
- ◆ Bolt #20 Stage: Etapa constructiva
- ▲ Bolt #21 Stage: Etapa constructiva
- ▼ Bolt #22 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #23 Stage: Etapa constructiva
- Bolt #1 Capacity
- ◆ Bolt #1 Residual Capacity

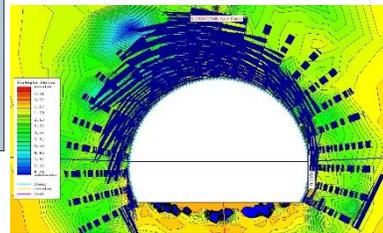


Axial Force



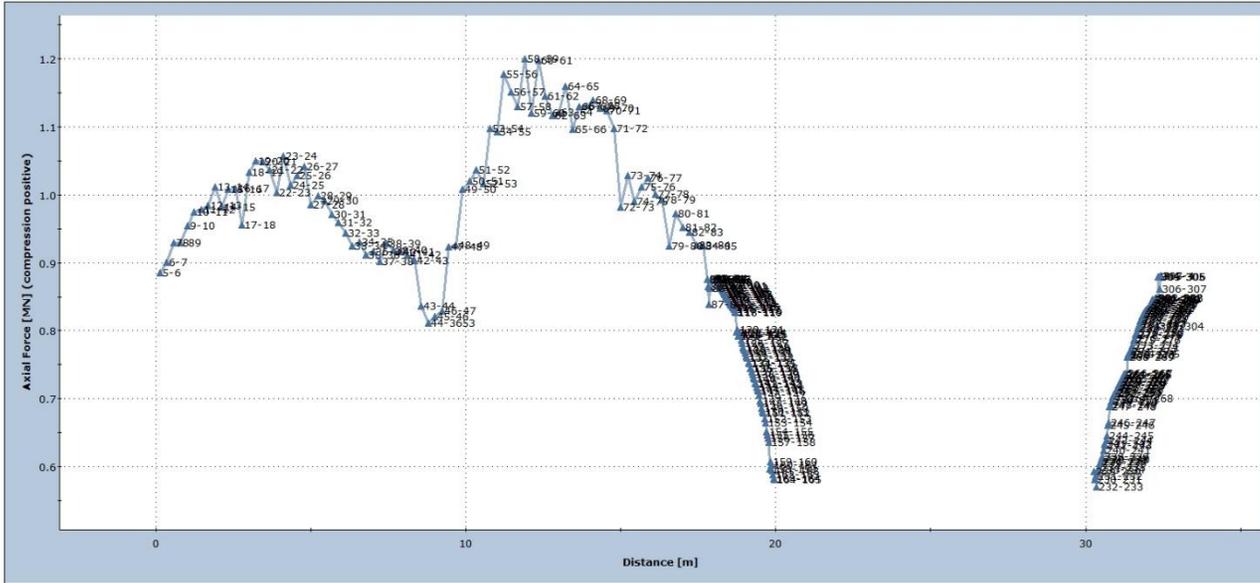
Luego de 25 años

- ▲ Bolt #1 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ▼ Bolt #2 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #3 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #4 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ◆ Bolt #5 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ▲ Bolt #6 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ▼ Bolt #7 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #8 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #9 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ◆ Bolt #10 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ▲ Bolt #11 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ▼ Bolt #12 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #13 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #14 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ◆ Bolt #15 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ▲ Bolt #16 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ▼ Bolt #17 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #18 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #19 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ◆ Bolt #20 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ▲ Bolt #21 Stage: Resistencia despues de 25 años
- ▼ Bolt #22 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #23 Stage: Resistencia despues de 25 años
- Bolt #1 Capacity
- ◆ Bolt #1 Residual Capacity

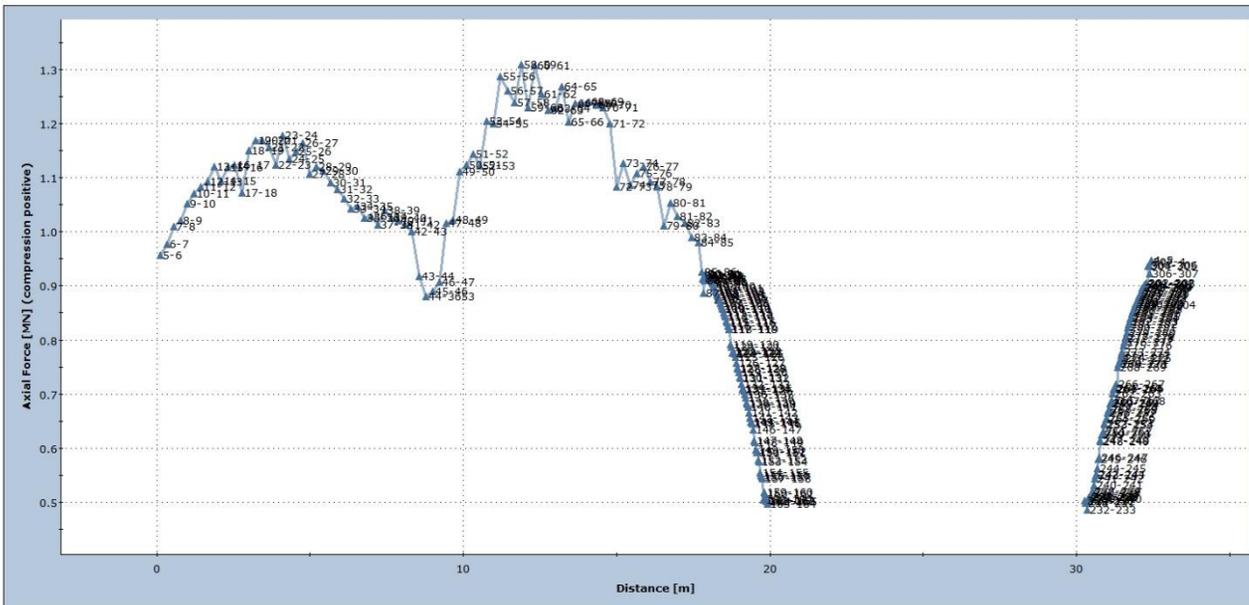


Sector 17 Gráfico de resistencia de shotcrete en etapa constructiva y luego de 25 años

Axial Force



Axial Force



Etapa constructiva



Luego de 25 años

