

ANEJO N°9

Obras subterráneas

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO EN TÚNEL	1
2. GEOMETRÍA DE LAS SECCIONES DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS	3
2.1 GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN DEL TÚNEL DE LÍNEA	3
2.2 GEOMETRÍA DE LAS SECCIONES DE LAS RESTANTES OBRAS SUBTERRÁNEAS	5
3. INFORMACIÓN PRELIMINAR Y CAMPAÑA GEOTÉCNICA DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN	6
3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR	6
3.2 CAMPAÑA GEOTÉCNICA DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN	6
4. BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL TERRENO ATRAVESADO	8
4.1 COMPLEJO URGONIANO (APTIENSE – ALBIENSE)	8
4.1.1 Margas, Margocalizas y Calcarenitas de grano fino (CU-1)	8
5. CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA	10
5.1 CU-1, MARGAS, MARGOCALIZAS Y CALCARENITAS	11
5.1.1 Descripción general CU-1	11
5.1.2 Parámetros de la roca matriz formación CU-1, Margas, margocalizas y calcarenitas	14
5.2 AGRESIVIDAD AL HORMIGÓN	18
6. CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO	19
6.1 CONTINUIDAD O PERSISTENCIA	19
6.2 FRICCIÓN Y COHESIÓN	20
6.2.1 Fricción	20
6.2.2 Cohesión	21
7. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	22
7.1 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS	22
7.1.1 Clasificación Q de Barton	22
7.1.2 Clasificación RMR de Bieniawski	24
7.1.3 Análisis estadístico de los valores obtenidos en los sondeos	24
7.1.4 Tramificación de la calidad del macizo a lo largo del túnel	26
7.2 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO	27
7.2.1 Parámetros deformacionales	28
7.2.2 Parámetros resistentes	33
7.2.3 Parámetros a considerar en el análisis tensodeformacional	35
8. DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO Y DEL REVESTIMIENTO	36

Anejo nº9: Obras
Subterráneas

Página i

8.1 SOSTENIMIENTOS TIPO	36
8.2 TRATAMIENTO EN BOQUILLAS	38
8.2.1 Boquillas Aperribai 1 y Aperribai 2	38
8.2.2 Boquilla Sarratu del túnel de línea y boquilla de la galería de emergencia de Ariz	39
8.2.3 Resumen del tratamiento en boquillas	40
8.3 TRATAMIENTO EN ENTRONQUES	40
8.4 REVESTIMIENTO	41
8.5 IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE	42
8.5.1 Impermeabilización	42
8.5.2 Drenaje	42
8.5.3 Inyecciones de impermeabilización en el contorno del túnel	43
9. CÁLCULOS	44
9.1 ANÁLISIS TENSODEFORMACIONAL	45
9.1.1 Descripción de los cálculos realizados	45
9.1.2 Modelo geológico geotécnico	46
9.1.3 Modelo numérico	49
9.1.4 Márgenes de seguridad establecidos como referencia para el análisis de los resultados	53
9.1.5 Resultados obtenidos	54
9.1.6 Comprobación con $k_0 = 1,2$	57
9.1.7 Conclusiones del análisis tensodeformacional	57
9.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES	58
9.2.1 Análisis de estabilidad de bloques túnel de línea Sarratu - Aperribai	60
9.2.2 Conclusiones del análisis de estabilidad de bloques	72
10. PROCESO CONSTRUCTIVO	73
10.1 MODO DE EXCAVACIÓN	73
10.1.1 Excavabilidad	73
10.1.2 Forma y dimensiones de la sección	79
10.1.3 Vibraciones	79
10.1.4 Rendimiento/coste	79
10.1.5 Conclusiones y método de excavación propuesto	80
10.2 MÉTODO DE EJECUCIÓN	80
10.2.1 Fases de excavación y sostenimiento	81
11. TRATAMIENTOS ESPECIALES	82
11.1 TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CLAVE	82

11.2 TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN DEL FRENTE	83
11.3 TRATAMIENTOS FRENTE A INFILTRACIONES DE AGUA	83
11.4 TRATAMIENTOS DE CAVIDADES KARSTICAS Y HUECOS	84
12. CONTROL GEOTÉCNICO Y AUSCULTACIÓN	85
12.1 CONTROL GEOTÉCNICO	85
12.1.1 Ejecución de sondeos de reconocimiento en el frente	85
12.1.2 Control geotécnico de los frentes de excavación	86
12.2 AUSCULTACIÓN	86
12.2.1 Parámetros de control	87
12.2.2 Tipos de instrumentos, características y colocación	87
12.2.3 Propuesta de auscultación. Secciones de control y zonas singulares	89
12.2.4 Lecturas a realizar y frecuencia	92

APÉNDICE Nº9.1. TRAZADO EN PLANTA. OBRAS SUBTERRÁNEAS.

APÉNDICE Nº 9.2. PLANTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA.

APÉNDICE Nº 9.3. PERFILES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS LONGITUDINALES.

APÉNDICE Nº 9.4. PLANOS DE SOSTENIMIENTOS TIPO.

APÉNDICE Nº 9.5. CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO: ÍNDICE RMR EN SONDEOS.

APÉNDICE Nº 9.6. ENSAYOS DE LABORATORIO. RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

APÉNDICE Nº 9.7. PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO.

APÉNDICE Nº 9.8. CÁLCULOS DEL ANÁLISIS TENSODEFORMACIONAL.

Anejo nº9: Obras
Subterráneas

Página iii

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FMB TRAMO SARRATU-APERRIBAI



1. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO EN TÚNEL

El Proyecto de Construcción del tramo Sarratu - Aperribai de la Línea 5 del F.M.B. arranca a la altura de las cocheras de Ariz y transcurre por el barrio de Sarratu en el Municipio de Basauri, pasando a continuación al Municipio de Galdakao por el barrio de Aperribai, donde finaliza. La longitud de este tramo es de aproximadamente 1,5 km, de los cuales la gran parte son en túnel en mina: únicamente se ha proyectado en superficie el tramo inicial (zona de Sarratu) hasta el PK 0+400, y por otro lado un tramo que comprenderá la estación de Aperribai se ejecutará a cielo abierto y posteriormente se cubrirá con tipología de falso túnel.

En la tabla siguiente se resumen los tramos de túnel proyectados:

TRAMO	PK inicio	PK final	L túnel mina (m)	L falso túnel (m)
Falso túnel Sarratu	0+120	0+400	-	280
Túnel Sarratu - Aperribai	0+400	1+214	814	-
Falso túnel Aperribai	1+214	1+540	-	326

En el Apéndice 9.1 se incluye una planta del trazado en la que se han marcado cada uno de los tramos anteriores.

A continuación se describe el trazado de los tramos en túnel:

El **falso túnel de Sarratu** arranca en la estación intermodal de Sarratu proyectada y finaliza al lograrse la cobertera necesaria para pasar a excavación en mina, en el PK 0+400.

El **túnel de Sarratu - Aperribai** transcurre entre los PKs 0+400 y 1+214 (L = 814 m), entre los Términos Municipales de Basauri y Galdakao, y se excavará en mina.

En planta, el túnel discurre en una sucesión de clotoides, curvas circulares y rectas de poco desarrollo hasta el PK 0+740 donde pasa a curva de radio R = 800 hasta el PK 1+282, ya en el tramo de falso túnel que hay a continuación del tramo excavado en mina.

En alzado presenta una pendiente descendente de 55 ‰ hasta un kv = 2000 en el PK 0+712 y a partir de ahí asciende con una inclinación de 50‰.

Transcurre bajo una zona eminentemente industrial, pasando bajo el río Nervión (PK 0+800) y la N-634 (PK 1+100).

La montera máxima en este tramo en mina es del orden de 30 m.

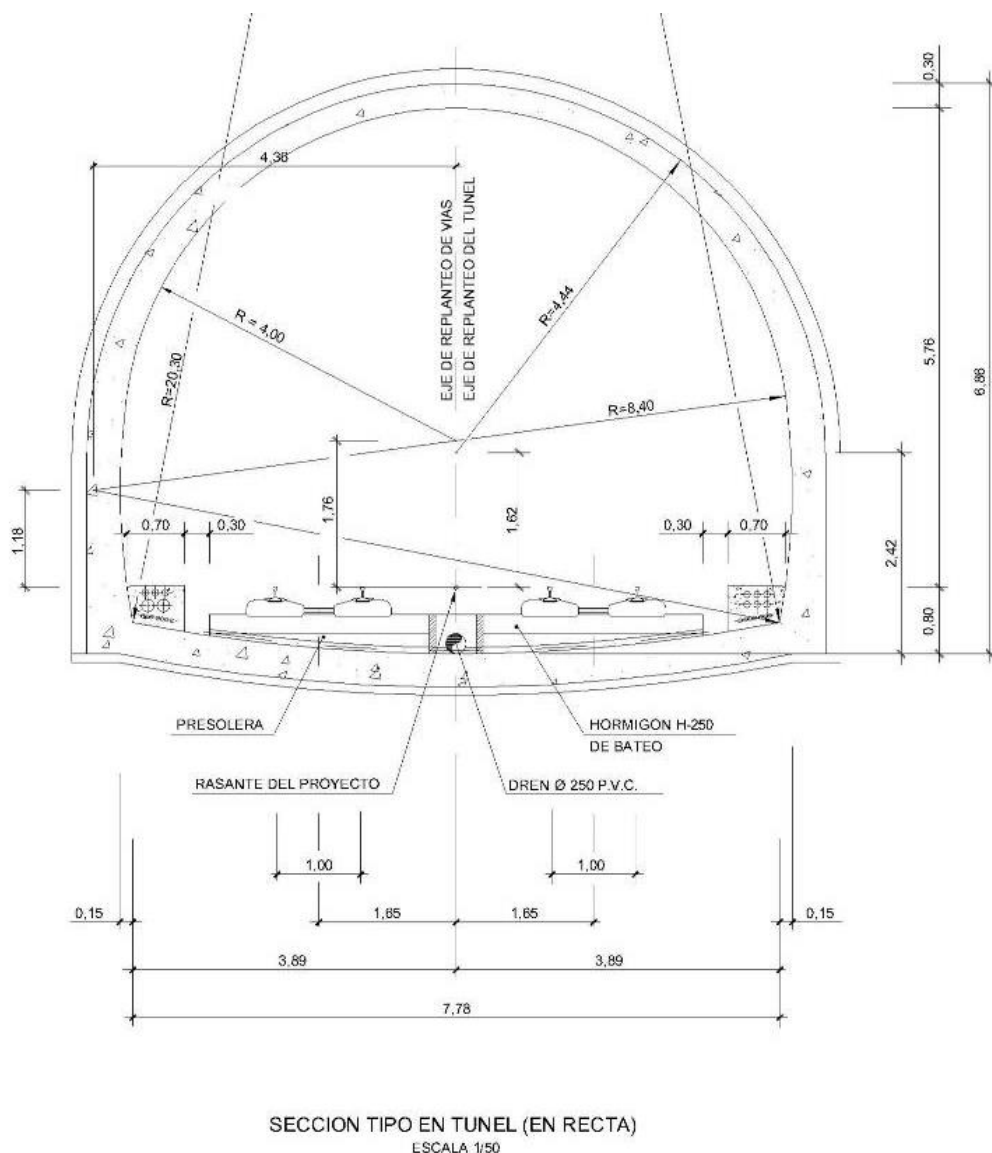
En este tramo entroncan en perpendicular con el túnel una galería para ventilación de emergencia (PK 0+500) y una galería peatonal para salida de emergencia (PK 0+520): se denominan **Galería de emergencia de Ariz**. La galería para ventilación de emergencia se empleará como ataque para la excavación del túnel en mina con objeto de minimizar las afecciones a las vías en servicio existentes en la zona. Tiene una longitud del orden de 150 m. La galería de salida de emergencia, de unos 25 m de longitud, arranca en el túnel y termina en la galería de ventilación, que se compartimentará para desempeñar la doble función de ventilación/salida de emergencia en los metros que corresponda. Hay que señalar que la galería de salida peatonal de emergencia también se compartimentará en los primeros metros para albergar cuartos técnicos (centros de transformación).

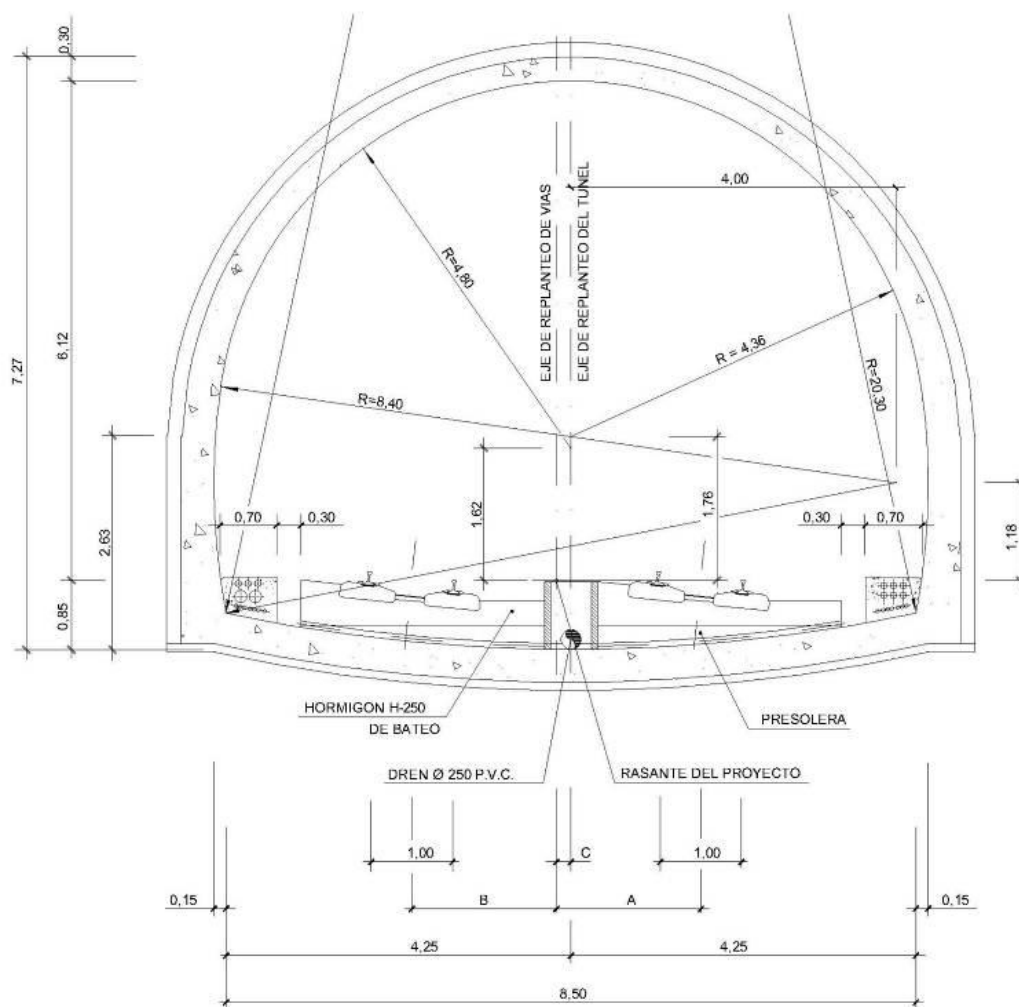
Una vez finaliza el túnel en mina, el trazado transcurre en **falso túnel** por el barrio de **Aperribai**. Este tramo de 326 m de longitud se excavará en trinchera entre pantallas (PK 1+214 a PK 1+540) hasta emboquillar de nuevo en mina en el punto donde acaba el presente tramo, y en él se ha previsto la **estación de Aperribai** (PK 1+307,8 a PK 1+486).

2. GEOMETRÍA DE LAS SECCIONES DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS

2.1 GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN DEL TÚNEL DE LÍNEA

A continuación se recoge la definición geométrica de la sección del túnel de línea, en curva y en recta. Por sus dimensiones, pertenece al Grupo 3 dentro de la clasificación establecida para la designación de los sostenimientos a aplicar en función de la calidad del macizo rocoso y que se describirá más adelante.





SECCION TIPO EN TUNEL (EN CURVA)
ESCALA 1/50

Anejo nº9: Obras
Subterráneas

Página 4

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FMB TRAMO SARRATU-APERRIBAI

2.2 GEOMETRÍA DE LAS SECCIONES DE LAS RESTANTES OBRAS SUBTERRÁNEAS

Además del túnel de línea, en el presente Proyecto se ha previsto la ejecución de las siguientes obras a excavar en mina:

- Salida de emergencia peatonal en túnel de línea, que comunicará este último con la galería de ventilación de emergencia en túnel, la cual se compartimentará a partir del punto de entronque para desempeñar la doble función de ventilación/salida peatonal. Pertenece al Grupo 3, con dimensión equivalente entre 7 y 10 m. En los primeros metros desde el entronque de esta galería con el túnel, habrá también una división mediante tabique de la sección con objeto de albergar los cuartos técnicos (transformadores, etc.) asociados a la ventilación de emergencia prevista.
- Ventilación de emergencia del túnel de línea, que en el presente Proyecto se divide mediante un tabique a partir de un punto determinado para compartir sección con la salida de emergencia peatonal de túnel. Pertenece al Grupo 3, con dimensión equivalente entre 7 y 10 m.

En el plano 9.2 Secciones tipo del Documento nº2 Planos, se recogen con detalle la geometría y dimensiones de todas las obras subterráneas señaladas en este punto.

3. INFORMACIÓN PRELIMINAR Y CAMPAÑA GEOTÉCNICA DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

En el Anejo nº5 de Geología y Geotecnia se recogen con detalle los datos de partida o información geotécnica preliminar correspondiente al Estudio Informativo de este tramo (Ariz-Galdakao Centro) realizado por Fulcrum en 2010, así como todos los trabajos realizados para el presente Proyecto de Construcción (trabajos de campo y ensayos de laboratorio).

A continuación se resume dicha investigación empleada para la caracterización del terreno afectado por las obras subterráneas:

3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR

Como datos de partida o información preliminar se cuenta con lo recogido en el citado Estudio Informativo, en el cual se incluye tanto la investigación realizada con objeto del mismo como en trabajos anteriores en la zona (Proyecto de Trazado y Proyecto de Construcción F.M.B. Tramo Ariz-Basauri, Estudio geológico-geotécnico para el ferrocarril Metropolitano de Bilbao. Tramo: Plaza Elíptica-Basauri).

Se trata de sondeos mecánicos, ensayos in situ y de laboratorio, trabajos de geofísica y la cartografía geológico-geotécnica que se han incorporado al presente Proyecto de Construcción.

3.2 CAMPAÑA GEOTÉCNICA DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

A continuación se resumen los **sondeos mecánicos** realizados en los tramos de túnel en mina del trazado:

SONDEO	Longitud (m)	Localización
SM-5	27,25	Túnel en mina Sarratu-Aperribai
SM-6	35,00	Túnel en mina Sarratu-Aperribai
SM-7	42,60	Túnel en mina Sarratu-Aperribai
SM-8	38,20	Túnel en mina Sarratu-Aperribai
SM-8a	16,00	Túnel en mina Sarratu-Aperribai
SM-9a	32,90	Túnel en mina Sarratu-Aperribai
SM-9	28,20	Boquilla Aperribai-pantalla
SM-11	36,40	Boquilla Aperribai-pantalla

Durante la ejecución de los sondeos se ha procedido a la toma de muestras inalteradas y testigos parafinados para su posterior ensayo en el laboratorio. También se han llevado a cabo ensayos in situ: SPT en suelos y roca muy alterada, de permeabilidad Lefranc en suelos, de permeabilidad

Anejo nº9: Obras
Subterráneas

Página 6

Lugeon en el macizo rocoso y ensayos presio-dilatométricos en el macizo rocoso. En el Anejo nº5 Geología y Geotecnia se recoge una relación de todos ellos, así como sus fichas con los datos de cada uno de los ensayos realizados.

Además de los sondeos mecánicos se han llevado a cabo **prospecciones geofísicas**, en concreto dos perfiles de tomografía sísmica (TMS-1 y TMS-2) cuyo objeto es determinar el espesor de suelos/roca alterada en el tramo de falso túnel.

PERFIL SÍSMICO	Orientación	Localización	Longitud (m)
TMS-1	NO-SE	Estación de Aperribai (falso túnel)	194
TMS-2	NO-SE	Estación de Aperribai (falso túnel)	191

También se ha llevado a cabo una **cartografía geológico-geotécnica**, en la que se recogen los datos observados en campo y se realiza la interpretación correspondiente teniendo en cuenta también los datos que proporcionan todas las prospecciones.

Por último, se han llevado a cabo **ensayos de laboratorio** sobre las muestras y testigos tomados en los sondeos, que permitirán la caracterización de los diferentes materiales que constituyen el terreno (en el sondeo SM-8a no se han ensayado muestras puesto que su objetivo es confirmar la cobertera de roca en esa zona, y los materiales atravesados no presentan anomalías o variaciones con respecto a los demás sondeos en esa formación). En el Anejo nº5 5 de Geología y Geotecnia se recogen los partes de todos los ensayos y en el Apéndice 9.6 del presente Anejo se incluyen tablas resumen de los resultados correspondientes a las formaciones rocosas afectadas por las obras subterráneas, junto con un análisis estadístico y una propuesta de valores de los parámetros más relevantes de la roca matriz en cada caso.

4. BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL TERRENO ATRAVESADO

La descripción geológica detallada del terreno por el que transcurren las obras subterráneas proyectadas se recoge con detalle en el Anejo nº 5 de Geología y Geotecnia. Además, en el Apéndice 9.2 se adjunta la Planta geológico-geotécnica de este tramo y en el Apéndice 9.3 el Perfil geológico-geotécnico longitudinal en los que puede verse la configuración estimada del terreno y las formaciones que a continuación se describen.

Como resumen, puede señalarse que se afectará a materiales rocosos del Complejo Urgoniano (las formaciones superficiales cuaternarias no son relevantes en este caso). La descripción litológica es la siguiente:

4.1 COMPLEJO URGONIANO (APTIENSE – ALBIENSE)

4.1.1 MARGAS, MARGOCALIZAS Y CALCARENITAS DE GRANO FINO (CU-1)

Este tramo se compone fundamentalmente de **margas y margocalizas gris-azuladas**, a veces con nódulos calizos o piritosos, estratificadas en bancos decimétricos. Con frecuencia la esquistosidad (bien desarrollada) y la fracturación obliteran o hacen dificultosa la observación de la estratificación, que solo se manifiesta en los niveles de calizas nodulosas, **calcarenitas** o parabrechas calcáreas (en algunos sectores cartografiados). En el tramo de túnel en mina estos materiales se han cortado en los sondeos SM-8 y SM-8a y en el SM-11, y también se observan en numerosos afloramientos.

Las calizas nodulosas / parabrechas calcáreas, en matriz margosa (lutítica / limolítica) presentan potencia y continuidad suficiente como para ser cartografiados en muchos sectores de la formación ya que se observan espesores de cadencia métrica. Su composición es idéntica en todos los casos observados, matriz margosa lutítico-limolítica con cantos de caliza arrecifal que pueden llegar a más de 1 m de potencia incluso a niveles estratificados de ortobrecha con escasa continuidad lateral a modo de relleno canaliforme. El sondeo SM-9 registra estos niveles de calizas en matriz lutítica cuya cartografía en planta debido a los recubrimientos resulta dificultosa.

Por otro lado, en la base de esta formación aparecen **margas de color más oscuro (limolitas/lutitas calcáreas) con areniscas calcáreas** con secuencias turbidíticas. Estos materiales aparecen en el entorno del río Ibaizabal y en el barrio de Aperribai y registran niveles de limolitas y lutitas calcáreas negras, cuya cartografía en planta bajo los recubrimientos aluviales es muy dificultosa y que pueden ser un tránsito gradual a la siguiente unidad (SM-5, SM-6, SM-7 y SM-10). Los sondeos SM-9 y SM-9a también muestran claramente tramos mucho más oscuros identificándolos como lutitas calcáreas respecto a otros tramos más claros y más margosos.

Para la descripción y caracterización de esta formación también se han tenido en cuenta los sondeos recogidos en el Estudio Informativo: S-9, S-8, S-10, S-4 y S-11

5. CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA

Se entiende por formaciones a aquellas unidades geológicas cartografiables que presentan características sedimentarias que permiten distinguir entre sí unas de otras. La formación es la unidad básica empleada en la cartografía geológica.

Los túneles son obras cuyas secciones tipo generalmente presentan diámetros superiores a la decena de metros. En estas circunstancias no es práctico diferenciar litologías que se presenten en capas o paquetes de diámetro inferior al indicado, ya que sus propiedades sólo reflejarían el comportamiento geotécnico de zonas muy localizadas o puntuales de la sección tipo de los mismos. Lo más útil de cara a la caracterización geotécnica del terreno afectado por el túnel y a los cálculos de comprobación de sostenimientos es caracterizar paquetes de roca homogéneos a una escala de varias veces la del diámetro del túnel, esto es, varias decenas de metros.

En este caso las formaciones consideradas son las siguientes:

TRAMO DE TÚNEL EN MINA	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FINAL	LONGITUD (m)
Túnel Sarratu - Aperribai	CU-1, Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino. Zona de limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas)	0+400	0+804	404
	CU-1, Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino.	0+804	1+540	736

Como puede observarse, dentro de la formación CU-1 se han distinguido dos zonas a su vez para la caracterización geotécnica de los materiales. Esto se describirá con detalle en el punto siguiente.

Para realizar la caracterización de la matriz rocosa de cada formación se cuenta con los resultados de ensayos de laboratorio que se han llevado a cabo, tanto los correspondientes al presente Proyecto como los realizados en el Estudio Informativo.

Los resultados de todos ellos se resumen en tablas en el Apéndice 9.6 junto con un análisis estadístico y la propuesta de los valores representativos para los diferentes parámetros geotécnicos de la roca matriz, que se comenta en los puntos siguientes:

5.1 CU-1, MARGAS, MARGOCALIZAS Y CALCARENITAS

5.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL CU-1

La descripción de esta unidad se recoge con detalle en el Anejo nº5 de Geología y Geotecnia. Hay que señalar como singularidad que se ha tenido en cuenta en la caracterización, la existencia de una zona entre los PKs 0+320 y 0+804 del trazado en la que los materiales detectados son Limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas), la cual también se ha marcado en la planta y perfiles geológico-geotécnicos. A continuación se recoge el análisis y caracterización para esta formación con la dualidad señalada, a partir de los valores de los ensayos de laboratorio realizados, correlaciones empíricas y datos bibliográficos.

5.1.1.1 PARÁMETROS DE LA ROCA MATRIZ FORMACIÓN CU-1, ZONA DE LIMOLITAS (LUTITAS CALCÁREAS CON PASADAS DE ARENISCAS)

Esta zona se ha detectado entre los PKs 0+320 a 0+810 del trazado, justo en el inicio del tramo en túnel en mina (comienza en el PK 0+400), y se ha cortado en los sondeos SM-5, SM-6 y SM-7 realizados en la campaña para el presente Proyecto así como en los sondeos S-8 y S-9 del Estudio Informativo.

Los estudios petrográficos con lámina delgada muestran una composición mineralógica bastante homogénea, por lo que todos los resultados de los sondeos SM-5, SM-6, SM-7, S-8 y S-9 pueden computarse juntos.

Los parámetros geotécnicos de la matriz que se propone considerar para estos materiales son los siguientes:

PARÁMETROS ROCA MATRIZ FORMACIÓN CU-1, zona de Limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas)	
PARÁMETRO	VALOR
Densidad aparente (t/m ³)	2,700
Resistencia a compresión simple (MPa)	20,00
Resistencia a tracción (MPa)	2,50
Módulo de deformación (MPa)	16000
Coefficiente de Poisson	0,300
mi (criterio de rotura de Hoek-Brown)	5,0
Índice Schimazek (kN/m)	0,129
Abrasividad Cerchar	0,8

A continuación se recogen las consideraciones realizadas con respecto a varios de los parámetros:

Resistencia a compresión de la roca matriz, σ_{ci}

En el análisis de los resultados de laboratorio obtenidos (resistencia a compresión simple) se han establecido los siguientes criterios de partida, comunes a todas las formaciones:

- Los correspondientes a una rotura por plano de debilidad especificado en el parte del ensayo.
- Los correspondientes a rotura clara por un plano de debilidad (laminación). Hay casos en los que, aunque no se recoja en el parte del ensayo esta circunstancia, en la testificación del sondeo se ha comprobado que la rotura reseñada coincide con la laminación descrita en dicho tramo. La orientación de la estratificación se refleja en la petrofábrica de la roca a modo de laminación/esquistosidad/bandeado, dando lugar a una cierta anisotropía de orientación oblicua con respecto al eje de las muestras que puede condicionar los resultados obtenidos, desvirtuándolos: los valores más bajos se pueden deber a este aspecto, por lo que no serían representativos de la roca matriz.
- Aquellos valores excepcionalmente altos con relación a los demás obtenidos (pueden corresponder a la existencia de algún clasto de caliza, etc. y no se considera una muestra representativa del conjunto).

En este caso, los valores de resistencia a compresión simple considerados se encuentran principalmente en el rango 11 – 30 MPa. Predominan los valores inferiores a 20 MPa, aunque también se han obtenido varios entre 20 y 30 MPa, y el valor medio es de 18,3 MPa. Se considera que estos resultados no son totalmente representativos de la roca matriz y que la mayoría están condicionados por la laminación que presentan estos materiales, aspecto que parece influir de forma importante el resultado de este ensayo y que también se puede observar en menor medida en las roturas a tracción y en los ensayos triaxiales realizados. Los resultados de RCS obtenidos serán por tanto una cota inferior de la resistencia a compresión simple de la roca matriz, atendiendo a lo siguiente:

- La anisotropía debida a la propia constitución de la roca, que influye en los ensayos de compresión simple proporcionando valores más bajos de lo debido (laminación o esquistosidad subvertical, semiparalela a la dirección de compresión de los ensayos).
- Correlaciones con otros parámetros: considerando la relación entre la resistencia a compresión y la resistencia a tracción reseñada por diversos autores en el rango 1/8 – 1/15, y a la vista de los resultados de la resistencia a tracción (valor de referencia propuesto de 2,50 MPa), la resistencia a compresión debería ser como mínimo de 20 MPa.
- En un primer ajuste de la curva de rotura de Hoek y Brown realizado mediante el programa Roclab con los resultados de los ensayos de compresión simple (los anteriormente citados),

Anejo nº9: Obras
Subterráneas

Página 12

triaxiales y ensayos de tracción, resulta un valor de resistencia a compresión de la roca matriz σ_{ci} de 18 MPa y un valor de la constante m_i de 2,88. Teniendo en cuenta el tipo de roca de que se trata, este último parámetro m_i se encuentra por debajo de lo recogido en bibliografía (valor máximo de $m_i = 9$ para limolitas según Hoek y Brown, rango recogido en Roclab para calizas $m_i = 7 \pm 2$), lo que viene a abundar en la idea de que se trata de un ajuste conservador con respecto a la realidad.

- Referencias bibliográficas: Rahn (1986), Walthan (1999), Obert y Duvall (1967) y Farmer (1968), en las que los valores medios de σ_{ci} se encuentran en los rangos 35 – 250 MPa en Limolitas y 30 - 70 MPa en Lutitas.

Como resultado de lo anterior, se ha propuesto un valor de σ_{ci} de la roca matriz $\sigma_{ci} = 20$ MPa.

Constante de Hoek y Brown, m_i

En el ajuste de Roclab para los valores de resistencia a compresión señalados en el párrafo anterior los ensayos triaxiales y los de resistencia a tracción obtenidos en laboratorio, se obtiene un valor de $m_i = 2,88$. Como ya se ha señalado, este valor es coherente con las referencias bibliográficas, según las que para materiales de este tipo el valor de la constante de Hoek y Brown la constante m_i estaría en el rango 9 ± 2 (limolitas) y 4 (lutitas).

Como valor de partida para la estimación de parámetros del macizo rocoso se adoptará un valor $m_i = 5$.

Módulo de deformación, E_i

En cuanto al módulo de deformación E_i , se observa una gran dispersión en los resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos. Para la estimación de un valor representativo de E_i se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Resultados de los ensayos de laboratorio: Como se ha expuesto, existe una gran heterogeneidad en los resultados obtenidos, entre 6000 y 20000 MPa, aún sin tener en cuenta los valores correspondientes a roturas por discontinuidades, con un valor medio del orden de 11000 MPa.
- Correlaciones con otros parámetros: Considerando la relación entre el módulo de deformación y la resistencia a compresión simple de la roca matriz, $E_i = MR \cdot \sigma_{ci}$, y partiendo del valor propuesto $\sigma_{ci} = 20$ MPa, el valor de E_i queda en función de la variable MR para la que se propusieron valores por parte de Deere (recogidos por Hoek y Diederichs en 2006). Teniendo en cuenta la descripción de los materiales que nos ocupan (ensayos petrográficos) y los valores propuestos para determinados tipos de roca podría considerarse $MR = 800$ y por tanto $E_i = 16000$.

- Valores recogidos en bibliografía: Para este tipo de materiales, podría rondar en el rango 3000 - 22000 MPa.

A la vista de todo lo anterior, se propone como valor de partida $E_i = 16000$ MPa con objeto de dar coherencia a todos los parámetros entre sí (en virtud de las correlaciones citadas), quedando del lado de la seguridad.

Coeficiente de Poisson, ν_i

Para el coeficiente de Poisson se ha propuesto un valor $\nu = 0,300$, coherente con el rango recogido en bibliografía para estos materiales y que coincide con el valor medio obtenido de los ensayos de laboratorio.

Resistencia a tracción, σ_{ti}

Los ensayos de resistencia a tracción presentan un valor medio de 3,37 MPa en el cómputo de todos los ensayos, que presentan valores en el rango 1,55 – 6,07 MPa. Como valor de referencia se considerará el valor $\sigma_{ti} = 2,50$ MPa, más bajo que el medio (del lado de la seguridad) y coherente con el valor de σ_{ci} propuesto.

Abrasividad Cerchar y coeficiente F de Schimazek

Como valores de referencia del índice de abrasividad Cerchar y del coeficiente de Schimazek se han considerado los máximos obtenidos en los ensayos que se han realizado.

5.1.2 PARÁMETROS DE LA ROCA MATRIZ FORMACIÓN CU-1, MARGAS, MARGOCALIZAS Y CALCARENITAS

Estos materiales son atravesados por el túnel en mina a partir del PK 0+804, y se han cortado en los sondeos SM-8, SM-9 y SM-9a de la campaña para el presente Proyecto, en el sondeo y SM-11 de la campaña correspondiente al Proyecto del tramo siguiente Aperribai - Galdakao y en los sondeos S-10, S-4 y S-11 del Estudio Informativo.

Los estudios petrográficos con lámina delgada muestran una composición mineralógica que concuerda con lo descrito en las testificaciones, y es razonable computar juntos los resultados de las muestras de estos sondeos.

Los parámetros geotécnicos de la matriz que se propone considerar para esta formación CU-1 son los siguientes:

PARÁMETROS ROCA MATRIZ FORMACIÓN CU-1, Margas, margocalizas y calcarenitas	
PARÁMETRO	VALOR
Densidad aparente (t/m ³)	2,700
Resistencia a compresión simple (MPa)	25,00
Resistencia a tracción (MPa)	3,00
Módulo de deformación (MPa)	16000
Coefficiente de Poisson	0,300
mi (criterio de rotura de Hoek-Brown)	7,0
Índice Schimazek (kN/m)	0,050
Abrasividad Cerchar	1,50

Estos valores se aplicarán a todo el tramo de CU-1 excepto la zona de Limolitas (en el túnel, entre los PKs 0+400 y 0+804) descrita anteriormente. A continuación se recogen las consideraciones realizadas con respecto a varios de los parámetros:

Resistencia a compresión de la roca matriz, σ_{ci}

En el análisis de los resultados de laboratorio obtenidos (resistencia a compresión simple) se han establecido los siguientes criterios de partida, comunes a todas las formaciones:

- Los correspondientes a una rotura por plano de debilidad especificado en el parte del ensayo.
- Los correspondientes a rotura clara por un plano de debilidad (laminación). Hay casos en los que, aunque no se recoja en el parte del ensayo esta circunstancia, en la testificación del sondeo se ha comprobado que la rotura reseñada coincide con la laminación descrita en dicho tramo. La orientación de la estratificación se refleja en la petrofábrica de la roca a modo de laminación/esquistosidad/bandeado, dando lugar a una cierta anisotropía de orientación oblicua con respecto al eje de las muestras, que condiciona los resultados obtenidos, desvirtuándolos: los valores más bajos se pueden deber a este aspecto, por lo que no serían representativos de la roca matriz.
- Aquellos valores excepcionalmente altos con relación a los demás obtenidos (pueden corresponder a la existencia de algún clasto de caliza, etc. y no se considera una muestra representativa del conjunto).

En este caso, los valores de resistencia a compresión simple obtenidos se encuentran en el rango 12 – 34 MPa, con valor medio de 21 MPa. Se considera que estos resultados no son totalmente representativos de la roca matriz y que la mayoría de los ensayos están condicionados por la laminación que presentan estos materiales, aspecto que parece influir de forma importante el resultado de este ensayo y que también se puede observar en menor medida en las roturas a tracción y en los ensayos triaxiales realizados. Los resultados de RCS obtenidos serán por tanto una cota inferior de la resistencia a compresión simple de la roca matriz atendiendo a lo siguiente:

- La anisotropía debida a la propia constitución de la roca, que influye en los ensayos de compresión simple proporcionando valores más bajos de lo debido (laminación o esquistosidad subvertical, semiparalela a la dirección de compresión de los ensayos).
- Las correlaciones con otros parámetros: por ejemplo, considerando que la relación entre la resistencia a compresión y la resistencia a tracción se encuentra en el rango $1/8 - 1/15$, y a la vista de los resultados de la resistencia a tracción (valor representativo propuesto de 3,0 MPa), la resistencia a compresión debería ser como mínimo de 24 MPa.
- En un primer ajuste de la curva de rotura de Hoek y Brown realizado mediante el programa Roclab con los resultados de los ensayos de compresión simple (los anteriormente citados), triaxiales y ensayos de tracción, resulta un valor de resistencia a compresión de la roca matriz σ_{ci} de 18 MPa y un valor de la constante m_i de 3,51. Teniendo en cuenta el tipo de roca de que se trata, este último parámetro m_i se encuentra por debajo de lo recogido en bibliografía (valor máximo de $m_i = 7$ para calizas margosas según Hoek y Brown, rango recogido en Roclab para margas $m_i = 7 \pm 2$), lo que viene a abundar en la idea de que se trata de un ajuste conservador con respecto a la realidad.
- Referencias bibliográficas: Rahn (1986), Walthan (1999), Obert y Duvall (1967) y Farmer (1968), en las que los valores medios de σ_{ci} se encuentran en los rangos 70 – 140 MPa en Margas y 60 - 200 MPa en Calizas.

Como resultado de lo anterior, se propone un valor de σ_{ci} de la roca matriz $\sigma_{ci} = 25$ MPa.

Constante de Hoek y Brown, m_i

En el ajuste de Roclab para los valores de resistencia a compresión señalados en el párrafo anterior los ensayos triaxiales y los de resistencia a tracción obtenidos en laboratorio, se obtiene un valor de $m_i = 3,5$. Como ya se ha señalado, este valor es coherente con las referencias bibliográficas, según las que para materiales de este tipo el valor de la constante de Hoek y Brown la constante m_i estaría en el rango 7 ± 2 (margas).

Como valor de partida para la estimación de parámetros del macizo rocoso se adoptará un valor $m_i = 7$.

Módulo de deformación, E_i

En cuanto al módulo de deformación E_i , se observa una gran dispersión en los resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos. Para la estimación de un valor representativo de E_i se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Resultados de los ensayos de laboratorio: Como se ha expuesto, existe una gran heterogeneidad en los resultados obtenidos, entre 8000 y 26000 MPa, aún sin tener en cuenta los valores correspondientes a roturas por discontinuidades, con un valor medio del orden de 17000 MPa.
- Correlaciones con otros parámetros: Considerando la relación entre el módulo de deformación y la resistencia a compresión simple de la roca matriz, $E_i = MR \cdot \sigma_{ci}$, y partiendo del valor propuesto $\sigma_{ci} = 25$ MPa, el valor de E_i queda en función de la variable MR para la que se propusieron valores por parte de Deere (recogidos por Hoek y Diederichs en 2006). Teniendo en cuenta la descripción de los materiales que nos ocupan (ensayos petrográficos) y los valores propuestos para determinados tipos de roca podría considerarse en este caso $MR = 600 - 800$ y por tanto $E_i = 15000 - 20000$.
- Valores recogidos en bibliografía: Para este tipo de materiales, podría rondar en el rango 4000 - 34000 MPa.

A la vista de todo lo anterior, se propone como valor de partida $E_i = 16000$ MPa, que es ligeramente más bajo que el valor medio y da coherencia a todos los parámetros entre sí.

Coefficiente de Poisson, ν_i

Para el coeficiente de Poisson se ha propuesto un valor $\nu = 0,300$, coherente con el rango recogido en bibliografía para estos materiales y que coincide con el valor medio obtenido de los ensayos de laboratorio.

Resistencia a tracción, σ_{ti}

Los ensayos de resistencia a tracción presentan un valor medio de 3,88 MPa en el cómputo de los resultados obtenidos, que se encuentran en el rango 2,21 – 5,92 MPa. Como valor de referencia se considerará el valor $\sigma_{ti} = 3,00$ MPa, del lado de la seguridad y coherente con el valor de resistencia a compresión simple propuesto en virtud de la correlación entre ambos señalada anteriormente.

Abrasividad Cerchar y coeficiente F de Schimazek

Como valores de referencia del índice de abrasividad Cerchar y del coeficiente de Schimazek se han considerado los máximos obtenidos en los ensayos que se han realizado.

5.2 AGRESIVIDAD AL HORMIGÓN

Se han analizado varias muestras de testigos de roca y de agua tomadas en los sondeos, con objeto de conocer la potencial agresividad al hormigón.

En el presente tramo Sarratu-Aperribai, los resultados obtenidos en las formaciones que serán afectadas por las obras subterráneas (CU-1 con predominancia de limolitas y CU-1 Margas) muestran que se trata de materiales no agresivos al hormigón según lo recogido en la EHE. Los resultados se recogen en la tabla del Apéndice 9.6 del presente Anejo.

Sin embargo, no ocurre lo mismo con las muestras de agua, cuyos resultados también se adjuntan en el Apéndice 9.6:

- En el sondeo SM-5 realizado al inicio del túnel en mina en Sarratu el agua presenta agresividad débil por CO₂ libre y media por contenido en sulfatos.
- La muestra de agua tomada en el sondeo SM-9, entre Sarratu y Aperribai es no agresiva.
- En el sondeo SM-11 realizado en el entorno de la boquilla de Aperribai 2, el agua presenta agresividad débil por sulfatos.

A la vista de estos resultados, y teniendo en cuenta las especificaciones y recomendaciones de la EHE, se considera recomendable emplear hormigón de resistencia característica 30 MPa en el sostenimiento y revestimiento de las obras subterráneas. En cuanto a la utilización de cemento sulforresistente, prescrito en los casos de agresividad media por sulfatos, se recomienda realizar comprobaciones periódicas de la agresividad en obra para limitar a zonas puntuales su uso.

6. CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO

A continuación se enumeran y describen las características geotécnicas de las familias de juntas observadas en los afloramientos existentes (reflejados en los puntos de observación y estaciones geomecánicas) y en los sondeos realizados.

6.1 CONTINUIDAD O PERSISTENCIA

Este aspecto es determinante para la geometría y dimensiones de las cuñas inestables que pueden formarse a lo largo de un túnel, y por lo tanto adoptar valores de continuidad en estratificación/esquistosidad y diaclasas o juntas para su empleo en cálculo de estabilidad requiere un análisis detallado.

Después de analizar todos los trabajos de campo, se ha observado que la mayoría de las juntas (a excepción de la estratificación), tienen una persistencia media <1 m o bien entre 1 y 3 m (de manera puntual se ha observado alguna familia con una persistencia entre 3 y 10 m). En el caso de la estratificación, su persistencia puede llegar a ser mucho mayor de 10 m.

Por tanto, para estar del lado de la seguridad y dado que los afloramientos en ocasiones no son de mucha entidad, se han aumentado estos valores en los cálculos de estabilidad de cuñas, tomando una persistencia máxima de 20 metros para la estratificación y de 8 metros para el resto de juntas.

6.2 FRICCIÓN Y COHESIÓN

Se han realizado varios ensayos de corte en juntas sobre muestras tomadas de los testigos de los sondeos que proporcionan los siguientes datos sobre la fricción y cohesión de las discontinuidades del macizo rocoso:

FORMACIÓN	SONDEO	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE PICO		PARÁMETROS RESIDUALES	
				c' (kp/cm ²)	φ' (°)	c' (kp/cm ²)	φ' (°)
CU-1	SM-4	10,80 - 11,00	Alternancia de margas, calcarenitas y margocalizas G:II-III	5,71	40,03	4,02	33,47
		17,50-17,60	Alternancia de margas, calcarenitas y margocalizas G:II-III	2,93	43,4	0,1	37,55
		17,80-17,90	Alternancia de margas, calcarenitas y margocalizas G:II-III	2,15	40,81	0,53	45,73
CU-1	SM-5	11,80 - 12,00	Lutitas calcáreas con intercalaciones cm de areniscas G:II	6,93	25,09	0,69	30,95
		20,60 - 20,80	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca G:I-II	0,96	40,19	0,5	36,63
		23,50 - 23,70	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca G:I-II	2,36	39,69	1,34	34,88

6.2.1 FRICCIÓN

Solamente se tienen en cuenta los parámetros residuales, para estar del lado de la seguridad, observándose que todos los resultados de fricción están por encima de los 30°, independientemente de la formación analizada.

A la vista de los resultados anteriores, teniendo en cuenta varias referencias bibliográficas y observando “in situ” que muchas de las juntas son lisas y pulidas, se ha adoptado por minorar los rangos de resultados obtenidos en los ensayos, de forma que para el cálculo de estabilidad de bloques en obra subterránea se consideran:

- Fricción $\phi_r = 25^\circ$ So
- Fricción $\phi_r = 28^\circ$ Juntas

6.2.2 COHESIÓN

Por otro lado, el valor de la cohesión se desprecia en los cálculos. Este hecho responde a la idea de considerar la existencia de bloques sueltos, que son los que resultan potencialmente inestables. La cohesión presente en los planos de debilidad, es precisamente la responsable de que en este tipo de proyectos, las inestabilidades potenciales sean de cuñas y no de todo el túnel. Por este motivo, la hipótesis de cohesión nula es conservadora y habitual.

7. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

En los apartados anteriores se han descrito las características y parámetros representativos de la matriz rocosa y de las discontinuidades detectadas en la misma. El sistema matriz rocosa más discontinuidades es lo que se denomina macizo rocoso, y su conocimiento y caracterización es fundamental para estimar el comportamiento del terreno frente a la excavación y sostenimiento de un túnel.

El estudio de las características del macizo tiene como puntos de partida fundamentales las características de la propia roca matriz y la calidad del macizo (que puede cuantificarse mediante diversos índices de calidad, y que es función principalmente de la fracturación, el estado de las familias de juntas, la presencia de agua, etc.).

A continuación se analiza la calidad del macizo rocoso en el caso que nos ocupa a partir de los datos de campo disponibles y se estiman también los parámetros tensodeformacionales que lo caracterizan para cada formación.

7.1 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

Las clasificaciones geomecánicas pueden definirse como algoritmos aritméticos que asignan al macizo rocoso un índice numérico que cuantifica su calidad en función de una serie de parámetros. Son una herramienta de gran utilidad durante el proyecto y la construcción de las obras subterráneas.

Desde su aparición en los años 60, todas las clasificaciones geomecánicas han proporcionado en mayor o menor medida ciertos criterios sobre el tipo de sostenimiento que puede emplearse en las excavaciones subterráneas.

Aunque en los últimos años se ha puesto de manifiesto que las clasificaciones geomecánicas deben emplearse básicamente para clasificar el terreno, es posible obtener a partir de ellas una definición previa de los sostenimientos a emplear en un túnel y, en la fase de obra para comprobar su coincidencia con las situaciones previstas y las soluciones planteadas.

Existen numerosas clasificaciones geomecánicas, si bien hoy en día se emplean para túneles básicamente dos sistemas: el de Bieniawski o RMR, y el de Barton o sistema Q.

7.1.1 CLASIFICACIÓN Q DE BARTON

La clasificación geomecánica Q, o de Barton, se desarrolló en Noruega por Barton, Lien y Lunde en 1974. Es un método empírico en el que se tienen en cuenta el RQD, el número y condiciones de las discontinuidades existentes en el macizo rocoso y el estado tensional del mismo.

El valor de Q, que oscila entre 0,001 para terrenos muy malos y 1000 para terrenos muy buenos, se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_n} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Siendo

RQD el valor del RQD expresado en tanto por ciento y con un valor mínimo de 10.

J_n un parámetro que depende del número de familias de juntas presente en la masa rocosa.

J_r un parámetro que depende de la rugosidad de las juntas

J_n un parámetro que depende de la meteorización de las juntas

J_w un parámetro que depende de la presencia de agua y de su presión

SRF un parámetro que depende del estado tensional del macizo en relación con la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa y también de la existencia de juntas abiertas o sin relleno en las cercanías de la superficie.

En función del valor de Q se establecen rangos que clasifican la roca desde excepcionalmente mala hasta excepcionalmente buena.

Q	Clase de roca
400 – 1000	Excepcionalmente buena
100 – 400	Extremadamente buena
40 – 100	Muy buena
10 – 40	Buena
4 – 10	Normal
1 – 4	Mala
0.1 – 1	Muy mala
0.01 – 0.1	Extremadamente mala
0.001 – 0.01	Excepcionalmente mala

Existen correlaciones empíricas con el índice RMR, siendo una de las más conocidas la propuesta por Barton: $RMR = 50 + 15 \cdot \log Q$. La clasificación de Barton es más amplia y precisa para macizos rocosos de calidad excepcional (tanto mala como buena).

7.1.2 CLASIFICACIÓN RMR DE BIENIAWSKI

Bieniawski desarrolló un sistema de clasificación de macizos rocosos que ha sufrido diversas actualizaciones a lo largo del tiempo, empleándose actualmente la de 1989. El índice numérico del RMR básico es independiente de la estructura a construir y se obtiene de la suma de cinco parámetros:

- Resistencia a compresión simple
- RQD o calidad del macizo rocoso
- Frecuencia de las juntas
- Estado de las juntas
- Agua en el macizo rocoso

A este valor se le resta un factor de ajuste que depende de la orientación de las discontinuidades en relación con la obra a realizar y que varía en función de que se trate de túnel, desmonte o cimentación.

El resultado es el índice final RMR, que varía entre 0 y 100. Los macizos rocosos se clasifican en cinco grupos en función de este valor.

RMR	CLASE	DESCRIPCIÓN
100 – 81	I	Muy buena
61 – 80	II	Buena
41 – 60	III	Media
21 – 40	IV	Mala
0 - 20	V	Muy mala

La Clasificación Geomecánica de Bieniawski se desarrolló para túneles de menor diámetro que el proyectado y los rangos de calidad para cada sostenimiento tipo son más reducidos que los equivalentes según el índice Q, pudiendo surgir en obra frecuentemente situaciones de frontera entre dos de ellos. Teniendo en cuenta que la determinación del índice RMR es más intuitiva y puede servir como primera referencia, será el que se considere en el presente Proyecto.

7.1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES OBTENIDOS EN LOS SONDEOS

Para la caracterización geomecánica del macizo rocoso afectado por las obras subterráneas proyectadas se ha contado con la información que proporcionan los sondeos mecánicos realizados, en cada uno de los cuales se ha obtenido el valor del índice RMR a lo largo de los tramos perforados en roca.

Este índice, correspondiente a la clasificación geomecánica de Bieniawski descrita anteriormente, permite estimar la calidad de la roca atravesada y se recoge desglosado en los diferentes parámetros o aspectos tenidos en cuenta para su determinación en las tablas adjuntadas en el Apéndice 9.5. Como puede observarse, los sondeos atraviesan zonas con diferente calidad, grado de alteración, resistencia y tipo de juntas; por ello se han diferenciado franjas con valores de RMR específicos en cada caso, que ayudan a conocer con detalle la calidad del macizo rocoso atravesado. Los valores obtenidos se han tratado estadísticamente con objeto de conocer el porcentaje de cada rango de calidad atravesado, que se refleja también en un histograma de frecuencias.

Para este análisis se ha considerado el valor del RMR básico sin tener en cuenta la corrección por orientación de la excavación con respecto a la estratificación.

El índice RMR se toma como referencia para establecer los diferentes sostenimientos a aplicar, según los siguientes rangos:

- RMR>70
- 55<RMR<70
- 45<RMR<55
- 20<RMR<45
- 10<RMR<20

A continuación se resumen los % correspondientes estos rangos de RMR en cada sondeo, especificando a qué formación y dominio corresponden:

FORMACIÓN	DOMINIO	SONDEO	% 10<RMR<20	% 20<RMR<45	% 45<RMR<55	% 55<RMR<70	% 70<RMR
CU-1	Dominio 4	SM-5	0,0	0,0	27,1	0,0	72,9
		SM-6	7,0	23,0	43,0	13,0	14,0
		SM-7	5,3	6,4	57,8	6,4	24,0
	Dominio 5	SM-8	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
	Dominio 6	SM-9a	0,0	3,0	45,2	0,0	51,8
CU-1	Dominio 7	SM-11	0,0	0,0	0,0	37,0	63,0

El sondeo SM-8a se realizó con objeto de comprobar la cobertera de roca en una zona de paso bajo la carretera N-634, no se incluye en el cómputo de calidades de su dominio correspondiente (quedando del lado de la seguridad).

Los porcentajes se refieren en cada caso al tramo perforado en roca de cada sondeo (desechando la zona superior que pudiera estar afectada por la decompresión del macizo).

7.1.4 TRAMIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO A LO LARGO DEL TÚNEL

A partir de los datos estimados en los sondeos, se ha realizado la tramificación de calidad del macizo a lo largo de los tramos de túnel en mina. Hay que señalar que se trata de una mera estimación con objeto de conseguir una idea global de la calidad del macizo a lo largo del trazado, que permita también realizar unas mediciones más o menos realistas y poder obtener el presupuesto de las unidades correspondientes. La calidad real del macizo sólo podrá conocerse a medida que se excave el túnel, y los sostenimientos a aplicar se confirmarán o modificarán en cada pase en función de lo realmente observado.

Los % de calidad correspondientes a cada sondeo se consideran datos de observación directa y se aplican en una zona en el entorno del sondeo, cuyo alcance se estima proyectando el tramo de sondeo tenido en cuenta en el cómputo de % de calidad sobre la rasante, según la estratificación del dominio correspondiente.

En los tramos intermedios, para los que no se dispone de datos de observación directa, se ha asignado un % de calidades que es en cada caso la media de los % de los sondeos que se encuentran en ese dominio. Por otra parte, en los dominios en los que no se ha realizado ningún sondeo se ha estimado la calidad extrapolando los % de calidades del dominio cercano que por litología y demás datos se considere más análogo.

Finalmente, se considera que las zonas singulares como fallas o contactos mecánicos tendrán calidad muy mala ($10 < \text{RMR} < 20$ e incluso $\text{RMR} < 10$) y prevalecerán sobre las calidades estimadas en los sondeos cercanos, lo que puede condicionar en algunos casos el alcance del tramo de observación directa.

En la tabla siguiente se recogen los % de calidad estimados para cada dominio según lo señalado en el párrafo anterior. En ellos quedarán intercalados los tramos en los que se aplican los % de calidad para cada sondeo y su zona de influencia estimada y los tramos de falla o contacto mecánico.

DOMINIO	% 10<RMR<20	% 20<RMR<45	% 45<RMR<55	% 55<RMR<70	% 70<RMR	COMENTARIOS
Dominio 4	4,7	10,8	45,8	7,3	31,4	Se aplican los % de cada sondeo en su tramo de proyección y en el resto del dominio la media obtenida a partir de los tres sondeos realizados en el mismo
Dominio 5	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	Sólo hay un sondeo en todo el dominio. Se aplican los % de calidad de dicho sondeo a todo el dominio porque se trata de materiales bastante homogéneos
Dominio 6	0,0	3,0	45,2	0,0	51,8	Sólo hay un sondeo en todo el dominio. Se aplican los % de calidad de dicho sondeo a todo el dominio porque se trata de materiales bastante homogéneos
Dominio 7	0,0	0,0	0,0	37,0	63,0	Sólo hay un sondeo en todo el dominio. Se aplican los % de calidad de dicho sondeo a todo el dominio porque se trata de materiales bastante homogéneos

La tramificación del túnel en función de los diferentes rangos de calidad, de acuerdo con la metodología expuesta, se recoge en la guitarra del perfil geológico-geotécnico del túnel que se adjunta en el Apéndice 9.3.

7.2 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO

Un macizo rocoso es un medio heterogéneo y discontinuo, cuyas propiedades mecánicas y resistentes no pueden ser medidas en laboratorio y deben obtenerse in situ. La diferencia entre los valores de laboratorio y los medidos in situ es muy apreciable, siendo estos últimos más bajos que los de laboratorio. A esta diferencia se la conoce como efecto escala.

La justificación de este efecto radica en la diferencia entre la escala a la que se investiga en laboratorio y a la que posteriormente se ejecutan las obras de ingeniería subterránea. En laboratorio se ensayan probetas que por lo general tienen algunas decenas de centímetros de tamaño y que generalmente están exentas de defectos y discontinuidades. Sin embargo, a la escala de un túnel (varias decenas de metros) la presencia de fracturas y zonas alteradas rebaja el valor de las propiedades geotécnicas del terreno.

Las propiedades geotécnicas del macizo rocoso que más influidas están por el efecto escala son el módulo de deformación y la resistencia a compresión simple. Para valorar estos aspectos existen una serie de correlaciones y aproximaciones empíricas basadas generalmente en las clasificaciones geomecánicas y en datos de la roca matriz, obtenidos de los ensayos de laboratorio, como se verá en los apartados siguientes. También se cuenta, en el caso del módulo de deformación, con resultados de los ensayos in situ realizados.

En los apartados siguientes se analizan los datos disponibles y se estiman los parámetros deformacionales y resistentes representativos de cada formación para diferentes calidades del macizo rocoso. También se establecerán los parámetros que se tendrán en cuenta en los cálculos de comprobación de los sostenimientos tipo.

7.2.1 PARÁMETROS DEFORMACIONALES

Para la estimación del módulo de deformación del macizo rocoso se han tenido en cuenta los datos disponibles (parámetros de la roca matriz propuestos a partir de los ensayos de laboratorio como se recoge en el Capítulo 5, resultados de los ensayos in situ realizados durante la ejecución de los sondeos, clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso), así como diversos criterios empíricos o correlaciones entre el macizo rocoso y otros parámetros.

7.2.1.1 ENSAYOS IN SITU PARA LA DETERMINACIÓN DE EM

El módulo de deformación puede estimarse de forma directa mediante la realización de ensayos in situ. En este caso se han llevado a cabo ensayos presiodilatométricos, que consisten en introducir una sonda en el terreno (en la perforación practicada con el sondeo), la cual aplica una presión al mismo y mide la deformación inducida. El resultado es una curva carga-desplazamiento en la que se distinguen las diferentes etapas del ensayo (adaptación de la camisa, deformación elástica, así como el/los ciclos de carga y descarga, deformación plástica y rotura del terreno).

A partir de los datos del ensayo puede estimarse el módulo de deformación cortante del terreno, G , y a partir de éste el módulo dilatométrico E considerando un determinado valor del coeficiente de Poisson, ν :

$$E = 2 \cdot G \cdot (1 + \nu)$$

Los ensayos dilatométricos son capaces de medir tanto el módulo en carga como en descarga, mientras que el presiodilatómetro sólo lo mide en carga, siendo necesaria una corrección para obtener el módulo de descarga. En túneles es conveniente considerar el módulo en descarga puesto que el comportamiento del macizo rocoso ante la excavación del tubo es de descarga hacia el interior de la misma. Hay diversos autores que han desarrollado este aspecto, aunque ninguna de las correlaciones se ha contrastado suficientemente. En cualquier caso, parece razonable

considerar que para los índices de calidad del macizo rocoso que nos encontramos en este caso la relación entre el módulo de descarga y el módulo de carga puede encontrarse en el rango 1,2 a 2 (se ha tomado como referencia la relación propuesta por Berardi, cuya gráfica se adjunta en el Apéndice 9.7).

Por otra parte, es importante tener en cuenta el efecto escala en el macizo rocoso y la influencia que tiene en el módulo de deformación. Los resultados obtenidos en los presiodilatómetros realizados son representativos del terreno con igual calidad geotécnica al ensayado, es decir, el valor del módulo dilatométrico (E) se correspondería con el módulo de deformación del macizo rocoso (Em) con la calidad geotécnica del tramo en el que se ha realizado el ensayo.

En el Anejo nº5 de Geología y Geotecnia se adjuntan los partes de los ensayos presiodilatométricos realizados. Por otra parte, en el Apéndice 9.7 del presente Anejo se recogen los datos obtenidos a partir de la interpretación de los mismos, junto con otros valores estimados de Em (módulo de deformación del macizo rocoso) en función de los diferentes métodos.

La siguiente tabla resumen muestra los resultados obtenidos en los ensayos presiodilatométricos realizados en la campaña correspondiente al presente Proyecto de Construcción, especificando la formación, sondeo y profundidad del ensayo, así como la calidad del macizo rocoso a dicha cota (índice RMR). También se recoge el módulo de deformación cortante del terreno y el coeficiente de Poisson estimado a partir de los ensayos de laboratorio que se considera en cada caso para obtener el módulo de dilatométrico tanto en carga como en descarga según lo anteriormente expuesto:

FORMACIÓN	ENSAYO		RMR	ν	G (MPa)	Edil carga (MPa)	Edil descarga (MPa)
	SONDEO	PROFUNDIDAD					
CU-1	SM-4	16,50 – 17,50	35	0,3	4,80	12,49	23,73
	SM-6	14,00 – 15,20	49	0,3	596,83	1551,76	2529,36
	SM-7	20,00 – 21,00	45	0,3	1056,27	2743,30	4668,71
	SM-9a	16,10 – 16,70	57	0,25	759,02	1897,55	4668,71
	SM-11	20,40 – 21,00	65	0,25	161,84	404,60	578,58

En el Apéndice 9.7 se recogen también los resultados de los ensayos presiodilatométricos que se han realizado en campañas anteriores (Estudio Informativo) y que se han tenido en cuenta.

7.2.1.2 CORRELACIONES EMPÍRICAS ENTRE EM Y LAS CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

Son numerosas las aproximaciones empíricas entre el módulo de deformación del macizo rocoso y las clasificaciones geomecánicas. A continuación se recogen las más utilizadas:

- Correlación de Barton (2002):

Barton (2002) estableció una relación entre el índice Q y el módulo de deformación del macizo rocoso:

$$E_Q (GPa) = 10 \cdot \left(Q \cdot \frac{\sigma_c}{100} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde σ_c es la resistencia a compresión simple de la roca intacta

- Correlación de Bieniawski (1978)

La correlación de Bieniawski es aplicable para casos en los que el RMR es superior a 50 ($RMR > 50$) y proporciona el módulo de deformación del macizo a partir del índice RMR:

$$E (GPa) = 2 \cdot RMR - 100$$

- Correlación de Serafim i Pereira (1983):

Este criterio es aplicable para casos con $RMR < 50$ y $E = 1-10$ GPa:

$$E (GPa) = 10^{\frac{RMR-10}{40}}$$

- Correlación de Hoek (1995):

Finalmente, Hoek ha establecido la relación entre el módulo de deformación del macizo con el índice GSI, aplicable fundamentalmente a macizos rocosos de calidad baja y con $\sigma_{ci} < 100$ MPa:

$$E = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}}$$

Donde σ_{ci} es la resistencia a compresión simple de la roca intacta.

Todos estos criterios o correlaciones son aproximados y la experiencia ha demostrado que en ocasiones pueden proporcionar valores más altos que los reales, por lo que deben tomarse con cautela y ser considerados junto con otros datos y métodos de valoración.

En este caso particular se han analizado los resultados obtenidos para cada criterio de los anteriores, observándose que la correlación de Bieniawski proporciona valores de E_m muy

Anejo nº9: Obras
Subterráneas

Página 30

superiores a las restantes, por lo que se ha desestimado. Teniendo en cuenta que se trata de criterios basados en datos empíricos y siguiendo la recomendación de considerar un rango de variación de 0,4 a 1,6 del valor de E_m estimado en la correlación, resulta que el criterio de Hoek es ligeramente más conservador que la correlación de Barton. Por otra parte, los resultados obtenidos en los ensayos de campo para la formación CU-1 se encuentran en el rango $0,4 \cdot E_m - 1,6 \cdot E_m$ resultante de la correlación de Hoek exceptuando dos resultados no representativos.

En el Apéndice 9.7 se recogen las representaciones gráficas para cada formación de las correlaciones empíricas y los resultados de los ensayos presiométricos, así como una tabla resumen con los valores de E_m estimados a partir de cada aproximación empírica.

7.2.1.3 CORRELACIONES EMPÍRICAS ENTRE E_m Y E_i

Además de los criterios anteriores, se ha establecido también el denominado Factor de reducción, que relaciona el módulo del macizo rocoso obtenido en ensayos in situ y el módulo de la matriz rocosa obtenido en ensayos de laboratorio.

Según Bieniawski, los módulos de deformación determinados in situ resultan ser entre 0,2 y 0,6 veces el valor medio de los medidos en laboratorio para la matriz rocosa:

$$E_{insitu} = 0,2a0,6 \cdot E_i$$

Por otra parte, Heuze (1980) estimó que la relación entre ambos parámetros es del orden de 2,5:

$$\frac{E_i}{E_{insitu}} = 2,5$$

Estas estimaciones son, como en el caso anterior, aproximadas y orientativas, y se recogen en una tabla del Apéndice 9.7.

7.2.1.4 ESTIMACIONES DE E_m MEDIANTE ROCLAB Y COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS DE CAMPO

El programa RocLab permite estimar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, como se verá más adelante, basado en el criterio de rotura de Hoek-Brown. Uno de los parámetros adicionales que calcula es el módulo de deformación del macizo rocoso, en función del índice de resistencia geológica (GSI) y el factor de perturbación (D) que tiene en cuenta la influencia de la excavación del túnel en el macizo (se ha considerado un valor $D = 0$).

En este caso, se han estimado los valores de E_m para cada formación y rangos de calidad, asumiendo que el valor de GSI coincide aproximadamente con el RMR en esta ocasión.

En la siguiente tabla se recogen los valores de Em obtenidos con RocLab junto con el rango aproximado de valores obtenidos en los ensayos in situ anteriormente descritos:

FORMACIÓN	GSI	Em (MPa) RocLab	Em (MPa) In situ
CU-1 Lutitas	70	11725	-
	55	6532	-
	45	3578	2500 - 4700
	20	730	-
	10	488	-
CU-1 Margas	70	11725	601*
	55	6532	3000
	45	3578	2300
	20	730	-
	10	488	-

Los resultados de Em in situ marcados con un asterisco * no se consideran representativos.

Los valores obtenidos en RocLab en relación con los resultados de los ensayos in situ son coherentes en general:

En la formación CU-1 con predominancia de Lutitas se han obtenido en campo valores de 2500 – 4700 MPa (eliminando uno de 23 MPa excepcionalmente bajo y no representativo), para zonas con GSI = 45 – 50. En RocLab, para estos materiales y con las hipótesis y parámetros de la roca matriz considerados, el valor de Em es del orden de 3600 MPa, lo que concuerda con los resultados de Em en los presiómetros.

En la formación CU-1 con predominancia de Margas se ha obtenido un valor de Em en presiómetro del orden de 2300 MPa para GSI de 40, cuando en RocLab el valor de Em resultante para GSI de 45 es de 3500 MPa: superior al valor de campo pero del mismo orden de magnitud. El valor de 3000 MPa obtenido en un presiómetro correspondiente a un tramo de GSI = 57 es por otra parte inferior al valor de Em estimado en RocLab de 6500 MPa, pero del orden de magnitud. No se ha considerado representativo el resultado del ensayo obtenido en un tramo de GSI = 65 de 600 MPa.

En conclusión, con carácter general se observa una concordancia entre los resultados obtenidos en los ensayos presiodilatométricos y las estimaciones realizadas con RocLab a partir de los parámetros de la roca matriz propuestos para cada formación y demás hipótesis realizadas.

En el Apéndice 9.7 se incluye una tabla resumen de los valores de los diferentes parámetros del macizo rocoso estimados mediante RocLab, entre ellos el valor de Em.

7.2.1.5 VALORES DE EM PROPUESTOS PARA LOS CÁLCULOS

En el Apéndice 9.7 se recoge una tabla que recopila los valores del módulo de deformación del macizo rocoso estimados a partir de las correlaciones y aproximaciones empíricas, expresión de Hoek-Brown y ensayos in situ, para cada formación.

Tal y como se ha señalado en el punto anterior, parece existir una buena correlación entre los ensayos realizados en campo y las estimaciones realizadas mediante RocLab en cuanto al módulo de deformación. Se tomarán como referencia por tanto las estimaciones realizadas mediante RocLab de Em para cada formación y rango de calidad del macizo (considerando en cada caso el RMR más bajo de cada intervalo).

En la tabla siguiente se recogen los valores de los módulos de deformación del macizo rocoso para cada uno de los cinco rangos de calidad considerados para la definición de los sostenimientos, en todas las formaciones. Son, como se ha expuesto, sensiblemente similares a los resultantes en RocLab, con un pequeño redondeo:

FORMACIÓN	GSI	Em (MPa) para cálculos
CU-1 Lutitas	70	11700
	55	6500
	45	3500
	20	730
	10	490
CU-1 Margas	70	11700
	55	6500
	45	3500
	20	730
	10	490

7.2.2 PARÁMETROS RESISTENTES

La resistencia a compresión del macizo rocoso puede estimarse también mediante diversos criterios. Uno de ellos es el propuesto por Hoek y Marinos (2000):

$$\sigma_{cm} = 0,0034 \cdot m_i^{0,8} \cdot \sigma_c \cdot (1,029 + 0,025 \cdot e^{-0,1m_i})^{GSI}$$

Donde

σ_c es la resistencia a compresión simple de la roca matriz

m_i es la constante del criterio de rotura de Hoek-Brown

También se ha obtenido el valor de este parámetro en el programa RocLab, que aplica la formulación propuesta por Hoek para estimar la resistencia a compresión del macizo rocoso en función del índice de calidad GSI.

$$\sigma_{cm} = \sigma_c \cdot s^a$$

Donde

σ_c es la resistencia a compresión simple de la roca matriz

s y a son las constantes del macizo rocoso del criterio de rotura de Hoek-Brown

En la tabla siguiente se recogen los resultados obtenidos según cada uno de los dos criterios, para cada formación y rango de calidad del macizo rocoso. Como puede observarse, es considerablemente más conservador el segundo de ellos.

FORMACIÓN	RMR	σ_{cm} (MPa) Hoek y Marinos	σ_{cm} (MPa) Hoek(RocLab)
CU-1 Lutitas	>70	5,075	3,760
	55 – 70	2,654	1,609
	45 – 55	1,723	0,897
	20 - 45	0,585	0,159
	10 - 20	0,380	0,057
CU-1 Margas	>70	6,905	4,701
	55 – 70	3,757	2,011
	45 – 55	2,504	1,121
	20 - 45	0,908	0,199
	10 - 20	0,605	0,072

7.2.3 PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL ANÁLISIS TENSODEFORMACIONAL

A continuación se recogen los parámetros del macizo rocoso que se considerarán en el análisis tensodeformacional:

FORMACIÓN	CALIDAD, RMR	Em (MPa)	C. ROTURA HOEK-BROWN			MOHR-COULOMB	
			mb	s	a	c' (MPa)	ϕ' (°)
CU-1 Lutitas	55 – 70	6500	1,002	0,00670	0,504	0,300	46,50
	45 – 55	3500	0,701	0,00220	0,508	0,185	44,50
	20 - 45	730	0,287	0,00010	0,544	0,070	36,00
	10 - 20	490	0,201	0,00005	0,585	0,040	29,00
CU-1 Margas	55 – 70	6500	1,403	0,0067	0,504	0,360	49,00
	45 – 55	3500	0,982	0,0022	0,508	0,240	46,50
	20 - 45	730	0,402	0,0001	0,544	0,100	38,00
	10 - 20	490	0,201	0,00005	0,585	0,650	31,50

No se recogen los parámetros correspondientes a RMR>70 (ST-I) ya que este caso no se comprobará mediante este método sino mediante cálculos estabilidad de bloques.

Debido a que la mayoría del software geotécnico está planteado en términos del criterio de rotura de Mohr-Coulomb, es necesario determinar el ángulo de rozamiento y la cohesión equivalentes para cada calidad del macizo rocoso. Esto se realiza ajustando una relación media lineal a la curva generada al resolver la ecuación del criterio de rotura de Hoek-Brown para un rango de tensión principal normal en el que se encuentra el macizo analizado. El proceso de ajuste consiste en un balance de las áreas por encima y por debajo de la curva de Mohr-Coulomb, de donde resultan las expresiones para c' y ϕ' equivalentes. Este ajuste se realiza mediante el programa Roclab y los resultados obtenidos para los casos que nos ocupan (considerando el nivel máximo de tensiones para cada formación) son los que se recogen en la tabla anterior.

8. DEFINICIÓN DEL SOSTENIMIENTO Y DEL REVESTIMIENTO

8.1 SOSTENIMIENTOS TIPO

Los sostenimientos tipo son los definidos por ETS en base al RMR del macizo rocoso. Los túneles de línea pertenecen al Grupo 3 (excavaciones con diámetro equivalente entre 7 y 10 m), al igual que las galerías de ventilación de emergencia/salida peatonal de emergencia de túnel. En este tramo no se han proyectado cavernas de estación en mina, por lo que no hay obras subterráneas del Grupo 4 (excavaciones con diámetro equivalente superior a 10 m). Tampoco se han previsto en este tramo obras subterráneas pertenecientes al Grupo 1 (excavaciones con diámetro equivalente menor de 4 m) ni al Grupo 2 (excavaciones con diámetro equivalente entre 4 y 7 m).

En el Apéndice 9.4 se recogen los planos de los sostenimientos tipo correspondientes al Grupo 3. No se incluyen planos de tratamiento en boquillas, los cuales pueden consultarse en el Documento nº2 (plano 9.5 Boquillas y emboquilles).

En la siguiente tabla se recogen los sostenimientos tipo para cada uno de los Grupos citados. Aquellos que no están presentes en este tramo se han grafiado en color gris.

	Terreno Tipo I RMR > 70	Terreno Tipo II 70 < RMR < 55	Terreno Tipo III 55 < RMR < 45	Terreno Tipo IV 45 < RMR < 20	Terreno Tipo V 20 < RMR < 10
Grupo 1	Obras subterráneas del Grupo 1 ejecutadas mediante la técnica de Raise Boring: Hormigón proyectado E=3 cm HP-30				
		Hormigón proyectado e=6 cm, armado con fibra, HPF-30. Bulones swellex Mn16 L = 3,0 m, SxD = 2x2 m Pase en avance: 2,5 – 3,0 m Excavación a sección completa	Hormigón proyectado e=8 cm HMP-30, armado con mallazo#4x150x150. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 3,0 m, SxD = 1,5x1,5 m Pase en avance: 2,0 – 2,5 m Excavación a sección completa	Hormigón proyectado e=11 cm HMP-30 armado con mallazo 2#4x150x150. Cerchas TH-21 c/1,0 m. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 3,0 m, SxD = 1,0x1,0 m Pase en avance: 1,5 m Excavación por fases: avance + destroza	Hormigón proyectado e=15 cm HMP-30, armado con mallazo 2#4x150x150. Cercha HEB-140 c/1,0 m o chapa Bernold. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 3,0 m, SxD = 1,0x1,0 m Pase en avance: 1,0 m Excavación por fases: avance + destroza
Grupo 2	Hormigón proyectado e= 5 cm HPF-30. Bulones swellex Mn16 L = 3,0 m, SxD = 2x2 m Pase en avance: 4,0 m Excavación a sección completa	Hormigón proyectado e=8 cm, armado con fibra, HPF-30. Bulones swellex Mn16 L = 3,0 m, SxD = 2x2 m Pase en avance: 2,5 – 3,0 m Excavación a sección completa	Hormigón proyectado e=10 cm HMP-30, armado con mallazo#6x150x150. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 3,0 m, SxD = 1,5x1,5 m Pase en avance: 2,0 – 2,5 m Excavación a sección completa	Hormigón proyectado e=13 cm HMP-30 armado con mallazo 2#6x150x150. Cerchas TH-21 c/1,0 m. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 3,0 m, SxD = 1,0x1,0 m Pase en avance: 1,5 m Excavación por fases: avance + destroza	Hormigón proyectado e=20 cm HMP-30, armado con mallazo 2#6x150x150. Cercha HEB-140 c/1,0 m o chapa Bernold. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 3,0 m, SxD = 1,0x1,0 m Pase en avance: 1,0 m Excavación por fases: avance + destroza
	Hormigón proyectado e=5 cm armado con fibra, HPF-30. Bulones swellex Mn16 L = 3,0 m, SxD = 2x2 m Pase en avance: 4,0 m Excavación por fases: avance + destroza	Hormigón proyectado e=10 cm, armado con fibra, HPF-30. Bulones swellex Mn24 L = 4,0 m, SxD = 2x2 m Pase en avance: 2,5 m Excavación por fases: avance + destroza	Hormigón proyectado e=12 cm HMP-30, armado con mallazo#6x150x150. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 4,0 m, SxD = 1,5x1,5 m Pase en avance: 2,0 m Excavación por fases: avance + destroza	Hormigón proyectado e=18 cm HMP-30 armado con mallazo 2#6x150x150. Cerchas TH-21 c/1,0 m. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 4,0 m, SxD = 1,0x1,0 m Pase en avance: 1,5 m Excavación por fases: avance + destroza	Hormigón proyectado e=30 cm HMP-30, armado con mallazo 2#6x150x150. Cerchas HEB-180 c/1,0 m Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 4,0 m, SxD = 1,0x1,0 m Pase en avance: 1,0 m Excavación por fases: avance + destroza
Grupo 4		Hormigón proyectado e=17 cm HPF-30 armado con mallazo 2#6x150x150. Cerchas TH-29 c/2,0 m. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 6,0 m, SxD = 2x2 m Pase en avance: 2,5 m Excavación por fases: Galería de avance+laterales+destroza por fases	Hormigón proyectado e=20 cm HMP-30, armado con mallazo2#6x150x150. Cerchas TH-29 c/1,5 m. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 6,0 m SxD = 1,5x1,5 m Pase en avance: 2,0 m Excavación por fases: Galería de avance+laterales+destroza por fases	Hormigón proyectado e=25 cm HMP-30 armado con mallazo 2#6x150x150. Cerchas TH-29 c/1,0 m. Bulones anclados con resina ϕ 25 B-500S, L = 6,0 m SxD = 1,0x1,0 m Pase en avance: 1,5 m Excavación por fases: Galería de avance+laterales+destroza por fases	

En el capítulo 9 del presente Anejo se recoge una comprobación de los sostenimientos más significativos (en este caso, del túnel de línea y por extensión, al tener la misma geometría, de las galerías de emergencia previstas) y en los planos del Apéndice 9.4 se recogen gráficamente los sostenimientos definidos para el Grupo 3.

8.2 TRATAMIENTO EN BOQUILLAS

En el tramo Sarratu – Aperribai se han proyectado las siguientes boquillas:

BOQUILLA	LOCALIZACIÓN
Sarratu	PK 0+400
Aperribai 1	PK 1+214
Aperribai 2	PK 1+540
Ariz	Galería de emergencia, PK 0+200 (a la altura del PK 0+400 del tronco)

En estos tramos, en los que la cobertera de roca sana suele ser más reducida, siempre es recomendable actuar de la siguiente forma:

- Llevar a cabo un sostenimiento pesado (con cerchas) independientemente de la calidad del macizo.
- Ejecutar un refuerzo de la clave mediante enfilaje de bulones o paraguas de micropilotes en los primeros metros del túnel, que se llevará a cabo previamente al inicio de la excavación y desde el exterior. En el caso de la boquilla de Sarratu, y de la boquilla de la de la galería de emergencia de Ariz, cercanas entre sí, se ha previsto un paraguas de micropilotes pesado de 26 m de longitud dada poca cobertera de roca sana estimada sobre la clave del túnel. Y a continuación se ejecutarán tandas solapadas de paraguas de micros de menor diámetro hasta alcanzar una cobertera de roca sana de 5-6 m mínimo.

A continuación se describe el tratamiento previsto para las boquillas del presente tramo:

8.2.1 BOQUILLAS APERRIBAI 1 Y APERRIBAI 2

En ambas boquillas se ha previsto el mismo tratamiento, que consiste en la ejecución desde el exterior de un enfilaje de bulones de barra $\phi 32$ cada 0,50 m en clave, con longitud $L = 12$ m. Además se llevará a cabo una viga de atado cuya finalidad es arriostrar las cabezas de los bulones del enfilaje.

Por otra parte, el sostenimiento en los 12 primeros metros del túnel en cada boca consistirá en 25 cm de hormigón proyectado y cerchas HEB-160 dispuestas cada 1,0 m. El pase en avance será de 1,0 m.

A cielo abierto se ejecutará una visera provisional de 3 m de longitud que se conformará con 25 cm de hormigón proyectado, con cerchas HEB-160 cada metro y chapas Bernold como encofrado.

En el plano 9 del Documento nº2 se recoge la definición gráfica de este sostenimiento y el refuerzo propuesto en cada caso, así como varios detalles (vigas de atado, viseras de protección provisional, etc.).

8.2.2 BOQUILLA SARRATU DEL TÚNEL DE LÍNEA Y BOQUILLA DE LA GALERÍA DE EMERGENCIA DE ARIZ

La boquilla del túnel de línea en el PK 0+400 (denominada boquilla Sarratu) y la boquilla de la galería de emergencia de Ariz se encuentran significativamente próximas entre sí en planta, y en ambos casos se estima una configuración similar del terreno en cuanto a materiales. En la boquilla de Sarratu se estima una cobertera total del orden de 11 m y 1,5 m de roca sana, y en la boquilla de Ariz se estima una cobertera total del orden de 15 m y unos 4 m de roca sana.

A la vista de la configuración del perfil geotécnico del terreno en esta zona y de los perfiles longitudinales de ambos túneles, así como de los condicionantes existentes en superficie (existencia de nuevas vías, etc.), el desplazamiento de los emboquilles para ganar cobertera de roca no resulta viable sin desvirtuar la solución de trazado propuesta. Por tanto, se ha previsto llevar a cabo una actuación de envergadura en esta zona y llevar a cabo la excavación de los primeros metros de los túneles al amparo de paraguas pesados de micropilotes mientras se mantenga la escasa cobertera: el tratamiento consiste en la ejecución desde el exterior de cada boquilla de un paraguas de micropilotes de perforación $\phi 270$ mm, camisa de acero $\phi 220$ y $e=10$ mm, inyectados con lechada y separados 0,50 m. La longitud de los micropilotes pesados será de 26 m. Se ha previsto continuar la excavación con paraguas de micropilotes de menor diámetro hasta alcanzar una cobertera de roca sana del orden de 5 – 6 m.

Además se llevará a cabo una viga de atado cuya finalidad es arriostrar las cabezas de los micropilotes del paraguas.

A cielo abierto se ejecutará una visera provisional de 3 m de longitud que se conformará con 25 cm de hormigón proyectado, con cerchas HEB-160 cada metro y chapas Bernold como encofrado.

En el plano 9 del Documento nº2 se recoge la definición gráfica de este sostenimiento y el refuerzo propuesto en cada caso, así como varios detalles (vigas de atado, viseras de protección provisional, etc.).

8.2.3 RESUMEN DEL TRATAMIENTO EN BOQUILLAS

En la tabla siguiente se resume el tratamiento que se ha previsto en todas las boquillas (la geometría del túnel de línea y de las galerías de emergencia es la misma, por lo que se aplica indistintamente en las boquillas de ambos tipos de obra):

SOSTENIMIENTO EN BOQUILLAS	REFUERZO EN BOQUILLAS
Hormigón proyectado e=25 cm HP-30 armado con mallazo 2#6x150x150. Cerchas HEB-160 c/1,0 m. Avance: 1,0 m En avance+destroza	BOQUILLAS APERRIBAI 1 Y APERRIBAI 2 Enfilaje de bulones de barra $\phi 32$ cada 0,50 m en clave, L = 12 m BOQUILLAS SARRATU Y GALERÍA DE ARIZ Paraguas de micropilotes pesados perforación $\phi 270$ mm, camisa de acero $\phi 220$ y e=10 mm, L = 26 m inyectados con lechada, cada 0,50 m. Viga de atado en boquillas con talud frontal desmonte en roca: de HA-30, dimensiones 0,50x0,50 m.

8.3 TRATAMIENTO EN ENTRONQUES

Es una norma mayoritariamente asumida la necesidad de reforzar especialmente los tramos de túnel afectados por los entronques, ya que se trata de zonas en las que se produce una gran concentración de tensiones en hastiales como consecuencia de la confluencia de dos túneles o excavaciones subterráneas. En el tramo Sarratu – Aperribai está prevista una zona de entronque, correspondiente al encuentro de la galería de emergencia de Ariz con el túnel de línea.

Los criterios o métodos para determinar el refuerzo a llevar a cabo suelen ser empíricos y consisten en rebajar el índice de calidad del macizo y aplicar el sostenimiento correspondiente a esa nueva situación en un tramo determinado. Siguiendo esta filosofía, se aplicará el sostenimiento tipo ST-IV en un tramo de 1 ancho de túnel (9,6 m de longitud) a cada lado del entronque en el túnel de línea y en las galerías de emergencia, que se ha generalizado a toda la longitud de las galerías peatonales y tramos entre entronques de las de ventilación, independientemente de la calidad del macizo. Otra medida importante a tomar es evitar ejecutar el entronque en zonas en las que el macizo rocoso presente una calidad mala o muy mala ($RMR < 45$), recomendándose desplazar si es posible este punto a otra zona de mejor calidad. En caso de que no fuera posible, se deberá realizar un estudio especial que no se prevé en Proyecto puesto que se cuenta con que ninguno de los entronques se localice en un tramo muy malo.

8.4 REVESTIMIENTO

Se denomina revestimiento al anillo de hormigón en masa o armado que, colocado en todo el perímetro de hastiales y bóveda, sirve como terminación definitiva del túnel para la fase de explotación.

Aunque, según el método de construcción descrito, el propio macizo y el sostenimiento son suficientes para proporcionar estabilidad a la cavidad, se considera necesario, dadas las características de la obra proyectada, construir un revestimiento continuo de hormigón con carácter definitivo. La misión de este revestimiento es la de incrementar la seguridad alcanzada mediante el sostenimiento frente al colapso de la excavación y mejorar las condiciones de servicio de los túneles (ventilación, estanqueidad, fijación de servicios, luminosidad, etc.).

En todas las obras subterráneas proyectadas se llevará a cabo por delante del sostenimiento un revestimiento o anillo continuo de hormigón en masa o armado (HM-30, HA-30), encofrado y puesto en obra mediante bombeo. Por lo general, el revestimiento será de hormigón en masa HM-30, empleándose hormigón armado HA-30 en tramos singulares de entronque entre obras subterráneas, tal y como se recoge en la tabla siguiente:

REVESTIMIENTO	OBRA SUBTERRÁNEA	TRAMO (PK a PK)
Hormigón en masa HM-30	Túnel de línea	0+400 a 0+485,6 0+534,4 a 1+214
	Galería de ventilación de emergencia de Ariz	0+200 a 0+298,02
Hormigón armado HA-30	Túnel de línea	0+485,6 a 0+534,4
	Galería de ventilación de emergencia de Ariz	0+298,02 a 0+350,89
	Galería peatonal de emergencia de Ariz	Toda su longitud

Para garantizar la entrada en carga del anillo de revestimiento se ha previsto la ejecución de inyecciones de contacto en clave de forma sistemática, cada 3 m.

En los planos 9.6 Revestimiento del Documento nº2 Planos se recogen las características y detalles de los revestimientos previstos, así como de las inyecciones de contacto y del sistema de impermeabilización y drenaje que se instalará entre el sostenimiento y el revestimiento y que se describe a continuación.

8.5 IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE

8.5.1 IMPERMEABILIZACIÓN

La impermeabilización tiene por finalidad captar y conducir las filtraciones de agua hasta los conductos de drenaje y eliminar goteos difusos que deterioren los revestimientos.

La impermeabilización prevista para el túnel de línea será no visible. Se realiza colocando una lámina impermeable de polietileno junto con el geotextil de protección y drenaje en el paramento del sostenimiento, quedando dispuestas en “Sándwich” entre el sostenimiento y el revestimiento definitivo. Mediante unas conducciones, el agua colectada es llevada a la canalización central, que conduce el agua al exterior del túnel y constituye el sistema de drenaje que se describe a continuación.

8.5.2 DRENAJE

El sistema de drenaje previsto para los túneles tiene como misión evacuar las aguas que llegan a él, y que tienen el siguiente origen:

- Agua procedente de las filtraciones del terreno, y que es encauzada mediante el sistema de impermeabilización del túnel.
- Agua de la plataforma

8.5.2.1 AGUA PROCEDENTE DEL TERRENO

Teniendo en cuenta las características hidrogeológicas de los túneles proyectados, se prevé la infiltración de agua desde el macizo y, por tanto, se hace necesario un sistema de drenaje que impida la entrada del agua al túnel y que consistirá en bandas drenantes colocadas entre el sostenimiento y el revestimiento en hastiales y bóveda, conectadas a su vez a tubos de PVC que darán salida al agua hasta la red de drenaje longitudinal prevista en el túnel.

Las bandas drenantes tendrán una anchura de 0,5 metros y la separación entre los ejes de dos bandas sucesivas será de 3 metros. Estarán constituidas por un núcleo de alta permeabilidad formado por un geotextil drenante de 500 g/m² de peso, el cual estará rodeado por una lámina de polietileno de alta densidad de 650 g/m² de peso.

En la base de los hastiales, las bandas drenantes terminan en prolongación recta, siendo interceptadas por tubos de PVC de 50 mm de diámetro cada 3 metros que llevarán el agua a un canalillo longitudinal junto al hastial, en los pasillos laterales de servicio.

De ahí, cada 8 m se instalará una tubería de 50 mm de diámetro que desaguará el citado canalillo hasta los canales de 0,30 m de ancho que se forman entre los pasillos laterales y la plataforma de asiento de las vías.

Finalmente, dos tubos de PVC conducirán el caudal de este canal cada 25 m al colector central, con el que se conectarán transversalmente.

8.5.2.2 AGUA DE LA PLATAFORMA

El agua que pueda acceder a la plataforma también será desaguada por el canal de 0,30 metros de anchura, formado entre la plataforma y los pasillos laterales.

8.5.3 INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN EN EL CONTORNO DEL TÚNEL

Se ha previsto la ejecución de inyecciones de impermeabilización en el contorno del túnel en el tramo de paso bajo el cauce fluvial (río Nervión), con objeto de evitar posibilidad de una afluencia masiva de agua al mismo.

Esta medida se ha considerado oportuna teniendo en la cobertera en esta zona (del orden de 7 m) así como la presencia estimada de una falla.

PASO SUBFLUVIAL	TRAMO (PK a PK)	TRATAMIENTO
Río Nervión	0+784 a 0+824	Inyecciones de lechada en el contorno del túnel

En el Anejo 5 de Geología y Geotecnia se recoge una estimación de los caudales de infiltración a lo largo del túnel.

Las inyecciones serán de lechada de cemento, de microcemento o de resina, en función de los resultados que se obtengan en los ensayos previos que se lleven a cabo durante la obra para determinar cuál es la opción idónea.

Por otra parte, en zonas de falla en las que el macizo rocoso se encuentra muy fracturado y es habitual una mayor circulación de agua, puede ser oportuno aplicar también este tratamiento de inyecciones de impermeabilización. Así, aunque no se ha prescrito de forma específica este tratamiento en las zonas de falla, sí se ha tenido en cuenta en la valoración de la partida alzada de tratamientos especiales la posibilidad de que sea necesario aplicarlo en alguno de esos casos.

9. CÁLCULOS

En el Capítulo 8 se recogen los sostenimientos previstos para los diferentes tipos o Grupos de obras subterráneas en función de la calidad del macizo rocoso, fruto de la experiencia de los numerosos proyectos y obras ya realizados de tramos anteriores del Ferrocarril Metropolitano de Bilbao.

Aunque estos sostenimientos están contrastados por la práctica, hay que tener en cuenta que en el buen comportamiento de la excavación-sostenimiento influyen factores particulares de cada Proyecto, como son las coberteras, posibles asimetrías del terreno u orografía, y sobre todo las características del macizo rocoso: dado que nos estamos alejando del área de Bilbao y de sus margas típicas, es necesario comprobar la eficacia del sostenimiento y conocer el comportamiento del mismo en los materiales que se verán afectados por las obras subterráneas en este caso.

En el presente Capítulo se recogen y describen los cálculos de comprobación de los sostenimientos establecidos para el túnel de línea, que pertenece al Grupo 3, por lo que las restantes obras subterráneas de este grupo también quedarían comprobadas al tener dimensiones similares. En cuanto al sostenimiento de los tramos de galería peatonal de emergencia, correspondiente al Grupo 2, se considera que está sancionado por la práctica y no se han realizado comprobaciones analíticas de los sostenimientos tipo establecidos por ETS y recogidos en la tabla del capítulo 8.1, teniendo en cuenta también la poca longitud de estas obras y que los sostenimientos son parecidos (un poco más ligeros) que los comprobados para el Grupo 3.

Se han realizado dos tipos de cálculo, basándose en el comportamiento del macizo en función de su grado de fracturación y calidad. En los casos en los que el macizo rocoso se encuentra fracturado, con distancias pequeñas entre planos de debilidad que hacen que el conjunto esté integrado realmente por multitud de elementos interconectados entre sí por las juntas, se considera una buena aproximación el uso de las teorías de mecánica de los medios continuos (tradicionalmente aplicada a suelos) para analizar el comportamiento del macizo. Así, se realiza para los casos en los que $RMR < 70$ un **análisis tensodeformacional** considerando al macizo como un medio homogéneo, con los parámetros correspondientes (cuya estimación, para los diferentes grados de calidad del macizo, ya se ha tratado en puntos anteriores). Sin embargo, cuando la calidad del macizo es lo suficientemente buena ($RMR > 70$), su comportamiento se aleja de lo descrito para un medio continuo y el fenómeno inestable más probable será el de deslizamiento por superficies predominantes, generándose bloques o cuñas cuya seguridad hay que analizar y asegurar mediante el análisis de estabilidad correspondiente: es el **análisis de estabilidad de bloques**. Esto no quiere decir que el fenómeno de formación de bloques no pueda darse en macizos de calidad más baja ($RMR < 70$): los cálculos realizados para ese supuesto contemplan el

sostenimiento ST-I por lo que si este queda comprobado, los restantes, más cerrados, también lo estarán.

9.1 ANÁLISIS TENSODEFORMACIONAL

9.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS CÁLCULOS REALIZADOS

Los cálculos realizados han consistido en el análisis de los sostenimientos tipo para el túnel de línea definidos en función de los distintos rangos de calidad del macizo rocoso que se han considerado:

SOSTENIMIENTO TIPO	RMR
ST-II	70 - 55
ST-III	55 - 45
ST-IV	45 - 20
ST-V	20 - 10

Como ya se ha expuesto anteriormente, el Sostenimiento Tipo ST-I correspondiente al macizo rocoso de muy buena calidad, con $RMR > 70$, no se ha analizado mediante este método ya que se considera que la estabilidad del macizo en ese caso está condicionada por la de las cuñas que forman las familias de discontinuidades y se comprueba mediante el análisis de estabilidad de bloques (apartado 9.2 del presente Anejo).

El túnel de línea transcurrirá en este tramo por dos formaciones, cuyas características geotécnicas se han estimado anteriormente y para la que se considerarán por tanto diferentes parámetros de cálculo. Además, las coberteras máximas en cada caso son distintas (se ha calculado para cada formación con la cobertera máxima correspondiente):

FORMACIÓN	COBERTERA MÁXIMA
CU-1, Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino. Zona de limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas)	23 m
CU-1, Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino.	34 m

En resumen, los casos calculados son los siguientes:

CASO DE CÁLCULO	SOSTENIMIENTO	FORMACIÓN	COBERTERA MÁXIMA
1	ST-II	CU-1 Limolitas	23 m
2		CU-1 Margas	34 m
3	ST-III	CU-1 Limolitas	23 m
4		CU-1 Margas	34 m
5	ST-IV	CU-1 Limolitas	23 m
6		CU-1 Margas	34 m
7	ST-V	CU-1 Limolitas	23 m
8		CU-1 Margas	34 m

Todos los casos anteriores se han analizado para un coeficiente de reparto de tensiones $k_0 = 0,8$ y también se ha realizado un cálculo para $k_0 = 1,2$ para comprobar la sensibilidad del resultado a este parámetro y estar del lado de la seguridad. Los resultados detallados de los cálculos con $k_0 = 0,8$ (tablas resumen de comprobación de los sostenimientos y reportes) y las tablas resumen de comprobación de sostenimientos para $k_0 = 1,2$ se incluyen en el Apéndice 9.8 del presente Anejo.

9.1.2 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

9.1.2.1 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Los parámetros geotécnicos correspondientes a las distintas formaciones que aparecerán a lo largo de la traza del túnel de línea y que se consideran en los cálculos se recogen en la siguiente tabla. Son la densidad o peso específico y los parámetros resistentes (cohesión y ángulo de rozamiento para el criterio de Mohr-Coulomb) y deformacionales (módulo de deformación y coeficiente de Poisson):

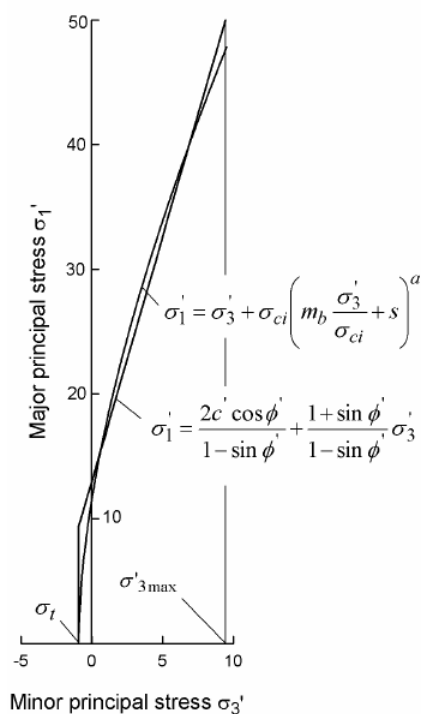
FORMACIÓN	CALIDAD, RMR	Em (MPa)	C. ROTURA HOEK-BROWN			MOHR-COULOMB	
			mb	s	a	c' (MPa)	φ' (°)
CU-1 Lutitas	55 – 70	6500	1,002	0,00670	0,504	0,300	46,50
	45 – 55	3500	0,701	0,00220	0,508	0,185	44,50
	20 - 45	730	0,287	0,00010	0,544	0,070	36,00
	10 - 20	490	0,201	0,00005	0,585	0,040	29,00
CU-1 Margas	55 – 70	6500	1,403	0,0067	0,504	0,360	49,00
CU-1 Margas	45 – 55	3500	0,982	0,0022	0,508	0,240	46,50
	20 - 45	730	0,402	0,0001	0,544	0,100	38,00
	10 - 20	490	0,201	0,00005	0,585	0,065	31,50

Debido a que la mayoría del software geotécnico, y en concreto el programa PLAXIS, está planteado en términos del criterio de rotura de Mohr-Coulomb, se han estimado los parámetros cohesión y ángulo de rozamiento equivalentes para cada caso. Esto se lleva a cabo ajustando una relación media lineal a la curva generada al resolver la ecuación del criterio de rotura de Hoek-Brown para un rango de tensión principal normal en el que se encuentre el macizo analizado ($\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{3max}$). El proceso de ajuste consiste en un balance de las áreas por encima y por debajo de la curva de Mohr-Coulomb, de donde resultan las expresiones para c y φ equivalentes:

$$\phi' = \arcsen \left[\frac{6am_b \cdot (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2 \cdot (1+a) \cdot (2+a) + 6am_b \cdot (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \cdot [(1+2a) \cdot s + (1-a) \cdot m_b \sigma'_{3n}] \cdot (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a) \cdot (2+a) \cdot \sqrt{1 + \frac{6am_b \cdot (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{((1+a) \cdot (2+a))}}}$$

Donde $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma_{ci}$



Este ajuste se realiza mediante el programa Roclab y los resultados obtenidos (considerando el nivel máximo de tensiones para cada formación) se recogen en la tabla anterior.

9.1.2.2 COEFICIENTE DE REPARTO DE TENSIONES

Las tensiones naturales constituyen un estado propio de los materiales del macizo rocoso como consecuencia de su historia geológica. Este estado de tensiones suele ser bastante complejo debido al carácter heterogéneo, discontinuo y anisótropo de los macizos rocosos, y obedece a distintas causas, siendo las principales:

- Tensiones de origen tectónico, responsables del movimiento de las placas litosféricas, que constituyen la fuente principal de los esfuerzos presentes en las rocas
- Tensiones gravitacionales, como consecuencia del peso de los materiales suprayacentes y confinantes en cada punto.
- Tensiones de origen no renovable, como las generadas por los efectos térmicos sobre materiales rocosos, por flexiones o abombamientos en la corteza, etc.

Es importante tener en cuenta las tensiones naturales a las que está sometido dicho macizo para el diseño de las excavaciones subterráneas, ya que las cargas actuantes sobre el sostenimiento son precisamente la relajación de estas tensiones naturales en el contorno de la excavación.

Este aspecto influye a la hora de realizar cálculos tensodeformacionales ya que el estado tensional inicial tiene poca importancia si el terreno, una vez efectuada la excavación, se va a comportar elásticamente, pero si el terreno plastifica los esfuerzos inducidos sobre los elementos estructurales del sostenimiento dependen de forma muy importante del estado tensional inicial.

La determinación del estado tensional de un macizo rocoso es uno de los problemas más complejos en mecánica de rocas: las tensiones o esfuerzos principales actuando sobre un punto se definen por su orientación y magnitud, que únicamente pueden ser determinados in situ mediante ensayos o test que con frecuencia son de compleja ejecución o interpretación.

En este caso, a falta de métodos específicos con los que se hayan medido in situ las tensiones naturales, y teniendo en cuenta la información geológica y sobre la tectónica de la zona disponible, se considera que se trata de rocas con estado tensional bajo, con k_0 del orden de la unidad. No obstante, y aunque el valor $k_0=1,0$ no esté lejos de la realidad, se trata de una cifra “singular” para la cual en un túnel circular los momentos serían nulos, por lo que los cálculos se han realizado para un valor de $k_0=0,8$, y se han comprobado para $k_0=1,2$.

9.1.3 MODELO NUMÉRICO

En la generación del modelo numérico se pretende representar de la forma más real posible el problema que se va a analizar. A continuación se recogen los detalles y aspectos considerados para el establecimiento del mismo.

- Tamaño del área de trabajo y densidad de la malla

La cobertura marca el límite superior del área de trabajo y como ya se ha expuesto, se considera para cada formación la cobertura máxima esperada como caso pésimo de cálculo. En una tabla del apartado 9.1.1 se recogen estos valores.

En cuanto a los límites laterales y el límite inferior del área de trabajo, se ha tenido en cuenta que el contorno de la misma debe encontrarse lo suficientemente separada de la excavación como para no influir en el comportamiento del área de estudio, pero tampoco es interesante generar un área demasiado grande para no ralentizar los cálculos. Por ello, se ha considerado en laterales una distancia de 2 diámetros desde el hastial del túnel y de 1,50 diámetros por debajo del centro del mismo para situar el límite inferior.

Por otra parte, la densidad de la malla se ha establecido teniendo en cuenta que cuanto más densa sea ésta, la exactitud en los resultados será mayor, pero también los tiempos de

cálculo. Así, se han llevado a cabo refinados sucesivos de la malla hasta llegar a un número de elementos del orden de 1400 que, en este caso, teniendo en cuenta las dimensiones del área de trabajo, se considera razonable. También se ha tenido en cuenta que la forma de los elementos triangulares generados sea lo más regular posible y que su tamaño en el entorno de la excavación sea reducido para que en el proceso de cálculo no surjan problemas y los resultados sean lo más realistas posible.

- Condiciones de contorno

Los cálculos se realizan en dos dimensiones, considerando que la sección analizada se continúa en perpendicular al plano representado.

Se han impuesto condiciones de contorno en los límites del área de trabajo, limitando los movimientos verticales y horizontales en los bordes laterales e inferior, lo que puede corresponderse con la situación real al considerar que en esos puntos la influencia de la excavación del túnel es ya nula.

- Condiciones iniciales

Como condición inicial se ha considerado el terreno sin excavar, y se han asignado al macizo rocoso las propiedades geotécnicas establecidas anteriormente. No se considera presencia de nivel freático de acuerdo con la información obtenida durante los trabajos de campo y la interpretación realizada de la misma. Es posible que existan filtraciones de agua a través de ciertas juntas en el macizo rocoso, pero no se considera que puedan influir o generar tensiones a tener en cuenta en los cálculos, ya que el sostenimiento se considera permeable.

Para cada elemento generado al establecer la malla se considera un valor del coeficiente de reparto de tensiones $K_0 = 0,8$, tal y como se ha expuesto anteriormente.

- Simulación del efecto frente

En el cálculo en 2D hay que tener en cuenta que el problema es realmente tridimensional y que la cercanía del frente del túnel a la sección calculada afecta a las cargas que actúan sobre el conjunto terreno-sostenimiento.

Además, también hay que tener en cuenta que el sostenimiento no se coloca en el mismo frente de excavación, sino a una cierta distancia del mismo. En estas condiciones, hay un tramo de túnel en el que no se puede ejercer una presión radial, y sin embargo en él se mantiene un cierto grado de estabilidad hasta la colocación del sostenimiento, lo que se explica por el efecto de confinamiento del frente y se denomina “efecto frente”.

Este efecto se traduce en la denominada capacidad autosoporte de las excavaciones subterráneas, dando lugar a una reducción de las convergencias y a una relajación parcial de

las tensiones geostáticas previamente a la colocación del sostenimiento. Esto puede estimarse a través de la teoría de convergencia-confinamiento desarrollada por Marc Panet:

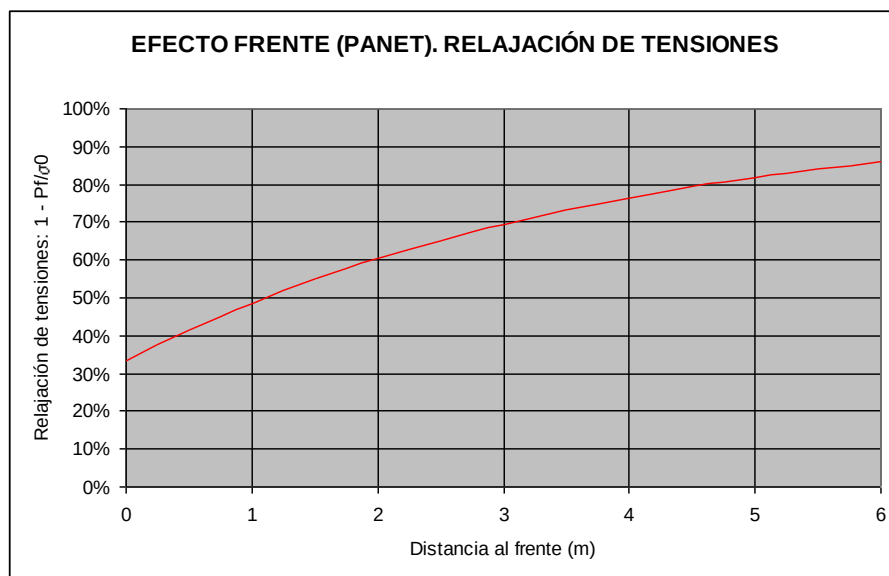
$$P_f = \frac{2}{3} \cdot \sigma_0 \cdot e^{\left(\frac{-x}{0,7 \cdot R}\right)}$$

Siendo:

- P_f la presión radial ficticia del confinamiento
- σ_0 la tensión confinante en el terreno ($\sigma_0 = \gamma \cdot H$)
- x la distancia de la sección considerada al frente de excavación
- R el radio de excavación

En este caso, se considerará el valor de R correspondiente a la altura de la sección de avance en el túnel de línea, que resulta $R = 5,50$ m.

En el gráfico siguiente se recoge la relación entre la relajación de tensiones (en función del cociente presión radial ficticia estimada por Panet/tensión confinante en el terreno) y la distancia al frente.



En este caso, la distancia al frente a considerar (longitud del pase en avance) varía de unos sostenimientos tipo a otros. En la tabla siguiente se resumen los distintos valores considerados y la relajación de tensiones correspondiente a cada caso, que se ha tenido en cuenta en los cálculos.

SECCIÓN TIPO	LONGITUD DEL PASE (m)	1-Pf/ σ_0	RELAJACIÓN DE TENSIONES EFECTO FRENTE (%) CONSIDERADA EN CÁLCULOS
ST-II	2,5	0,65	65
ST-III	2,0	0,60	60
ST-IV	1,5	0,55	55
ST-V	1,0	0,49	50

Este efecto se ha tenido en cuenta en el cálculo secuencial por fases que realiza PLAXIS, en la etapa de excavación del avance.

- Fases de cálculo

Con objeto de reproducir lo más fielmente posible el proceso de construcción, se han tenido en cuenta las fases de cálculo correspondientes, con la misma geometría que la prevista para el avance y las dos fases de destroza y teniendo en cuenta también el efecto frente citado anteriormente:

- Fase 1: Excavación del avance
- Fase 2: Sostenimiento del avance
- Fase 3: Excavación de la destroza central
- Fase 4: Excavación de la destroza izquierda
- Fase 5: Sostenimiento de la destroza izquierda
- Fase 6: Excavación de la destroza derecha
- Fase 7: Sostenimiento de la destroza derecha

- Modelización del sostenimiento

El sostenimiento previsto en las diferentes secciones tipo definidas consiste en la colocación de bulones, hormigón proyectado y en algunos casos, cerchas. Las características de cada elemento son:

- Bulón $\phi 25$:
 - $E_{\text{acero}} = 2,1 \cdot 10^8 \text{ KN/m}^2$
 - $A = 4,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 - $EA = 1,03 \cdot 10^5 \text{ kN}$

- Hormigón proyectado:
 - $E = 1,45 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$
 - $\nu = 0,200$
 - EA: en función del espesor del sostenimiento tipo en cada caso
 - EI: en función del espesor del sostenimiento tipo en cada caso
- Cercha reticular TH-21:
 - $E_{\text{acero}} = 2,1 \cdot 10^8 \text{ KN/m}^2$
 - $EA = 5,67 \cdot 10^5 \text{ KN}$
 - $EI = 7,16 \cdot 10^2 \text{ kNm}^2$
- Cercha HEB-180:
 - $E_{\text{acero}} = 2,1 \cdot 10^8 \text{ KN/m}^2$
 - $EA = 1,37 \cdot 10^6 \text{ KN}$
 - $EI = 8,04 \cdot 10^3 \text{ kNm}^2$

Las cerchas, en los casos en los que se han previsto, se modelizan para los cálculos de forma conjunta con el hormigón proyectado, sumándose EA y EI de cada elemento para obtener el valor del elemento “plate” resultante. Posteriormente, una vez obtenidos los esfuerzos, se redistribuyen a cada uno en función de la proporción $E_{\text{elemento}}/E_{\text{total}}$ (axiles) y $E_{\text{elemento}}/E_{\text{total}}$ (flectores).

9.1.4 MÁRGENES DE SEGURIDAD ESTABLECIDOS COMO REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A partir de los esfuerzos a los que están sometidos los elementos del sostenimiento se obtienen las tensiones resultantes (de compresión y de tracción), las cuales deben estar por debajo de un límite para considerar que el elemento funcionará correctamente y contar con un grado o factor de seguridad. Este límite se ha establecido en el 75% del límite elástico del material de que se trate, tal y como se recoge en las tablas que se adjuntan en el Apéndice 9.8. Si las tensiones se encuentran por debajo de dichos límites, aparece un “OK” junto a la cifra correspondiente. Esta es la pauta para determinar la validez de los sostenimientos analizados, que se recoge en el punto siguiente.

9.1.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos para cada uno de los casos de cálculo analizados se resumen a continuación. Además, en el Apéndice 9.8 se recoge la siguiente información:

- Salidas de los cálculos realizados con el código PLAXIS: se incluye la geometría del área de estudio con el túnel, la malla generada, los elementos estructurales y las fases de cálculo. También se señalan los nodos más significativos. Para cada fase de cálculo se recogen gráficamente los desplazamientos, las tensiones generadas en el terreno (direcciones principales) y los puntos plásticos. También para cada fase se recogen las leyes de esfuerzos axiles y flectores (con su valor máximo), así como las tensiones en los bulones.
- Tablas resumen de los desplazamientos, esfuerzos y tensiones máximas en los elementos del sostenimiento: hay que señalar que en ocasiones se detectan discontinuidades matemáticas en las leyes de axiles, localizadas en los contactos avance-destroza, las cuales no se tienen en cuenta puesto que se considera que no son físicamente posibles: esto ocurre principalmente en los sostenimientos ST-II que se aplican a terrenos de calidad buena-media y en los que la relajación de tensiones es del 60% en la fase excavación-sostenimiento del avance. No se tienen en cuenta los esfuerzos en estos tramos del elemento plate que modeliza el sostenimiento para la estimación de las tensiones máximas por el motivo ya señalado.

A continuación se recoge una tabla resumen con todos los resultados obtenidos y se describen con más detalle los resultados y análisis de los mismos realizado para cada formación y sostenimiento tipo:

FORMACIÓN	SOSTENIMIENTO TIPO	DESCENSO MÁXIMO VERTICAL EN CLAVE (m)	TENSIÓN PRINCIPAL MÁXIMA EN EL TERRENO (MPa)	COMPRESIÓN MÁXIMA EN CERCHA (MPa)	COMPRESIÓN MÁXIMA EN HORMIGÓN PROYECTADO (MPa)	TRACCIÓN MÁXIMA EN BULONES (kN)
CU-1 Margas	II	$1,29 \cdot 10^{-3}$	5,08	-	2,032	6,94
CU-1 Limolitas		$8,81 \cdot 10^{-4}$	3,70	-	1,887	5,17
CU-1 Margas	III	$2,41 \cdot 10^{-3}$	4,29	-	4,205	12,66
CU-1 Limolitas		$1,67 \cdot 10^{-3}$	3,06	-	3,291	11,46
CU-1 Margas	IV	$1,34 \cdot 10^{-2}$	2,60	72,351	5,073	144,20
CU-1 Limolitas		$1,051 \cdot 10^{-2}$	1,84	43,532	4,430	116,90
CU-1 Margas	V	$3,10 \cdot 10^{-2}$	1,92	102,345	5,758	184,00
CU-1 Limolitas		$2,42 \cdot 10^{-2}$	1,49	28,818	2,804	184,00

A continuación se resumen los resultados obtenidos para cada caso de cálculo:

CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino. Zona de predominancia de Margas

Los cálculos para esta formación se han realizado con una cobertera de 34 m, valor máximo estimado para el tramo en el que se verán afectados por el túnel de línea.

SOSTENIMIENTO TIPO	DESCENSO MÁXIMO VERTICAL EN CLAVE (m)	TENSIÓN PRINCIPAL MÁXIMA EN EL TERRENO (MPa)	COMPRESIÓN MÁXIMA EN CERCHA (MPa)	COMPRESIÓN MÁXIMA EN HORMIGÓN PROYECTADO (MPa)	TRACCIÓN MÁXIMA EN BULONES (kN)
ST-II	$1,29 \cdot 10^{-3}$	5,08	-	2,032	6,94
ST-III	$2,41 \cdot 10^{-3}$	4,29	-	4,205	12,66
ST-IV	$1,34 \cdot 10^{-2}$	2,60	72,351	5,073	144,20
ST-V	$3,10 \cdot 10^{-2}$	1,92	102,345	5,758	184,00

El terreno plastifica en una franja de aproximadamente 0,5 m en hastiales y su encuentro con la base en el caso del sostenimiento tipo ST-II, mientras que con el sostenimiento ST-III se amplía a 1,0 – 1,5 m (aparecen en la misma zona, concentrados en hastiales y encuentro con la base). En el ST-IV la zona plastificada en hastiales se amplía a 3,0 – 3,5 m y en la base aparecen algunos puntos unos 4 m por debajo. Finalmente, en el ST-V correspondiente a terreno de muy mala calidad, la zona plastificada en hastiales y parte de la bóveda alcanza unos 3,5 – 4,0 m, mientras que en la base aparecen puntos hasta a unos 4,5 – 5,0 m por debajo.

El descenso máximo vertical recogido en la tabla se corresponde con el movimiento en clave.

La compresión máxima en el hormigón proyectado se encuentra en todos los casos por debajo del límite establecido como criterio en el 75% de su límite elástico. En los sostenimientos ST-IV y ST-V aparecen tracciones localizadas que superan la tensión admisible a flexotracción estimada (4000 kN/m²). Se ha considerado que se produce una redistribución de esfuerzos entre la gunita fisurada y las cerchas, de forma que el conjunto continúa resistiendo de forma satisfactoria: en el caso del ST-IV la redistribución es del 2% (magnitud que pasa a las cerchas) y en el ST-V del 15%.

En cuanto a las cerchas, la compresión máxima también se encuentra claramente por debajo del 75% del límite elástico considerado como referencia en los sostenimientos en los que se aplicarán estos elementos (ST-IV y ST-V), incluso con el incremento de carga que supondría la redistribución de esfuerzos por posible fisuración del hormigón proyectado tal y como se ha comentado en el párrafo anterior.

La tracción máxima en bulones alcanza los 184 kN en ST-V, lo que supone 75% del límite elástico establecido como referencia para el diseño. En el resto de los casos, las solicitaciones son menores.

CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino. Zona de predominancia de Limolitas

Los cálculos para esta formación se han realizado con una cobertera de 23 m, valor máximo estimado para el tramo en el que se verán afectados por el túnel de línea.

SOSTENIMIENTO TIPO	DESCENSO MÁXIMO VERTICAL EN CLAVE (m)	TENSIÓN PRINCIPAL MÁXIMA EN EL TERRENO (MPa)	COMPRESIÓN MÁXIMA EN CERCHA (MPa)	COMPRESIÓN MÁXIMA EN HORMIGÓN PROYECTADO (MPa)	TRACCIÓN MÁXIMA EN BULONES (kN)
ST-II	$8,81 \cdot 10^{-4}$	3,70	-	1,887	5,17
ST-III	$1,67 \cdot 10^{-3}$	3,06	-	3,291	11,46
ST-IV	$1,051 \cdot 10^{-2}$	1,84	43,532	4,430	116,90
ST-V	$2,42 \cdot 10^{-2}$	1,49	28,818	2,804	184,00

El terreno plastifica en una franja de aproximadamente 0,5 m en los hastiales y su encuentro con la base en el caso del sostenimiento tipo ST-II, mientras que con el sostenimiento ST-III se amplía a 1,0 – 1,5 m (aparecen en la misma zona, concentrados en hastiales y encuentro con la base). En el ST-IV la zona plastificada en hastiales se amplía a 3,0 – 3,5 m (también afecta a parte de la bóveda) y en la base aparecen algunos puntos unos 4 m por debajo. Finalmente, en el ST-V correspondiente a terreno de muy mala calidad, la zona plastificada en hastiales y parte de la bóveda alcanza unos 4,0 – 4,5 m, mientras que en la base aparecen puntos plásticos esporádicos a unos 1,0 – 1,5 m por debajo.

El descenso máximo vertical recogido en la tabla se corresponde con el movimiento en clave.

La compresión máxima en el hormigón proyectado se encuentra en todos los casos por debajo del límite establecido como criterio en el 75% de su límite elástico. Tampoco las tracciones localizadas que aparecen superan la tensión admisible a flexotracción estimada (4000 kN/m²).

En cuanto a las cerchas, la compresión máxima también se encuentra claramente por debajo del 75% del límite elástico considerado como referencia en los sostenimientos en los que se aplicarán estos elementos (ST-IV y ST-V).

La tracción máxima en bulones alcanza los 184 kN en ST-V, lo que supone 75% del límite elástico establecido como referencia para el diseño. En el resto de los casos, las solicitaciones son menores.

9.1.6 COMPROBACIÓN CON $K_0 = 1,2$

Como se ha expuesto anteriormente, los cálculos se han realizado considerando un coeficiente de reparto de tensiones $K_0=0,8$, teniendo en cuenta el estado tensional que se estima para el macizo rocoso en este caso. Adicionalmente, como comprobación y para conocer la sensibilidad a este parámetro se han analizado varios casos, en los que las solicitaciones del sostenimiento son más altas, con $k_0=1,2$.

A continuación se describe el resultado obtenido en los casos analizados con este valor de k_0 .

CU-1 Margas, margocalizas y calcarenitas. Predominancia de Margas: Se han comprobado los sostenimientos tipo ST-IV y ST-V, resultando que las compresiones en el hormigón proyectado son mayores que para $K_0 = 0,8$ pero continúan por debajo del 75% del límite elástico establecido como margen de seguridad. Aparecen tracciones localizadas de mayor entidad, pero se ha comprobado que con la redistribución de esfuerzos por fisuración de la gunita entre esta capa y las cerchas, las tensiones son admisibles en ambos elementos (redistribución de esfuerzos del hormigón proyectado a las cerchas del 20% en ST-IV y del 30% en ST-V). Las cerchas se encuentran solicitadas por debajo del 75% aún con los esfuerzos mayorados por la redistribución citada. En cuanto a los bulones, algunos alcanzan el 75% de su límite elástico en el sostenimiento ST-V, siendo en cualquier caso correcto su comportamiento. Finalmente, los desplazamientos máximos en clave aumentan con respecto a $k_0 = 0,8$ pero se mantienen en valores razonables.

CU-1 Margas, margocalizas y calcarenitas. Predominancia de Limolitas: Se han comprobado los sostenimientos tipo ST-IV y ST-V, resultando que las compresiones en el hormigón proyectado son mayores que para $K_0 = 0,8$ pero continúan por debajo del 75% del límite elástico establecido como margen de seguridad. También continúan aparecen tracciones localizadas ligeramente más altas en ST-IV y menores en ST-V, pero no ocasionan la rotura a flexotracción de la gunita. Las tensiones de compresión en las cerchas también aumentan con respecto al cálculo con $k_0 = 0,8$, pero continúan solicitadas por debajo del 75%. En cuanto a los bulones, algunos alcanzan el 75% de su límite elástico en el sostenimiento ST-V, siendo en cualquier caso correcto su comportamiento. Finalmente, los desplazamientos máximos en clave aumentan con respecto a $k_0 = 0,8$ pero se mantienen en valores razonables.

9.1.7 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS TENSODEFORMACIONAL

Como se ha señalado en los puntos anteriores y puede observarse en las tablas resumen y en los reportes de los cálculos que se adjuntan en el Apéndice 9.8, en ningún caso se produce la plastificación de los elementos del sostenimiento y las solicitaciones tanto para cerchas y bulones como para el hormigón proyectado se mantienen por debajo del valor de referencia fijado como

criterio en el 75% del límite elástico del material, por lo que se considera que los sostenimientos previstos son adecuados.

9.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES

En macizos de calidad buena ($70 < \text{RMR} < 55$) y muy buena ($\text{RMR} > 70$) los fenómenos inestables se deben principalmente a formación y caída de las discontinuidades que forman cuñas o bloques, por lo que resulta necesario realizar un análisis de su estabilidad con el objeto de comprobar la eficacia de los sostenimientos previstos en dichos casos. En este apartado se estudia la posible formación de cuñas en el interior del túnel.

Para el cálculo se ha empleado el programa Unwedge, de la casa Rocscience, que analiza la formación de cuñas inestables en el perímetro de túneles construidos en macizos sanos y poco fracturados. En este cálculo se asume que los desplazamientos se producen a favor de las discontinuidades y que las cuñas se mueven como cuerpos rígidos sin deformación interna ni rotura. Las cuñas se presentan en la naturaleza con forma tetraédrica, definidas por tres discontinuidades que se intersectan. Una vez introducidos los parámetros de las discontinuidades el programa analiza todas las cuñas posibles que éstas delimiten. Se considerará que las discontinuidades pueden localizarse en cualquier punto del macizo rocoso.

Geometría de la sección considerada:

Para realizar el cálculo se ha definido por coordenadas la sección geométrica exterior del túnel de línea, indicando en cada tramo su dirección y pendiente.

Sostenimiento considerado:

Se ha considerado el sostenimiento más ligero, que se atribuye al macizo rocoso de mejor calidad, de forma que al comprobar la eficacia de este queda comprobada la de los restantes frente a este tipo de comportamiento inestable puesto que son más pesados.

El sostenimiento modelizado es por tanto el ST-I correspondiente al Grupo 3 – Túnel de línea. Está formado por bulones Swellex Mn16 L = 3,0 m cada 2x2 metros (2 m fuera del plano y 2 m en el plano) y una capa de 2 cm (más 3 cm de sellado) de hormigón proyectado HP-30.

El hormigón proyectado no se ha tenido en cuenta en los cálculos, para estar del lado de la seguridad, excepto en algún caso excepcional donde el factor de seguridad queda ligeramente por debajo del valor de referencia 1,5 (siendo siempre mayor a 1,2 - 1,3) o bien cuando la cuña inestable es de pequeño tamaño y no se puede sujetar con el bulonado sistemático previsto.

Datos estructurales del macizo considerados:

Una vez definidas las características de la sección y el sostenimiento, se han introducido la dirección y buzamiento de las juntas aparecidas en cada dominio estructural, así como sus características principales. Estos datos se han estimado a partir de las estaciones geomecánicas y puntos de observación existentes en el entorno del túnel, de las medidas de orientación de la estratificación en testigos de sondeos y de los ensayos de laboratorio realizados. De esta forma el túnel se ha tramificado en función de su disposición estructural, realizándose en cada tramo el análisis de estabilidad de las posibles cuñas con los datos de los dominios resultantes correspondientes.

De todas las combinaciones posibles analizadas en cada dominio estructural, se ha analizado la combinación más representativa o más desfavorable, formada por tres de las familias presentes en cada uno de los tramos en los que se ha dividido cada tramo de túnel (la estratificación siempre estará presente en todas las combinaciones).

Situaciones de cálculo:

En el análisis se han comprobado dos situaciones:

- A corto plazo: para la geometría de la sección en avance, con bulones, sin tener en cuenta el hormigón proyectado correspondiente a la capa de sellado. Tamaño de cuñas no limitado al pase en avance.
- A largo plazo: para la geometría de la sección completa, con bulones y sin tener en cuenta el espesor total de hormigón proyectado, cuando la acción del sostenimiento es totalmente efectiva. Tamaño de cuñas no limitado por longitudes de pase.

Otras hipótesis consideradas:

Después de analizar todos los trabajos de campo (sondeos mecánicos y estaciones geomecánicas mayoritariamente), se ha observado que la mayoría de las juntas (a excepción de la estratificación), tienen una persistencia media <1 m o bien entre 1 y 3 m (de manera puntual se ha observado alguna familia con una persistencia entre 3 y 10 m). En el caso de la estratificación, su persistencia puede llegar a ser mucho mayor de 10 m. Por tanto, y para estar del lado de la seguridad, se ha tomado una persistencia máxima de 20 m para la estratificación y de 8 m para el resto de juntas.

En el cálculo no se ha considerado el estado tensional y el macizo rocoso se considera drenado, por lo que no se han tenido en cuenta presiones de agua. Como se expone en el Apartado 6, se ha considerado un ángulo de rozamiento de 25° para la estratificación y de 28° para las restantes familias de discontinuidades.

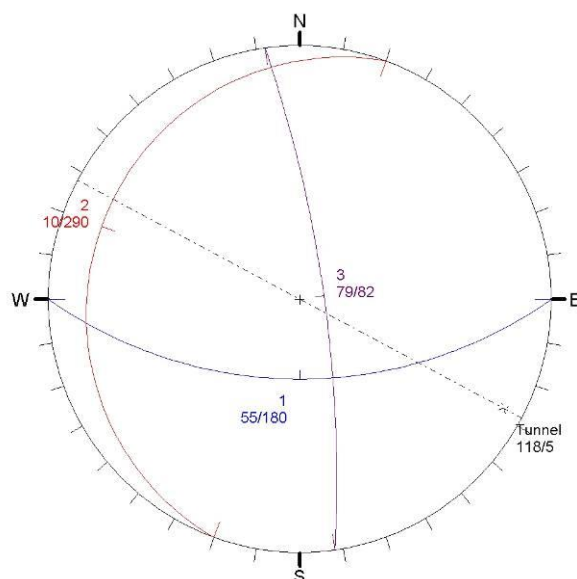
9.2.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES TÚNEL DE LÍNEA SARRATU - APERRIBAI

9.2.1.1 TRAMO 1 (DOMINIO 4): PK 0+400 A PK 0+580

Datos de partida

Familias de juntas	Buzamiento/Dirección de buzamiento
So	55/180
J2	10/290
J3	79/82

Rumbo del túnel: 118/5



Corto plazo

CORTO PLAZO. TRAMO 1 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I			
So/J2/J3			
CUÑA	PESO (T)	FS	FS (con bulón adicional)
1	13,147	Estable	-
4**	43,649	1,249	1,699
5	1,440	78,961	-
7	0,435	14,817	-
8*	0,140	0,000	-

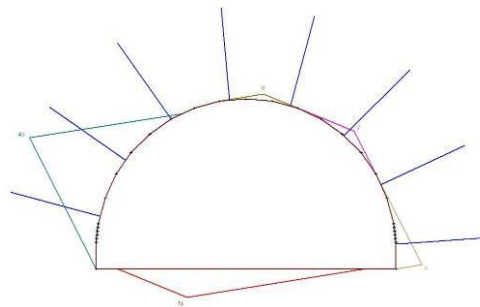
Anejo nº9: Obras
Subterráneas

Página 60

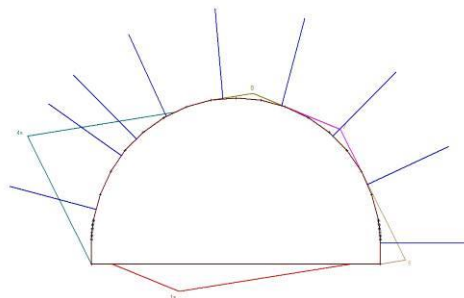
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FMB TRAMO SARRATU-APERRIBAI

*Esta cuña no queda sujeta por ningún bulón con la distribución sistemática considerada, debido al pequeño tamaño de la misma. Se ha comprobado que la aplicación de la capa de sellado (3 cm de hormigón proyectado HP-30), que no se ha tenido en cuenta inicialmente en los cálculos, sería suficiente para elevar su factor de seguridad por encima de 1,5.

**Por otra parte, en la cuña nº4 el factor de seguridad está por debajo de 1,5 (FS: 1,24) con el bulonado sistemático. Se ha comprobado que con la aplicación del hormigón proyectado previsto, el factor de seguridad se situaría muy por encima de 1,5. Sin embargo y debido al gran tamaño de la misma, se recomienda la colocación de un bulón adicional de las mismas características que los sistemáticos, lo que también eleva el factor de seguridad y permite trabajar con más garantías de seguridad, tal y como se muestra en la tabla anterior y en el ejemplo de la segunda figura.



S₀/J2/J3



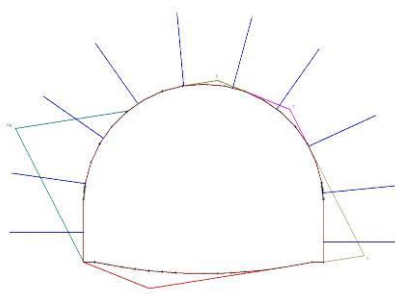
S₀/J2/J3 CON BULÓN ADICIONAL EN LA CUÑA Nº4

Largo plazo

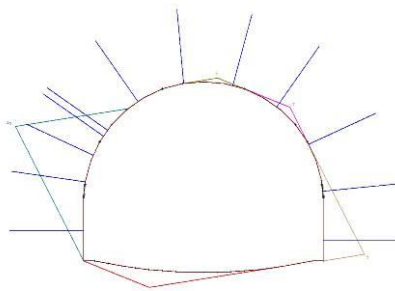
LARGO PLAZO. TRAMO 1 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I			
So/J2/J3			
CUÑA	PESO (T)	FS	FS (con 2 bulones adicional)
1	6,608	Estable	-
4**	61,582	0,938	1,526
5	10,338	24,677	-
7	0,435	19,335	-
8*	0,140	0,000	-

*Esta cuña no queda sujeta por ningún bulón con la distribución sistemática considerada, debido al pequeño tamaño de la misma. Se ha comprobado que la aplicación de la capa de sellado (3 cm de hormigón proyectado HP-30), que no se ha tenido en cuenta inicialmente en los cálculos, sería suficiente para elevar su factor de seguridad por encima de 1,5.

**Por otra parte, en la cuña nº4 no se alcanza el factor de seguridad de 1,5 con el bulonado sistemático. Debido al gran tamaño de la misma se recomienda la implantación de algún bulón adicional de las mismas características que los sistemáticos para elevar el factor de seguridad, tal y como se muestra en la tabla anterior y en el ejemplo de la segunda figura.



$S_0/J2/J3$



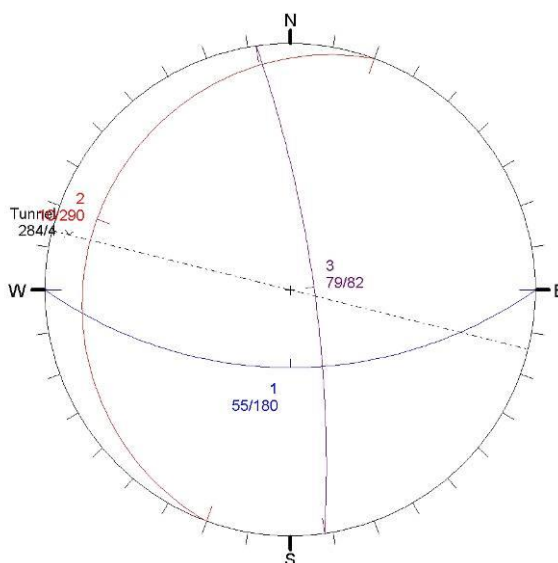
$S_0/J2/J3$ CON 2 BULONES ADICIONALES EN LA CUÑA Nº4

9.2.1.2 TRAMO 2 (DOMINIO 4): PK 0+580 A PK 0+804

Datos de partida

Familias de juntas	Buzamiento/Dirección de buzamiento
So	55/180
J2	10/290
J3	79/82

Rumbo del túnel: 284/4



Corto plazo

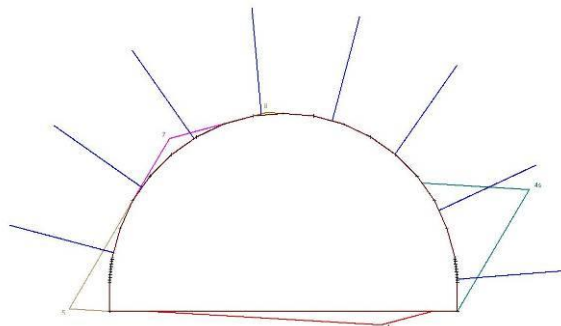
CORTO PLAZO. TRAMO 2 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
So/J2/J3		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	5,166	Estable
4	30,017	1,754
5	3,847	36,028
7	0,987	8,302
8*	0,018	0,000

Anejo nº9: Obras
Subterráneas

Página 63

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FMB TRAMO SARRATU-APERRIBAI

*Esta cuña no queda sujeta por ningún bulón con la distribución sistemática considerada, debido al pequeño tamaño de la misma. Se ha comprobado que la aplicación de la capa de sellado (3 cm de hormigón proyectado HP-30), que no se ha tenido en cuenta inicialmente en los cálculos, sería suficiente para elevar su factor de seguridad por encima de 1,5.



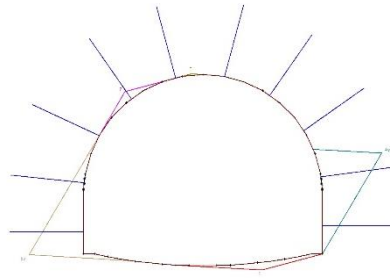
S_o/J2/J3

Largo plazo

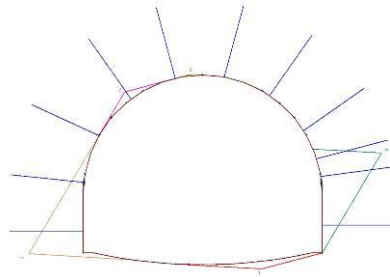
LARGO PLAZO. TRAMO 2 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
S _o /J2/J3		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	2,406	Estable
4**	37,019	1,091
5	27,747	21,968
7	0,987	7,514
8*	0,018	0,000

*Esta cuña no queda sujeta por ningún bulón con la distribución sistemática considerada, debido al pequeño tamaño de la misma. Se ha comprobado que la aplicación de la capa de sellado (3 cm de hormigón proyectado HP-30), que no se ha tenido en cuenta inicialmente en los cálculos, sería suficiente para elevar su factor de seguridad por encima de 1,5.

**Por otra parte, en la cuña nº4 no se alcanza el factor de seguridad de 1,5 con el bulonado sistemático. Debido al gran tamaño de la misma se recomienda la implantación de algún bulón adicional de las mismas características para elevar el factor de seguridad, tal y como se muestra en la tabla anterior y en el ejemplo de la segunda figura.



S_o/J2/J3



S_o/J2/J3 CON BULÓN ADICIONAL EN LA CUÑA N°4

9.2.1.3 TRAMO 3 (DOMINIO 5): PK. 0+804 A PK. 1+023

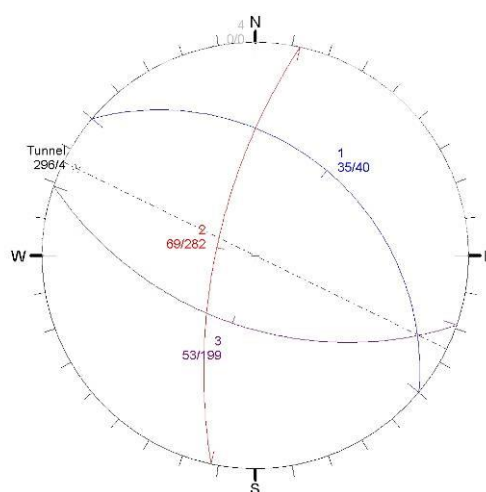
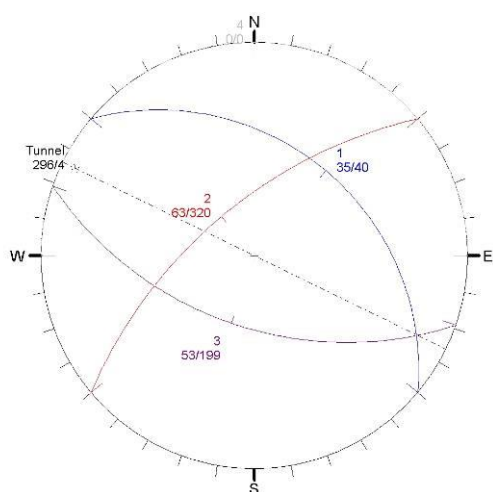
Datos de partida

En este caso se consideran dos combinaciones de discontinuidades:

Familias de juntas	Buzamiento/Dirección de buzamiento
So	35/40
J1	63/320
J2A	53/199

Familias de juntas	Buzamiento/Dirección de buzamiento
So	35/40
J2	69/282
J2A	53/199

Rumbo del túnel: 296/4

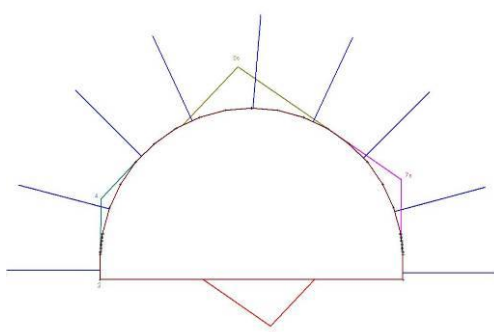


Corto plazo

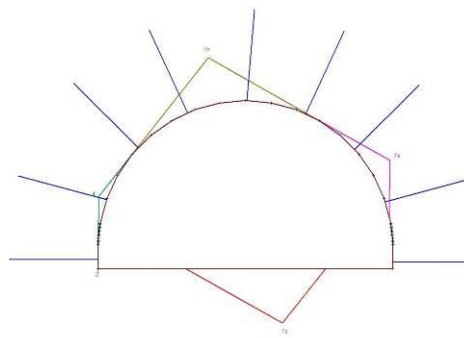
CORTO PLAZO. TRAMO 3 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
So/J1/J2A		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	17,396	Estable
2*	0,001	0,728
4	0,941	19,052
7	2,698	9,266
8	14,611	2,360

CORTO PLAZO. TRAMO 3 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
So/J2/J2A		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	29,950	Estable
2*	0,001	1,158
4	0,568	30,623
7	3,731	3,451
8	21,029	1,590

*Estas cuñas no quedan sujetas por ningún bulón con la distribución sistemática considerada, debido al pequeño tamaño de las mismas. Se ha comprobado que la aplicación de la capa de sellado (3 cm de hormigón proyectado HP-30), que no se ha tenido en cuenta inicialmente en los cálculos, sería suficiente para elevar su factor de seguridad por encima de 1,5.



So/J1/J2a



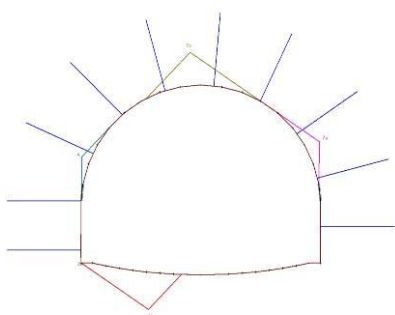
So/J2/J2a

Largo plazo

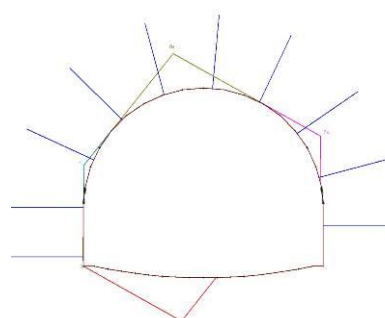
LARGO PLAZO. TRAMO 3 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
So/J1/J2A		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	20,365	Estable
2*	0,006	0,728
4	0,941	20,269
7	2,698	9,230
8	14,611	1,842

LARGO PLAZO. TRAMO 3 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
So/J2/J2A		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	33,789	Estable
2*	0,007	1,158
4	0,568	33,121
7	3,731	4,050
8	21,029	1,583

*Estas cuñas no quedan sujetas por ningún bulón con la distribución sistemática considerada, debido al pequeño tamaño de las mismas. Se ha comprobado que la aplicación de la capa de sellado (3 cm de hormigón proyectado HP-30), que no se ha tenido en cuenta inicialmente en los cálculos, sería suficiente para elevar su factor de seguridad por encima de 1,5.



So/J1/J2a



So/J2/J2a

Anejo nº9: Obras
Subterráneas

Página 68

9.2.1.4 TRAMO 4 (DOMINIO 6): PK. 1+023 A PK. 1+214

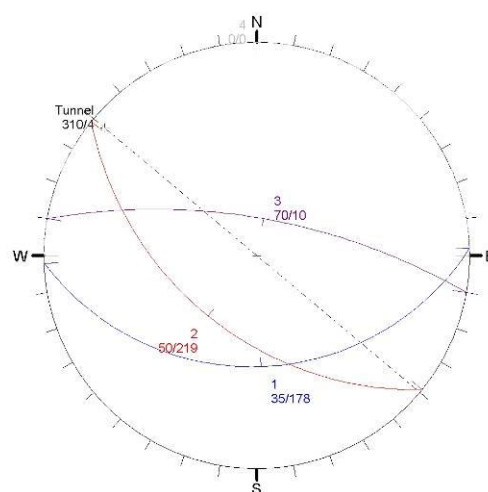
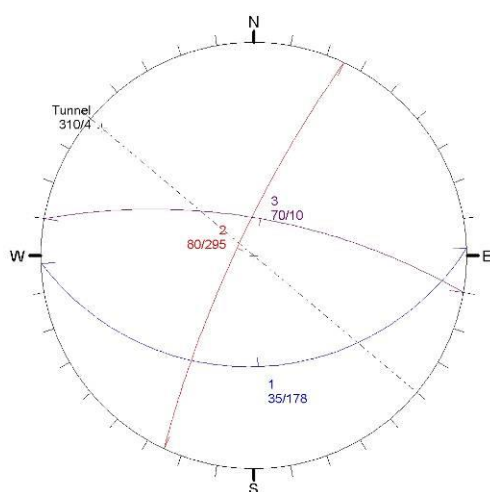
Datos de partida

En este caso se consideran dos combinaciones de discontinuidades:

Familias de juntas	Buzamiento/Dirección de buzamiento
So	35/178
J1	80/295
J2C	70/10

Familias de juntas	Buzamiento/Dirección de buzamiento
So	35/178
J2	50/219
J2C	70/10

Rumbo del túnel: 310/4

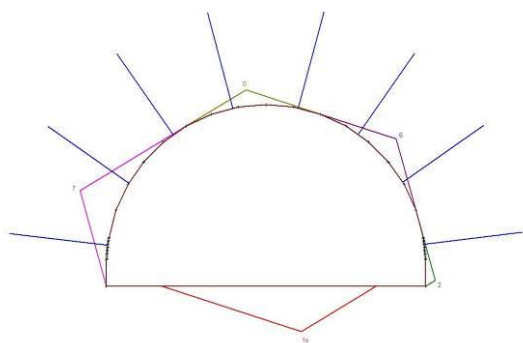


Corto plazo

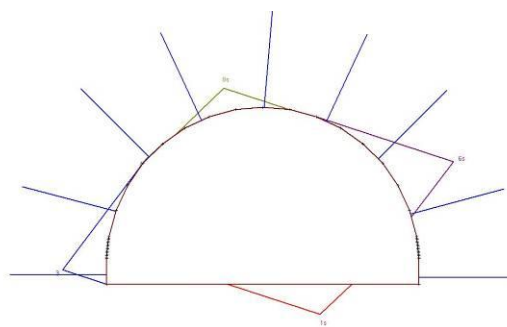
CORTO PLAZO. TRAMO 4 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
So/J1/J2C		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	13,304	Estable
2*	0,101	1,067
6	1,211	5,907
7	4,900	2,361
8	0,669	14,009

CORTO PLAZO. TRAMO 4 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
So/J2/J2C		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	4,950	Estable
3	8,412	14,681
4*	0,002	1,059
6	12,536	1,540
8	2,995	8,654

*Estas cuñas no quedan sujetas por ningún bulón con la distribución sistemática considerada, debido al pequeño tamaño de las mismas. Se ha comprobado que la aplicación de la capa de sellado (3 cm de hormigón proyectado HP-30), que no se ha tenido en cuenta inicialmente en los cálculos, sería suficiente para elevar su factor de seguridad por encima de 1,5.



So/J1/J2C



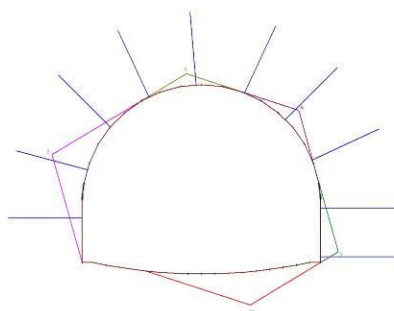
So/J2/J2C

Largo plazo

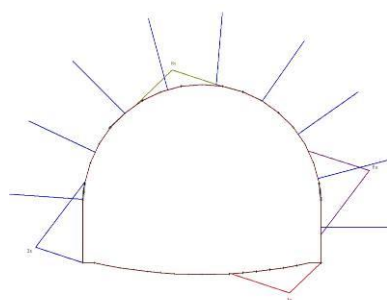
LARGO PLAZO. TRAMO 4 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
So/J1/J2C		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	12,498	Estable
2	1,330	15,676
6	1,211	4,285
7	10,149	2,147
8*	0,669	0,000

LARGO PLAZO. TRAMO 4 SARRATU-APERRIBAI. SOSTENIMIENTO TIPO I		
So/J2/J2C		
CUÑA	PESO (T)	FS
1	6,834	Estable
3	18,290	12,547
6*	0,002	1,059
7	20,383	2,327
8	2,995	2,759

*Estas cuñas no quedan sujetas por ningún bulón con la distribución sistemática considerada, debido al pequeño tamaño de las mismas. Se ha comprobado que la aplicación de la capa de sellado (3 cm de hormigón proyectado HP-30), que no se ha tenido en cuenta inicialmente en los cálculos, sería suficiente para elevar su factor de seguridad por encima de 1,5.



S_o/J1/J2C



S_o/J2/J2C

9.2.2 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES

Los resultados del análisis de estabilidad de bloques muestran que el sostenimiento previsto en el túnel de línea del tramo Sarratu – Aperribai es suficiente en general para estabilizar las posibles grandes cuñas que se formen, ya que los factores de seguridad que se obtienen superan el valor de referencia de 1,5. Hay algunos casos puntuales en los que el factor de seguridad es menor de este valor (pero siempre del orden o por encima de la unidad), en los cuales se ha previsto la ejecución de algún bulón adicional como refuerzo. Por otro lado, para las cuñas de pequeño tamaño que no pueden ser sujetadas por el sostenimiento sistemático, se ha comprobado que la colocación del hormigón proyectado previsto las estabiliza.

También se han estudiado las posibles cuñas que se pueden formar en el frente de avance del túnel, observándose que en ocasiones presentan factores de seguridad inferiores a la unidad. Sin embargo, teniendo en cuenta el corto espacio de tiempo durante el que estará abierto cada frente y los condicionantes cinemáticos en estos casos, se considera que su movilización sería difícil y que no es preciso prever medidas sistemáticas específicas para su estabilización. En cualquier caso, se preverá como tratamiento especial el gunitado del frente en algunas zonas.

10. PROCESO CONSTRUCTIVO

10.1 MODO DE EXCAVACIÓN

Los modos de excavación de túneles en roca son básicamente dos: el de perforación y voladura mediante la utilización de explosivos y el de excavación mecánica, bien mediante tuneladoras o topos bien mediante máquinas de ataque puntual (rozadoras o martillos de impacto).

Para elegir el sistema de excavación en un túnel concreto se manejan criterios de índole técnica y de índole económica. A continuación se recogen estos criterios y las conclusiones correspondientes al presente Proyecto.

10.1.1 EXCAVABILIDAD

Las propiedades de las rocas y macizos rocosos que más influyen en la excavabilidad son la resistencia mecánica y la abrasividad. También se recoge más adelante un comentario sobre la velocidad de las ondas sónicas.

10.1.1.1 RESISTENCIA MECÁNICA

Cuando la roca tiene una alta resistencia es obligado emplear la excavación mediante explosivos, mientras que si la resistencia es media o baja pueden emplearse indistintamente la excavación mecánica y la voladura. En este caso, se estima que la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa de las diversas formaciones afectadas por la excavación en túnel se encuentra en un rango medio-bajo.

10.1.1.2 ABRASIVIDAD

Existen diversos métodos para determinar la abrasividad de las rocas. Los más importantes son los siguientes:

- Abrasividad Cerchar

La abrasividad Cerchar se mide en laboratorio. El ensayo consiste en hacer pasar una aguja de acero terminada en forma cónica, sometida a la acción de un peso de 7 kg, sobre la superficie de una muestra hasta recorrer 10 mm. El resultado es el índice de abrasividad Cerchar, y es el diámetro de la superficie circular generada por desgaste en la aguja de acero expresado en décimas de mm.

En la siguiente tabla se recoge la clasificación Cerchar para la abrasividad de las rocas:

ÍNDICE CERCHAR	ABRASIVIDAD
> 4,5	Extremadamente abrasiva
4,25- 4,5	Altamente abrasiva
4,00 – 4,25	Abrasiva
3,50 – 4,00	Moderadamente abrasiva
2,50 – 3,50	Abrasividad media
1,20 – 2,50	Poco abrasiva
< 1,20	Muy poco abrasiva

En la tabla siguiente se recogen los valores máximos de abrasividad Cerchar obtenidos en cada una de las formaciones afectadas por el túnel en mina:

FORMACIÓN	ÍNDICE DE ABRASIVIDAD CERCHAR OBTENIDO	ABRASIVIDAD
CU-1, zona de limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas)	0,80	Muy poco abrasiva
CU-1, margas, margocalizas y calcarenitas	1,50	Poco abrasiva

Como puede observarse, se trata de materiales poco abrasivos o muy poco abrasivos, lo que concuerda con la naturaleza y composición química de las rocas.

- Abrasividad Schimazek

El coeficiente de abrasividad de Schimazek F_{schim} (N/mm) viene dado por la expresión:

$$F_{schim} = \frac{Q^* \cdot d_{50} \cdot RT}{10}$$

Donde:

- Q^* es el contenido de cuarzo equivalente en minerales abrasivos (%)
- d_{50} es el diámetro medio del grano de cuarzo (cm)
- RT es la resistencia a tracción (N/mm²)

Mediante el estudio con microscopio sobre láminas delgadas de la roca se puede determinar el tamaño medio de los granos de cuarzo y los minerales presentes en la roca.

En la determinación del diámetro medio del grano de cuarzo no se tiene en cuenta la existencia de los granos de cuarzo no visibles al microscopio, por lo que se debe aplicar una corrección mayorando por 1,40 el valor de d_{50} obtenido en laboratorio.

Como minerales de referencia de cara a la abrasión se toma la sílice libre. La cantidad de cuarzo equivalente es la suma de los porcentajes volumétricos de cuarzo, feldespato, filosilicatos y carbonatos afectados por un factor de ponderación de acuerdo a su diferente dureza.

A partir del índice Fschim se estima la rozabilidad de la roca, de acuerdo con la tabla que se recoge a continuación:

ÍNDICE Fschim (KN/m)	CALIFICACIÓN	m ³ /h
0,2-0,3	Muy buena	45-65
0,3-0,4	Buena	30-45
0,4-0,5	Moderada	20-30
0,5-0,6	Regular	15-20
0,6-0,8	Mala	10-15
0,8-1,0	Muy mala	6-10

También se muestran a continuación las condiciones de excavación mecánica en función del contenido equivalente de cuarzo:

Q* (%)	CONDICIONES DE EXCAVACIÓN MECÁNICA
< 40	Viable económicamente
40 – 60	Posible, los costes crecen con el Q*
60 – 80	Posible. Costes altos, rendimientos reducidos
> 80	Inviabile económicamente

En la tabla siguiente se recogen los valores máximos del índice F de Schimazek obtenidos en cada una de las formaciones afectadas por el túnel en mina y la rozabilidad en función de los mismos:

FORMACIÓN	ÍNDICE F DE SCHIMAZEK OBTENIDO	ROZABILIDAD
CU-1, zona de limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas)	0,129	Muy buena
CU-1, margas, margocalizas y calcarenitas	0,050	Muy buena

En la tabla siguiente se recogen los valores del contenido equivalente de cuarzo máximos obtenidos en cada una de las formaciones afectadas por el túnel en mina y las condiciones de excavación mecánica en función de los mismos:

FORMACIÓN	Q* (%)	CONDICIONES DE EXCAVACIÓN MECÁNICA
CU-1, zona de limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas)	33,21	Viable económicamente
CU-1, margas, margocalizas y calcarenitas	26,04	Viable económicamente

Como puede observarse, las formaciones CU-1 presentan rozabilidad muy buena y la excavación mecánica es viable económicamente en función del cuarzo equivalente.

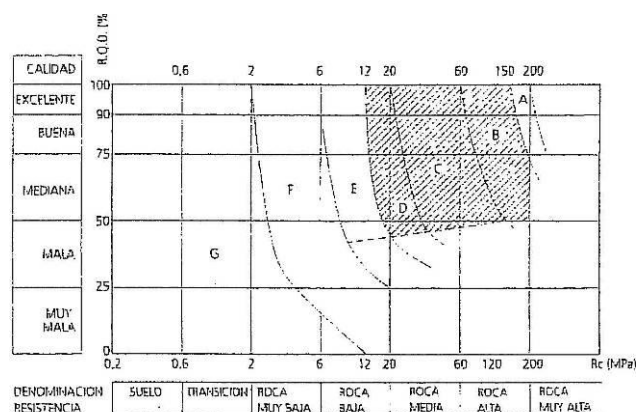
10.1.1.3 CRITERIOS DE EXCAVABILIDAD

Además de lo anterior, existen numerosos criterios para valorar la excavabilidad del terreno en los que se tienen en cuenta diferentes parámetros. En este caso se considerarán dos de ellos, teniendo en cuenta que se trata de criterios orientativos.

- Método de Romana

Este método se basa en dos parámetros de los macizos rocosos: resistencia a compresión simple de la matriz rocosa y fracturación del macizo (mediante el RQD).

La excavabilidad en función de la RCS y el RQD se representa en la figura siguiente:



Clasificación de los terrenos respecto a la excavabilidad mecánica (Romana, 1993)

Además, para cada zona se establece la posibilidad de empleo de los diferentes métodos mecánicos como se muestra en la tabla:

ZONA	TOPO		ROZADORA			MARTILLO	PALA
	>25t	<25t	>80t	50-80t	<50t		
A	Posible?						
B	Adecuado	Posible?	Posible?				
C	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado			
D	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Posible	Posible?	
E	Posible	Posible	Posible	Adecuado	Adecuado	Posible	Posible?
F				Posible	Adecuado	Adecuado	Posible
G					Posible	Posible?	Adecuado

En la siguiente tabla se recoge para cada formación afectada por el túnel en mina el rango de RCS de la roca matriz, el rango de calidad mayoritario observado y las condiciones de excavabilidad con medios mecánicos según este método:

FORMACIÓN	Rango RCS (MPa)	Rango calidad (RMR)	ZONA	EXCAVABILIDAD CON MEDIOS MECÁNICOS
CU-1, zona de limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas)	20	80 - 100	D	Rozadora >50 t
CU-1, margas, margocalizas y calcarenitas	20 – 25	80 - 100	D - C	Rozadora >50 t

Como puede observarse, en todos los casos parece posible el empleo de rozadoras de más de 50 t.

- Método de Gehring

Gehring (1997) estima la aplicabilidad de rozadoras y tuneladoras a partir de la resistencia a compresión simple y la abrasividad cerchar:

Terreno técnica y económicamente excavable con rozadora: $RCS \cdot CAI \leq 100$

Terreno técnica y económicamente excavable con tuneladora: $RCS \cdot CAI \leq 1000$

Donde:

- RCS es la resistencia a compresión simple (MPa)
- CAI es la abrasividad Cerchar representativa del material

En la siguiente tabla se recoge para cada formación afectada por el túnel en mina el rango de RCS de la roca matriz, la abrasividad Cerchar representativa y la conclusión de excavabilidad según este método de Gehring:

FORMACIÓN	Rango RCS (MPa)	Abrasividad Cerchar CAI	RCS·CAI	EXCAVABILIDAD
CU-1, zona de limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas)	20	0,80	16	Terreno técnica y económicamente excavable con rozadora
CU-1, margas, margocalizas y calcarenitas	20 – 25	1,50	37,5	Terreno técnica y económicamente excavable con rozadora

Según este criterio, todos los materiales serían excavables con rozadora.

10.1.1.4 VELOCIDAD DE LAS ONDAS SÓNICAS

Este parámetro, en concreto la velocidad de propagación de los impulsos ultrasónicos (ondas P), se ha obtenido en ensayos de laboratorio para las diferentes litologías. Es un criterio utilizado por numerosos fabricantes de maquinaria de excavación para determinar el modelo más adecuado en cada caso, como puede observarse en el cuadro siguiente propuesto por Wirtgen:

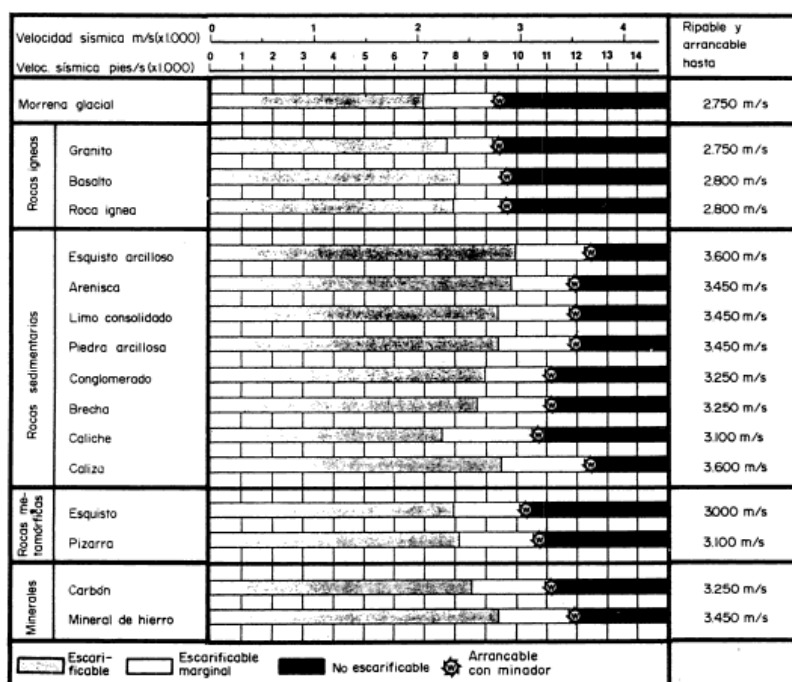


Figura 13.— Campos de aplicación económica de los minadores continuos horizontales (Wirtgen).

En el presente Proyecto, las velocidades de las ondas obtenidas (pueden asimilarse las ondas P a las ondas sísmicas a las que se hace referencia en el cuadro anterior) son de las siguientes:

FORMACIÓN	Velocidad de las ondas (m/seg)
CU-1, zona de limolitas (lutitas calcáreas con pasadas de areniscas)	3110
CU-1, margas, margocalizas y calcarenitas	4177

Teniendo en cuenta lo recogido en el cuadro anterior, todas las formaciones son rozables al presentar velocidades entre 3000 y 4000 m/seg o superarlo ligeramente.

10.1.2 FORMA Y DIMENSIONES DE LA SECCIÓN

Los topos o tuneladoras permiten únicamente perforar túneles de forma circular, por lo que en túneles ferroviarios como en este caso, que necesitan una base plana, se desaprovecha mucho espacio y el volumen de excavación es considerablemente superior al necesario.

Los restantes métodos (voladura y ataque mecánico puntual) no presentan limitaciones por la forma de la sección a excavar.

10.1.3 VIBRACIONES

Los explosivos generan unas vibraciones que hacen complicada la aplicación de este método en zonas urbanas o cerca de edificios habitados o de interés, mientras que los restantes métodos de excavación son mucho menos agresivos en este sentido.

En este caso el túnel proyectado transcurre por varias zonas urbanas y la cobertera prevista no es demasiado grande. También existen algunas infraestructuras principales. Por todo ello, y teniendo en cuenta la sensibilidad a las vibraciones ocasionadas por las voladuras, se considera poco recomendable emplear este método de excavación.

10.1.4 RENDIMIENTO/COSTE

La excavación con explosivos constituye el método idóneo para excavar macizos resistentes con buena calidad geomecánica, disminuyendo su rendimiento en materiales muy fracturados y/o alterados. Se trata de un método muy versátil y permite una gran movilidad y variedad de utilización, pero presenta los inconvenientes de la perturbación del macizo rocoso en el contorno de la excavación y de las sobreexcavaciones, para lo que hay que definir unas tolerancias máximas y prever técnicas que las minimicen (precorte en el contorno, tipo de explosivo, etc.).

La excavación mediante rozadora es un medio rápido para la excavación en rocas poco competentes, con mínima sobreexcavación. Por otra parte, presenta condicionantes como la posibilidad de averías de la máquina, la limitación de las dimensiones de la maquinaria para poder desarrollar las distintas fases de excavación y sostenimiento en el mínimo número de operaciones, etc. Este último aspecto se ha mejorado en los últimos años con el desarrollo de máquinas potentes de pequeño tamaño.

Los topes tienen un elevado coste de inversión inicial, la cual pasa a ser rentable a partir de una determinada longitud de túnel.

10.1.5 CONCLUSIONES Y MÉTODO DE EXCAVACIÓN PROPUESTO

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se propone el ataque puntual con rozadora como método de excavación más adecuado en este caso.

La excavación mecánica con topo queda desestimada por la longitud y geometría de la sección del túnel.

Por otra parte, desde el punto de vista de resistencia y abrasividad, es factible acometer la excavación mediante rozadora.

Las afecciones a terceros por vibraciones que ocasionaría la voladura en mucho mayor medida que cualquier otro método, es el principal motivo para descartarlo.

10.2 MÉTODO DE EJECUCIÓN

El sistema propuesto para la ejecución de las obras subterráneas previstas en el presente Proyecto de Construcción es el Nuevo Método Austríaco (NATM), que consiste básicamente en:

- Utilizar la propia roca como elemento resistente.
- Utilizar métodos de excavación que minimicen el daño inferido al macizo rocoso. En este caso se ha optado por la rozadora, en ningún caso se prevé la utilización de voladura
- Colocar sostenimientos inicialmente flexibles que protejan al macizo de los posibles daños (decohesión, meteorización, pérdida de dilatancia) y ejecutarlos a la velocidad adecuada en cada tipo de roca para evitar el comienzo de daños.
- Controlar mediante instrumentación la influencia del tiempo en el comportamiento de la masa rocosa.
- Construir el revestimiento definitivo, cuando sea necesario, lo suficientemente flexible con objeto de minimizar los momentos flectores.

10.2.1 FASES DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO

Para la ejecución de las obras subterráneas de mayores dimensiones (en este caso, del Grupo 3: túnel de línea, galería de ventilación de emergencia en túnel) se recurrirá a la excavación y sostenimiento por fases, lo cual es conveniente por varios motivos:

- Estabilidad del terreno: a menor sección de excavación, menores problemas de estabilidad. Cuando se excava una primera fase de dimensiones reducidas, los problemas que podría dar la roca serán menores y más fáciles de solucionar. Además, a la hora de excavar las siguientes fases ya se habrán detectado las zonas de mala calidad del macizo rocoso y se podrán disponer los medios adecuados para atravesarlas y estabilizarlas. Cuanto peor es la calidad de la roca, este aspecto es más determinante: en zonas de calidad muy mala no es posible excavar a sección completa.
- Alcance de la maquinaria: la maquinaria de uso habitual tiene un alcance limitado de 6 – 8 m salvo que se empleen modelos especiales. El excavar secciones de mayor altura dificulta las tareas de sostenimiento (gunitado, colocación de bulones, cerchas, etc.), así como de excavación según el método empleado.
- Rendimiento: mediante la excavación por fases pueden obtenerse mayores rendimientos, puesto que es posible que diferentes equipos trabajen simultáneamente en fases distintas, separados una cierta distancia. Puede conseguirse así un progreso más rápido que el que se conseguiría a sección completa.

En el caso de las **obras subterráneas pertenecientes al Grupo 2**, la secuencia de excavación y sostenimiento será a sección completa, excepto en los casos en los que el macizo es de mala calidad ($RMR < 40$), en los que se excavará en fases de avance y destroza.

En el caso del **túnel de línea y demás obras subterráneas pertenecientes al Grupo 3**, la secuencia de excavación y sostenimiento será:

- Avance
- Destroza

11. TRATAMIENTOS ESPECIALES

Los tratamientos especiales se usan de forma puntual, con objeto de atravesar zonas muy concretas de terreno. Se aplicarán, eventualmente, diversos tipos, según la parte del túnel que sea necesario estabilizar: clave, frente o solera.

A continuación se describen los tratamientos especiales que podrían ser de aplicación en este caso:

11.1 TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN DE LA CLAVE

- Paraguas de micropilotes (pesado): Consiste en la colocación de micropilotes paralelos al túnel en la parte alta del frente. Los micropilotes serán de camisa de 114 mm de diámetro y espesor de 3 – 4 mm, inyectados con lechada en perforación de 150 mm de diámetro. Este paraguas actúa como una viga, por lo que será necesario apoyarlo en cerchas conforme se amplía el avance. Se aplica en zonas de roca muy fracturada o alterada, en la que se produce desprendimientos o decompresiones importantes en la bóveda al realizar la excavación. Si la zona a atravesar es amplia, se colocan paraguas sucesivos con un solape de 2 m mínimo.

Podría ser de aplicación en las siguientes zonas: tramo entre los PK 0+502,8 y 0+574,3, en el tramo subfluvial y en el tramo de falla entre los PKs 1+002,5 y 1+042,5.

- Bulones de gran longitud: en aquellas zonas donde la fracturación presente mayor longitud que en el frente y para la que se estime una baja resistencia al corte sería conveniente emplear bulones de gran longitud (hasta 12 m) para estabilizar las posibles cuñas o bloques de roca inestables que puedan descalzarse.

Podría ser de aplicación en las siguientes zonas: tramo entre los PK 0+574,3 y 0+784, y zona de presencia de calizas (PK 1+042,5 a 1+214).

- Gunita sobreacelerada: cuando se produzca una descompresión en el terreno que genere un desprendimiento progresivo de la bóveda, se podrá emplear gunita sobreacelerada para contener esta rotura. Este tipo de hormigón proyectado presenta una dosificación de acelerante superior a la gunita normal, lo que le permite desarrollar altas resistencias iniciales. No es conveniente abusar del acelerante, ya que en altas dosificaciones puede impedir que se alcance la resistencia deseada a los 28 días. Es preferible aplicarla por vía seca, ya que la alta velocidad de proyección de esta técnica mejora la resistencia a largo plazo.

Podría ser de aplicación en las siguientes zonas: tramo entre los PK 0+502,8 y 0+574,3 y en el tramo subfluvial.

11.2 TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN DEL FRENTE

- Machón central: Consiste en no excavar el frente en su totalidad, dejando en el centro del mismo un contrafuerte o machón que resista los posibles empujes del terreno del frente. Los hastiales y la clave deben quedar en su posición, con objeto de poder colocar el sostenimiento.

Podría ser de aplicación en el tramo subfluvial, donde el túnel transcurre bajo el río Nervión y se estima la existencia de una falla.

- Sellado del Frente: consiste en realizar un gunitado del frente con un espesor de 5 cm. Con ello se consigue que el terreno no se altere ni se descomprima, y también que las posibles entradas de agua puedan lavar las juntas o arrastrar roca suelta. Otra ocasión en que podría ser de aplicación este tratamiento es en caso de que se paralice o ralentice la excavación en avance y se considere oportuno para incrementar la seguridad (formación de cuñas potencialmente inestables en el frente, o en terreno de calidad baja).

Podría ser de aplicación en las siguientes zonas: tramo entre los PK 0+502,8 y 0+574,3, en el tramo subfluvial, en zonas de falla (PKs 1+002,5 a 1+042,5).

11.3 TRATAMIENTOS FRENTE A INFILTRACIONES DE AGUA

Estos tratamientos podrían ser de aplicación en las zonas de falla.

- Drenaje y agotamiento de grandes caudales: permite eliminar las aguas a presión existentes dentro del macizo rocoso. El efecto más perjudicial del agua en el terreno es el de favorecer los deslizamientos de cuñas y bloques actuando en las juntas de la roca y disminuyendo la cohesión del relleno de éstas. También se logra gracias a los drenajes concentrar en unos pocos puntos la entrada de agua al túnel, con lo que se facilita enormemente el gunitado y en general todos los trabajos de excavación y sostenimiento. Se llevarán a cabo taladros o sondeos radiales para instalar drenes donde se haya detectado afluencia de agua importante.
- Inyecciones perimetrales: se realizan en el contorno del túnel, tanto en bóveda como en hastiales y solera, con la finalidad de aislar hidráulicamente al túnel de algún acuífero o zona cargada de agua que pueda localizarse. Las inyecciones serían repetitivas mediante la técnica de tubo manguito. Los parámetros de inyección deberán ajustarse en cada caso (presión límite, relación agua cemento, pasadas de inyección, espaciado, replanteo de los taladros, etc.).

11.4 TRATAMIENTOS DE CAVIDADES KARSTICAS Y HUECOS

Estos tratamientos podrían ser de aplicación esporádica y puntual en el tramo comprendido entre el PK 1+042,5 y el PK 1+214, donde se ha detectado presencia de litologías calizas.

- Tapes de hormigón: son encofrados perdidos, ejecutados fundamentalmente con chapa Bernold, que se colocan siguiendo el perímetro de la excavación para rellenar de hormigón huecos en el perímetro del túnel.
- Taladros de exploración a rotopercusión: en caso de que se detecte posibilidad de que aparezcan cuevas o huecos con dimensiones considerables, se procederá a ejecutar taladros de exploración en el frente y perímetro del túnel para comprobar y localizar los posibles huecos.
- Consolidación de cuevas o huecos con relleno blando: en caso de que se detectaran huecos o cavidades con relleno blando, se procederá a la inyección de lechada para su relleno, mediante tongadas horizontales de 0,50 m de altura y hasta alcanzar un espesor de 2,00 m sobre la clave del túnel.

12. CONTROL GEOTÉCNICO Y AUSCULTACIÓN

En las obras subterráneas es imposible alcanzar a priori un conocimiento preciso de las características geológicas y geotécnicas del terreno que se verá afectado por la excavación. Por este motivo, durante la redacción del proyecto es obligado estimar y extrapolar datos geológicos y geotécnicos, así como asumir simplificaciones, especialmente en los parámetros y esquemas de cálculo estructural del túnel.

La técnica moderna de diseño y ejecución de túneles requiere de un sistema de toma de datos geológicos y geotécnicos en obra que permita contrastarlos con los datos estimados durante la redacción del proyecto, detectar divergencias y recalcular estructuralmente el túnel en caso de que sea necesario, modificando y adecuando a las condiciones reales los sostenimientos a aplicar.

Este aspecto es fundamental en casos como el que nos ocupa, en el que los túneles se proyectan y ejecutan según el Nuevo Método Austriaco (NMA), ya que forma parte de su planteamiento el seguimiento geotécnico, el control de ejecución y la auscultación en continuo durante la ejecución, con objeto de validar y/o ajustar las medidas de sostenimiento y secuencia de ejecución en función del grado de aproximación de las condiciones y comportamientos reales a lo estimado en el proyecto. El incumplimiento del exhaustivo seguimiento y control en obra desvirtúa el método y es por tanto imprescindible llevarlo a cabo.

12.1 CONTROL GEOTÉCNICO

12.1.1 EJECUCIÓN DE SONDEOS DE RECONOCIMIENTO EN EL FRENTE

Deberán realizarse sondeos de forma paralela a la traza del túnel con la finalidad de conocer las características del macizo rocoso previamente a su excavación para obtener a priori más datos sobre las características y calidad del terreno que se atravesará en los pases siguientes, y que también podrán aprovecharse como drenaje en caso de que se detecte presencia de agua o para conocer y tratar la existencia de huecos en el terreno.

Una práctica habitual es aprovechar la parada en fin de semana para llevar a cabo un sondeo horizontal en el frente cuya longitud será la del tramo que se prevé avanzar durante la semana siguiente.

La testificación de este sondeo se llevará a cabo por parte de un técnico especialista y se determinarán diversos aspectos como la litología, la calidad del macizo, la presencia de agua, etc., pudiendo también tomarse testigos para su ensayo en laboratorio en caso de que se considere oportuno (ensayos de resistencia de la roca, de agresividad, de abrasividad, etc.).

12.1.2 CONTROL GEOTÉCNICO DE LOS FRENTEROS DE EXCAVACIÓN

Es necesario realizar un control geotécnico mediante inspección directa del terreno durante la excavación. Dicho control se llevará a cabo por personal especializado que actuará a pie de obra.

El control geotécnico de los frentes de excavación tiene como objetivos:

- Valorar las condiciones geotécnicas del terreno, recopilando y registrando los datos obtenidos.
- Relacionar estos datos con los procedentes de la auscultación y otros posibles ensayos realizados.
- Comprobar que el tipo de sostenimiento definido en el proyecto es el adecuado en función de la calidad geotécnica de la roca observada en el frente de excavación.

El especialista situado a pie de obra realizará una inspección del frente que le permitirá caracterizar el terreno que se excava y determinar la calidad del macizo. Se levantará el frente en cada pase de excavación.

Con el fin de facilitar la labor del especialista y tener un seguimiento correcto del control geotécnico, la caracterización del macizo rocoso se recogerá en unas fichas en las que se indicará la geología observada en el contorno de la excavación y en el frente, el tipo de roca que se observa, su densidad aproximada, grado de meteorización, presencia de agua, orientación, espaciamiento y estado de discontinuidades, resistencia a compresión simple y RQD. Sobre la base de estos datos se determinará el índice de calidad RMR de Bieniawski, no pudiéndose modificar el sistema de clasificación geomecánica ni estimar el índice RMR a partir de correlaciones matemáticas con otros índices. Igualmente se registrarán todos los datos procedentes de la auscultación que, a juicio del especialista, resulten relevantes.

12.2 AUSCULTACIÓN

Se conoce por auscultación al conjunto de labores necesarias para el control del comportamiento de una excavación subterránea, centrándose en la observación sistemática del comportamiento estructural de las secciones de sostenimiento y en la vigilancia de transiciones o accidentes geológicos particulares de la traza.

Los datos de instrumentación deben estar correlacionados con las observaciones geológicas de la excavación realizadas por personal especializado. Se llevará a cabo un seguimiento, evaluación e interpretación inmediata de todos los datos de auscultación. De esta forma será posible la interpretación correcta de la auscultación y se agilizará la toma de decisiones y acciones correctivas necesarias.

12.2.1 PARÁMETROS DE CONTROL

La función básica de la auscultación es medir los movimientos en el terreno, centrándose en el control a lo largo de los túneles de los siguientes parámetros:

- Desplazamientos en el contorno del túnel: En el presente proyecto, esta es la función básica de la auscultación. Consiste en la medición de la deformación relativa entre puntos interiores a la sección excavada (convergencias). Se controlará tanto el valor de la deformación como la velocidad de deformación, instalándose a lo largo del túnel una serie de estaciones de convergencia.
- Movimientos en el interior del macizo rocoso: Se medirán en aquellos puntos donde se desee llevar a cabo un control más exhaustivo de la excavación (secciones singulares, zonas de mala calidad del macizo, etc.). Consiste en el control de la deformación en el trasdós de la excavación como respuesta a la relajación tensional del terreno o descompresión. Se instalarán extensómetros de varillas.
- Desplazamientos y deformaciones en superficie: Se medirán los movimientos del terreno y se controlarán las estructuras, servicios y edificios potencialmente afectados.

También se considera oportuno llevar a cabo una inspección de las edificaciones y estructuras de la zona previamente al inicio de las obras con objeto de conocer su estado (existencia de posibles patologías) y características, y contar con información de partida para valorar posibles incidencias durante la excavación del túnel.

12.2.2 TIPOS DE INSTRUMENTOS, CARACTERÍSTICAS Y COLOCACIÓN

Los equipos que se emplearán en la auscultación del túnel son los siguientes:

Medida de desplazamiento en el contorno del túnel

- CINTA DE CONVERGENCIA Y PERNOS

Es el equipo que se emplea para realizar medidas de convergencia. Estas medidas se basan en la determinación de la variación que experimenta la medida de la distancia existente entre dos puntos del túnel y representan por tanto el movimiento de forma cualitativa. Dicha determinación es suficiente ya que realmente lo que se busca es conocer si la deformación se estabiliza y el tiempo que tarda en hacerlo. También servirá de elemento de comparación de las distintas calidades geomecánicas de la roca.

La cinta de convergencia consiste en una cinta extensométrica de acero inoxidable con orificios equiespaciados de alta precisión con dos ganchos en cada uno de sus extremos, la

cinta incorpora un dispositivo de tensado y un reloj comparador con una resolución de 0,05 mm. La precisión será como mínimo de $\pm 0,1$ mm en una luz de 30 m.

La instalación del equipo consiste en la colocación de pares de pernos anclados mediante resina al terreno.

Movimientos en el interior del macizo rocoso

- **EXTENSÓMETRO DE VARILLAS**

El objeto básico es conocer las deformaciones en el interior del macizo rocoso, debido a la relajación producida en el terreno por la excavación. Mediante el extensómetro se pueden conocer zonas comprimidas o traccionadas, zonas activas y planos de deslizamiento y zonas sin tensiones, además de tensiones, una vez conocidas las características de deformabilidad del macizo rocoso.

Los extensómetros son unos equipos que se instalan en taladros y consisten en un sistema de varillas y un reloj comparador que mide el movimiento relativo entre la cabeza del taladro y el extremo de la varilla que se ancla al terreno. En la boca del taladro se sitúa la cabeza lectora compacta y estanca, que incluye sensores potenciométricos de baja linealidad e inalterables en ambientes de alta humedad. Se trata de una medida de movimiento relativa.

El extensómetro que se empleará está formado por un taladro en el que se alojan 3 varillas de fibra de vidrio de reducido coeficiente de dilatación térmica y de distintas longitudes. Las varillas están protegidas con una vaina de plástico excepto en su parte final, que será la que se ancle al terreno.

Los anclajes del extensómetro serán hidráulicos, unidos a la roca por medio de una lechada de cemento ligeramente expansiva y rica en agua. Cada anclaje hace posible la transmisión de movimientos a la cabeza del taladro mediante el varillaje.

El equipo debe ser capaz de detectar movimientos de hasta ± 0.2 mm. Se realizarán las lecturas a distancia, desde una caja de registro accesible, no produciéndose pérdidas de precisión en la señal y de forma que no se interfiera en las labores propias del frente de trabajo.

Su instalación consiste en la perforación de un taladro de diámetro adecuado en el que se introduce el sistema de varillaje (102 mm aproximadamente). A continuación se inyecta mortero en el taladro con lo que se consigue anclar cada varilla a profundidades distintas.

En la cabeza del taladro se coloca una pieza especial que permite leer la posición de cada varilla de forma automática mediante un potenciómetro, el cual puede estar conectado a un armario de control que centraliza las medidas.

Los extensómetros pueden ser de exterior o de interior, y es recomendable colocarlos coincidentes con las secciones de control de convergencias, para así contar con más datos y poder realizar un control más exhaustivo. Los extensómetros de interior se instalan desde la propia excavación y suelen disponerse tres: uno en clave y dos en bóveda-hastiales. Los de exterior se ejecutan en superficie, formando una alineación recta transversal a la traza, y si es posible también se instalan tres: uno sobre el eje del túnel en planta y dos junto a los hastiales o lo más cerca posible (la localización y ejecución de esta instrumentación está sujeta a la disponibilidad de espacio y posibilidad de medida posterior).

Movimientos en superficie

- HITOS DE NIVELACIÓN, DIANAS, REGLETAS DE NIVELACIÓN, PRISMAS TOPOGRÁFICOS Y CLINÓMETROS DE PARED

El control de deformaciones en superficie se llevará a cabo mediante hitos de nivelación, y las dianas, prismas topográficos, regletas de nivelación y clinómetros de pared se emplearán para control de edificaciones y estructuras. En este caso, al transcurrir el túnel por zona urbana, es fundamental el conocimiento de estos parámetros.

Los hitos estarán empotrados en el terreno y se protegerán mediante tapa o arqueta herméticas.

En cuanto a los clinómetros, se colocarán anclados a la estructura a controlar y el sensor utilizado tendrá una resolución mayor de 0,001 grados.

Finalmente, las dianas, prismas y las regletas de nivelación se colocarán ancladas también a la estructura a controlar.

Tanto los hitos como las dianas, prismas y regletas de nivelación estarán referenciados siempre a una base fija fuera de la zona de influencia de la excavación. La precisión de medida será de 1 mm.

12.2.3 PROPUESTA DE AUSCULTACIÓN. SECCIONES DE CONTROL Y ZONAS SINGULARES

En el Anejo 19, Incidencia en el entorno urbano, se recoge un inventario de los edificios existentes en las cercanías de la traza túnel de línea (en una franja de 2 diámetros a cada lado del túnel en planta y de dos diámetros sobre clave en alzado). Como puede observarse, se trata de naves o edificios industriales. Dadas sus características y la cobertera con la que transcurre el túnel bajo esta zona, se recomienda llevar a cabo una inspección previa al inicio de las obras del estado de estas edificaciones, y en varias de ellas se ha propuesto una auscultación en superficie, la cual podrá adaptarse, ampliarse o durante el proceso de excavación en mina y sostenimiento del túnel/galería.

Por otra parte, como puntos destacables a lo largo del trazado del túnel de línea que se excavará en mina cabe señalar la zona del emboquille en Sarratu, donde transcurrirá bajo vías de FEVE y Euskotren en servicio actualmente, y el paso bajo la carretera N-634 en el barrio de Aperribai donde el túnel transcurre bajo la misma con escasa cobertera en roca sana. También hay que citar como zona a auscultar con mayor intensidad, aunque no por posibles afecciones a terceros sino por complejidad geotécnica, el paso bajo el río Nervión. También serán objeto de auscultación más intensa los tramos en los que se ha previsto atravesar alguna zona de falla o contacto mecánico.

En el plano 23 Auscultación y control del Documento nº2 Planos, se recoge una planta del trazado en la que se recopilan y señalan todas las medidas y sistemas de auscultación propuestos, tanto a cielo abierto (que queda fuera del ámbito del presente Anejo) como de los tramos excavados en mina. Además, en el plano 9.7 del citado Documento nº2 se recogen detalles de los elementos de auscultación y secciones transversales de control exterior propuestas para las obras subterráneas en este tramo.

Medida de desplazamiento en el contorno del túnel

La interdistancia entre las secciones de auscultación con convergencias será sistemáticamente de 25 m, reduciéndose hasta los 10 m en aquellas zonas donde se prevean mayores dificultades (cercanas a fallas, etc.). y eventualmente en otros puntos que la Dirección de Obra considere de interés. A criterio de la Dirección de Obra la distancia de 25 m podrá variar, pero en ningún caso deberá superar los 40 m. Se instalará al menos una sección de medida en los 10 primeros metros de túnel, con el fin de controlar los movimientos en la zona de emboquille. Debido a la singularidad de los emboquilles del túnel en Sarratu (PK 0+400) y de la galería de emergencia de Ariz, en los que se dispondrán paraguas de micropilotes hasta alcanzar una cobertera de roca sana adecuada, se ha previsto disponer en los tramos que se excavarán al amparo de dichos paraguas secciones de medida cada 10 metros.

En cada sección de control en túnel de línea y en las galerías de emergencia del Grupo 3 se instalarán un total de 5 pernos de medida. Durante la excavación de la sección de avance se instalarán dos pernos diametralmente opuestos respecto al eje del túnel, en los hastiales a 1,5 metros por encima de la base de la sección de avance y uno en la clave. Durante la excavación de la destroza se instalarán otros dos pernos en los hastiales diametralmente opuestos 1,5 metros por encima de la base de la sección de destroza.

Movimientos en el interior del macizo rocoso

Los extensómetros se colocarán en puntos en los que se prevean las mayores deformaciones (zonas de calidad muy mala del macizo o de cobertera escasa, inferior a un diámetro de túnel, zonas de entronque del túnel con galerías de emergencia, etc.) y/o puedan afectar a terceros en

superficie (edificios, servicios, viales, etc.), y eventualmente allí donde la Dirección de Obra considere de interés.

En este caso, se propone la instalación de dos secciones de extensómetros de exterior en la zona de paso del túnel de línea bajo la carretera N-634 a la altura del barrio de Aperribai, ya que se trata de una vía con alta intensidad de tráfico y existe una pasarela peatonal en la zona por debajo de la cual el túnel pasa con menos de un diámetro de cobertera en roca sana. No se ha contemplado ejecutar extensómetros sobre el eje del túnel puesto que habría que cortar algunos carriles de la carretera para ello, aunque si durante la obra se ve viable sería interesante instalarlos también. Se han propuesto dos extensómetros por sección, junto a los hastiales. La ventaja en el caso del túnel de línea de los extensómetros de exterior con respecto a los de interior es que los primeros pueden instalarse con antelación a que la excavación del túnel llegue a la zona y es posible así controlar la evolución de los movimientos en un período de tiempo más largo y ver la influencia del acercamiento y paso del frente. Los extensómetros de interior sólo pueden ejecutarse una vez excavada la sección, por lo que proporcionan menos información en estos puntos cuyo control es importante.

Los extensómetros de exterior propuestos tendrán una longitud total de 15 m y las varillas se anclarán en roca, a 7, 12 y 15 m de profundidad.

En cuanto a los extensómetros de interior, se han previsto en las zonas de control de convergencias cada 10 m (pasos de falla, entronques, zonas de poca cobertera o paso subfluvial).

Movimientos en superficie

La localización de los dispositivos de medida es orientativa, se ha realizado como propuesta teniendo en cuenta el entramado urbano, las edificaciones y servicios existentes y las zonas o tramos especialmente sensibles. Se plantean alineaciones transversales al túnel en planta, consistentes en hitos de nivelación en superficie.

Se han previsto una serie de secciones de hitos (entronque de la Galería de emergencia de Ariz con el túnel de línea, paso bajo la N-630), recomendándose que una o varias de ellas coincidan con secciones de control de convergencias en el interior del túnel.

Los hitos de nivelación se disponen también junto a los extensómetros de exterior que se coloquen, con objeto de dotarles de un punto de referencia en cabeza al que asociar los posibles movimientos que registren.

En este caso el túnel de línea transcurre bajo zonas de polígonos industriales con una cobertera superior a 1 diámetro de túnel en roca sana y no se consideran en principio edificaciones demasiado susceptibles. En cualquier caso, se han previsto elementos de auscultación asociados a

las edificaciones existentes sobre la traza del túnel, consistentes en hitos de nivelación en superficie, y regletas de nivelación y clinómetros de pared adosados a las fachadas de los edificios. En concreto, se ha previsto su instalación en las edificaciones existentes entre el PK 0+580 y 0+780, y entre el PK 0+900 y el PK 1+000. Esta disposición podrá adaptarse en obra, siempre teniendo en cuenta que será obligado por parte del Contratista conocer y controlar cualquier posible efecto de las obras sobre las edificaciones o infraestructuras existentes.

12.2.4 LECTURAS A REALIZAR Y FRECUENCIA

- Medidas de convergencia

La medida de convergencias a realizar, tanto en el avance como en la destroza es la distancia entre los dos puntos de los hastiales y de cada uno de estos con la clave.

El criterio de signos que se utilizará será el siguiente:

- Convergencia positiva: cierre de la sección
- Convergencia negativa: apertura de la sección

Las medidas se empezarán a realizar a una distancia al frente entre 0,5 – 1 diámetro de la excavación, y en todo caso dentro de las 24 horas siguientes a la finalización de la instalación del sostenimiento de la sección.

Los resultados se representarán en una serie de curvas convergencia - tiempo, convergencia - distancia al frente, velocidad de convergencia - tiempo y velocidad de convergencia - distancia al frente.

La sección de medida debe colocarse lo más rápidamente posible tras la excavación, ya que si no se perderían gran parte de las deformaciones producidas: por lo general desde que se excava hasta que se puede medir la deformación se ha perdido un 50% del movimiento total.

Las medidas se recogerán en un registro de lecturas, que además deberá contener los siguientes datos:

- Identificación del tajo
- Número de la sección instrumentada
- PK
- Cobertera de la sección
- Tipo de terreno excavado
- Fecha de paso
- Distancia al frente al realizar la primera lectura

- Croquis de la sección con indicación de las lecturas a realizar
- Calidad del macizo atravesado (FMR)
- Sección tipo instalada
- Fecha de la completa y correcta ejecución del sostenimiento

Diariamente, el Contratista deberá suministrar a la Asistencia Técnica las medidas realizadas durante la jornada de trabajo anterior, en formato excel y con un archivo para cada sección de auscultación.

Las medidas del Contratista deberán ser realizadas en presencia de un vigilante de la Asistencia Técnica.

La unidad de Asistencia Técnica realizará mediciones de contraste en aquellas secciones de convergencia que considere necesario, para lo cual dispondrá de su propio equipo y realizará una medición inicial de todas las secciones de control.

Para las medidas de convergencia, la periodicidad de la toma de medidas deberá adaptarse a la evolución del comportamiento del terreno durante la ejecución. Como norma general se aplicarán los siguientes criterios:

Excavación de la sección de avance:

- En frentes activos, si la distancia del frente a la sección instrumentada es inferior a 30 m, se realizarán lecturas diarias.
- En frentes activos, si la distancia del frente a la sección instrumentada está entre 30 y 50 m, se realizará una lectura cada cuatro días naturales.
- Si la distancia del frente a la sección es mayor de 50 m, la frecuencia de lecturas se desarrollará de acuerdo con la siguiente tabla:

Frecuencia	Velocidad de deformación (V)
Diariamente	$V \geq 0,5 \text{ mm/día}$
Una cada 4 días	$0,2 \text{ mm/día} \leq V \leq 0,5 \text{ mm/día}$
Una cada 14 días	$0,1 \text{ mm/día} \leq V \leq 0,2 \text{ mm/día}$
Una cada mes	$0,05 \text{ mm/día} \leq V \leq 0,1 \text{ mm/día}$
Una cada 2 meses	$0,005 \text{ mm/día} \leq V \leq 0,05 \text{ mm/día}$
Una cada 3 meses	Hasta la ejecución del revestimiento

Excavación de la sección de destroza:

Se volverá a realizar de nuevo una lectura diaria cuando a la excavación de la destroza le falten dos diámetros para alcanzar la correspondiente sección de convergencia. Una vez que la excavación sobrepase en dos diámetros dicha sección se aplicarán los mismos criterios de frecuencia que los utilizados para la sección de avance.

- Extensómetros de varillas

En los extensómetros de exterior, como ya se ha expuesto anteriormente, es posible su instalación y el inicio de la toma de medidas con antelación a que comience a notarse en esos puntos la influencia del frente de excavación. Así, puede conocerse la evolución de las deformaciones en el macizo en su estado original, durante el acercamiento del frente de excavación y con el progreso del mismo una vez superado ese punto y sostenida la sección.

Para las medidas de movimientos en el interior del macizo, el criterio de signos que se utilizará será el siguiente:

- Deformación positiva: acortamiento
- Deformación negativa: extensión

Los resultados se representarán en una serie de curvas, como deformación - tiempo y deformación - distancia al frente.

Las medidas se recogerán en un registro de lecturas, que además deberá contener los siguientes datos:

- Identificación del tajo
- Número de la sección instrumentada
- PK
- Cobertera de la sección
- Tipo de terreno excavado
- Fecha de paso
- Distancia al frente al realizar la primera lectura
- Croquis de la sección con indicación de las lecturas a realizar
- Calidad del macizo atravesado
- Sección tipo instalada
- Fecha de la completa y correcta ejecución del sostenimiento

- El Contratista realizará de modo habitual las mediciones de las distintas secciones, para lo cual dispondrá de los aparatos adecuados. Diariamente el Contratista suministrará a la Asistencia Técnica las medidas realizadas durante la jornada de trabajo anterior, en formato excel y con un archivo para cada sección de auscultación.

Las mediciones por parte del Contratista deberán ser realizadas en presencia de un vigilante de la Asistencia Técnica.

La frecuencia de lecturas será la misma que se ha señalado para las medidas de convergencia. Se empleará para ello un equipo de automático de control centralizado.

Con las lecturas obtenidas mediante el extensómetro se realizarán dos tipos de gráficos: uno en el que se indica en el eje de abscisas el tiempo al origen en días y en el eje de ordenadas la deformación sufrida por cada anclaje en mm/m, y otro en el que se indica en abscisas la distancia al frente y en ordenadas la deformación sufrida por cada anclaje en mm/m.

Con los datos de los extensómetros, situados en clave y hastiales se dibujará un mapa de isolíneas más o menos concéntricas al eje de la galería en la que se establezca la distribución de las deformaciones en el entorno de la excavación.

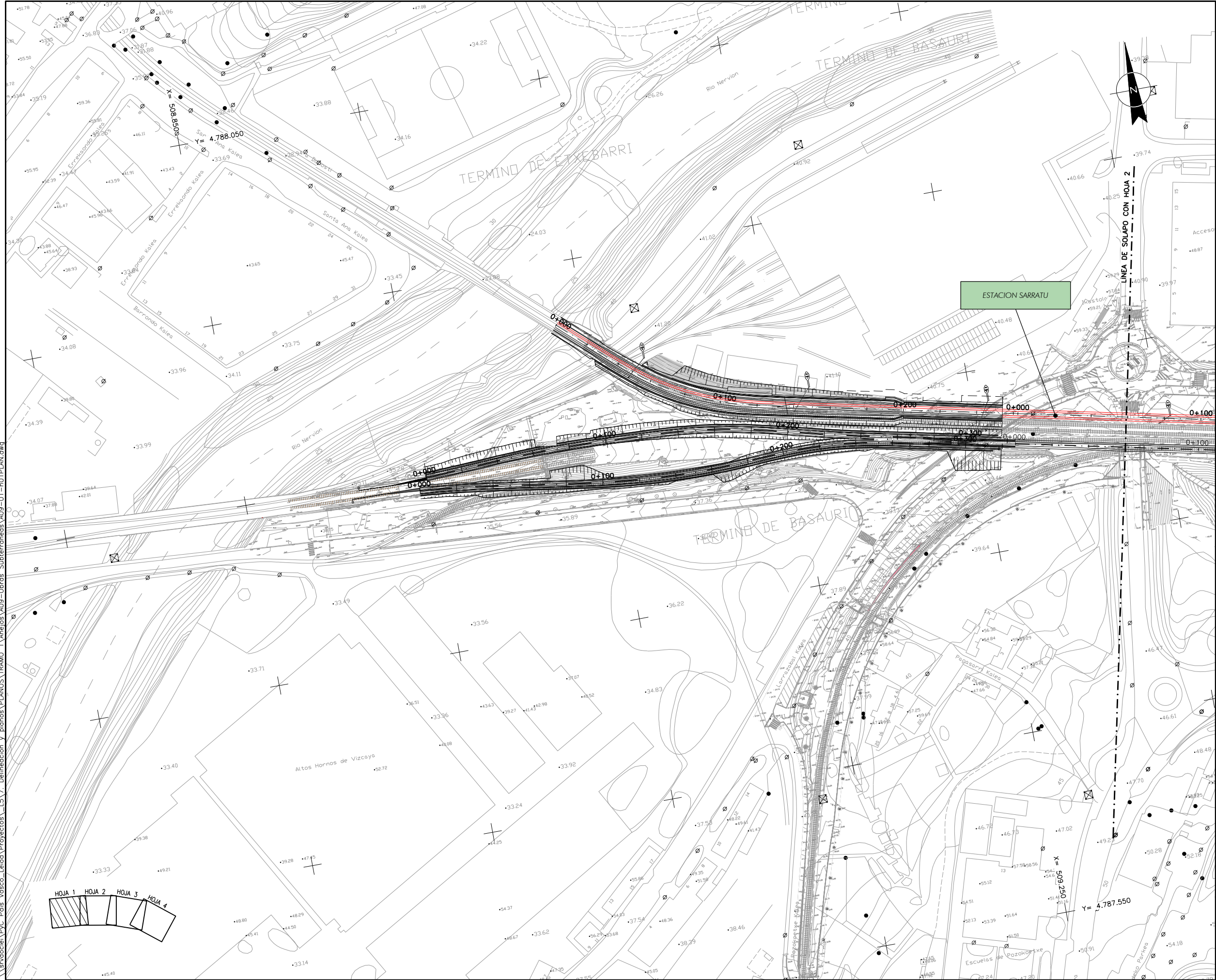
- Hitos, regletas de nivelación, dianas, clinómetros de pared

Para el control de movimientos en superficie, se llevará a cabo una medida inicial antes de que la excavación del túnel afecte a cada punto, y posteriormente se acompasarán con la toma de medidas de las secciones de interior y exterior coincidentes o más cercanas.

Se recogerán en gráficas las medidas obtenidas, representando los valores con el tiempo y también con la distancia del frente a cada punto de control.

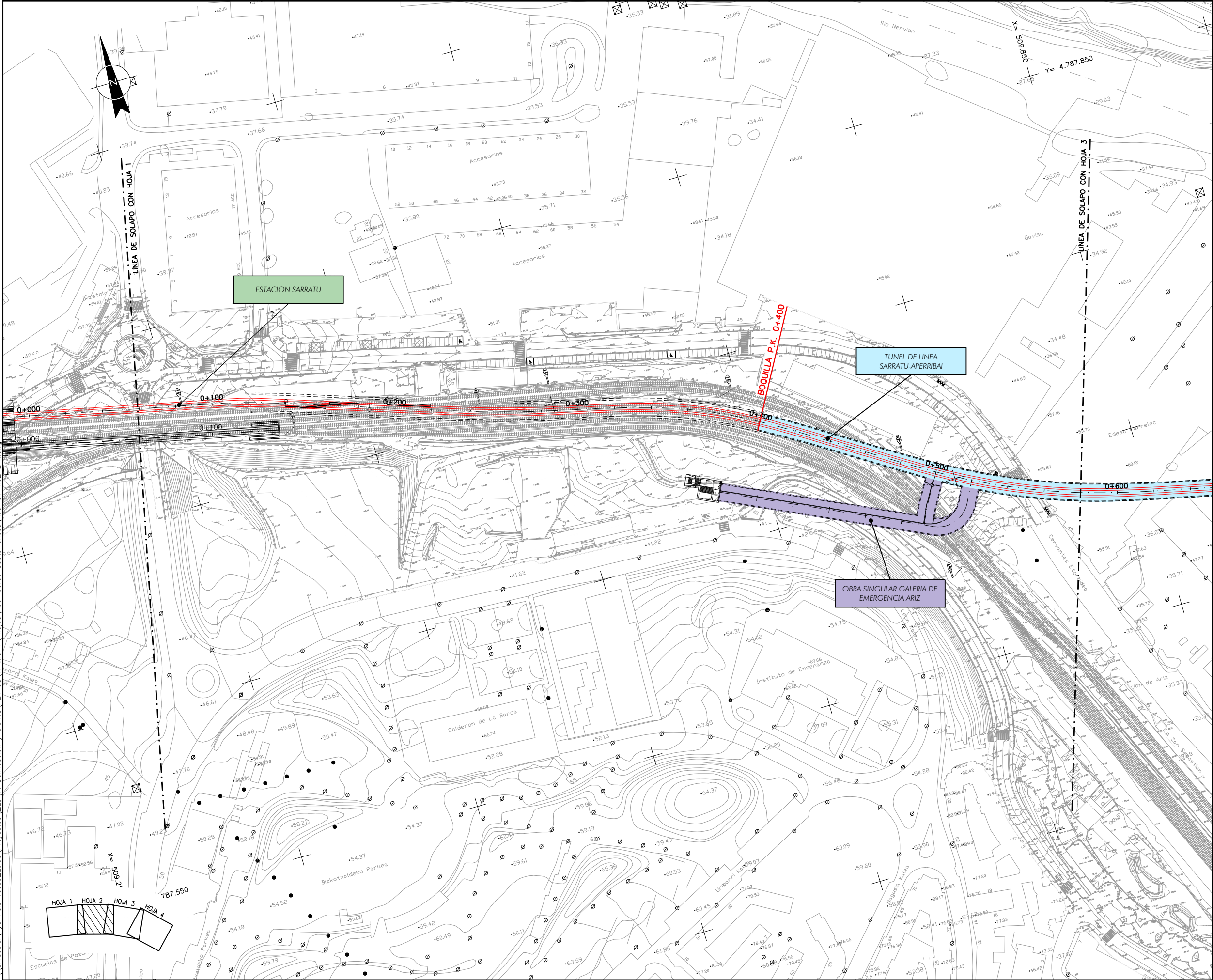
APÉNDICE N°9.1

Trazado en planta. Obras subterráneas



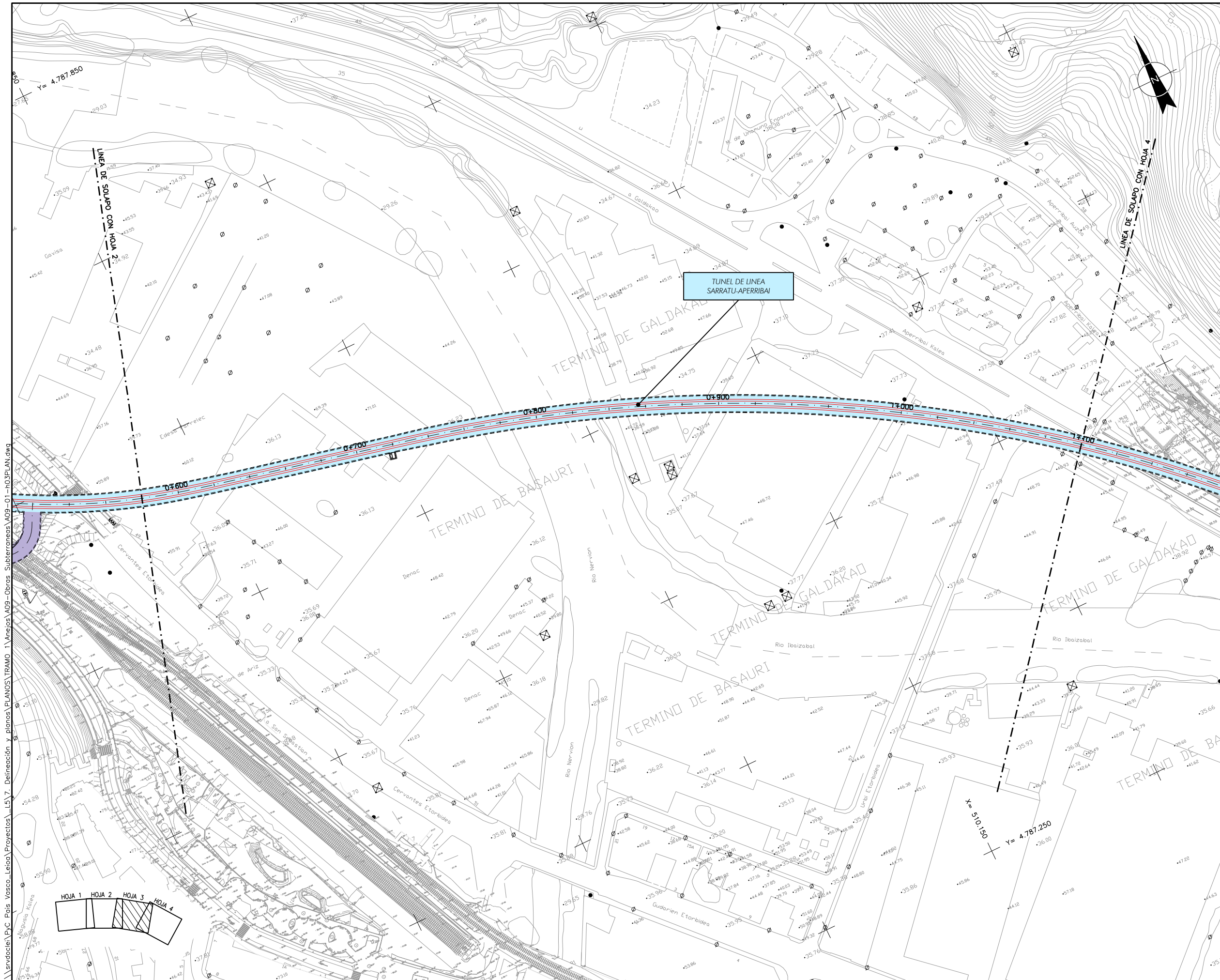
OHARRAK :
NOTAS :

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL 21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	COMP.	OBRA
BIRAZTERTZEAK REVISIONES					
AHOLKULARIA CONSULTOR		INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR			
epi		FUGRUM			
REFERENCIA CONSULTOR		REFERENCIA			
		A09-01-h01PLAN			



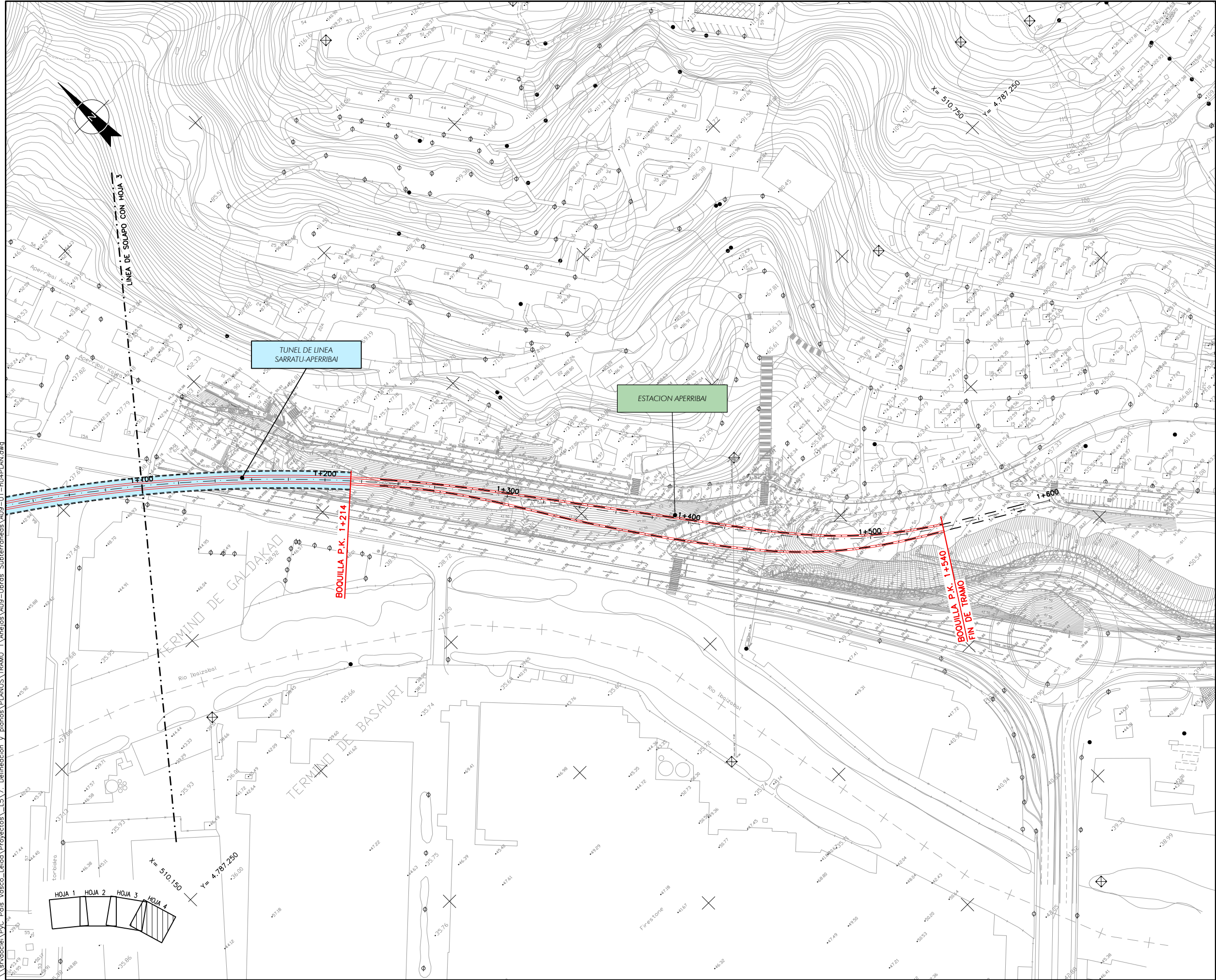
OHARRAK :
NOTAS :

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL 21	XXX	ETS
REV.	CLASE DE MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	COMP. OBRA
BIRAZTERTIZEAK REVISIONES				
AHOLKULARIA CONSULTOR		INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR		
REFERENCIA CONSULTOR		REFERENCIA		
		A09-01-h02PLAN		



OHARRAK :
NOTAS :

A					
	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL 21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP.	OBRA
BIRAZTERTZEAK REVISIONES					
AHOLKULARIA CONSULTOR		INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR			
epta		FUTURUM			
REFERENCIA CONSULTOR		REFERENCIA			
		A09-01-h03PLAN			

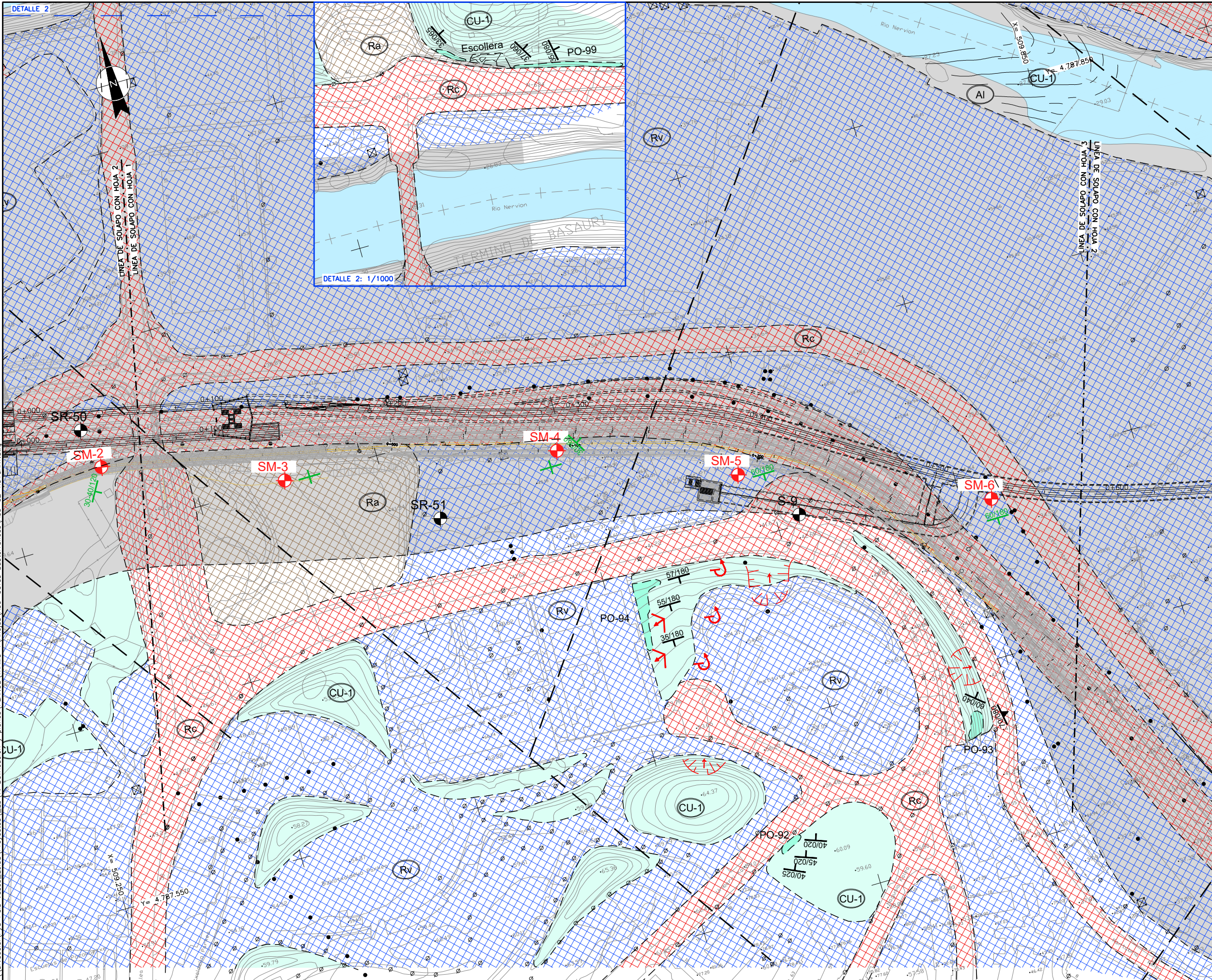


OHARRAK :
NOTAS :

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL.21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP.	OBRA
BIRAZTERTZEAK REVISIONES					
AHOLKULARIA CONSULTOR		INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR			
epi		FUGRUM			
REFERENCIA CONSULTOR		REFERENCIA			
		A09-01-h04PLAN			

APÉNDICE N°9.2

Planta geológico- geotécnica



OHARRAK :

NOTAS :

LEYENDA

Sondeo mecánico campañas anteriores.

Sondeo mecánico Proyecto Constructivo.

TMS/REMI Geofísica campañas anteriores.

TMS-1 Tomografía sísmica Proyecto Constructivo.

TME-1 Tomografía eléctrica Proyecto Constructivo.

SUELOS Y RELLENOS, CUATERNARIOS

Rellenos, obras lineales, viales principales, calles principales en medio urbano/ Sobre suelo cuaternario natural.

Rellenos, ocupaciones medio urbano/ Sobre suelo cuaternario natural.

Acumulaciones de rellenos de origen variado/ Sobre suelo cuaternario natural.

Depósito de Aluvial.

Depósito de Coluvial.

Depósito de Terraza.

ROCA, COMPLEJO URGONIANO (Albiense)

Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino/ Afloramiento en superficie.

Limolitas, margas y areniscas/ Afloramiento en superficie.

ROCA, COMPLEJO SUPRAURGONIANO (Albiense)

Lutitas calcáreas negras. Pasadas de areniscas/ Afloramiento en superficie.

Alternancia de areniscas silíceas y lutitas/ Afloramiento en superficie.

ROCA

Dique de cuarzo/ Afloramiento en superficie.

HIDROLOGÍA

Manantial/ Surgencia. Punto de interés hidrogeológico.

Alineaciones de roca observada en río.

Curso de agua intermitente.

ESTRUCTURA

Dirección y cantidad buzamiento de S.

Dirección y cantidad buzamiento de S.

Dirección y cantidad buzamiento subhorizontal.

Juntos o diaclasas.

Dirección y cantidad buzamiento de S. invertido.

Interpretado o en sondeo.

Piñeque anticlinal.

Piñeque sinclinal.

Falla supuesta.

Fractura/ Zona de cizalla menor.

Contacto discordante.

INESTABILIDADES

Escarpe.

Deslizamiento.

Reptaciones.

Vuelco.

Planar.

Cuña.

Observadas en taludes rocosos excavados.

PUNTOS DE OBSERVACIÓN

PO-1 Punto de observación de la roca/ Estación geomecánica.

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL21	XXX	ETS
REV.	CLASE DE MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	COMP. OBRA

BIRAZTERTZEAK

REVISIONES

AHOLKULARIA CONSULTOR	INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR
-----------------------	----------------------------------

epi **FUGRUM**

REFERENCIA CONSULTOR	REFERENCIA
----------------------	------------

A09-02-h01CART

EUSKO JAURLARITZA

LURRALDE PLANGINTZA, ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA

GOBIERNO VASCO

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES

euskal trenbide sarea

PROIEKTUAREN IKUSKAPENA ETA ZUZENDARITZA

INSPECCION Y DIRECCION DEL PROYECTO

ESKALA ORIGINAL: ESCALA ORIGINAL

1/1000

EN DIN A1

ESKALA GRAFIKOA

ESCALA GRAFICA

PROIEKTU IZENBURUA

TITULO DEL PROYECTO

BILBOKO METROPOLI-TRENBIDEAREN 5. LINEAKO ERAIKUNTZA PROIEKTUA. SARRATU-APERRIBAI TARTEA

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO SARRATU - APERRIBAI

PLANU - IZENBURUA

TITULO DEL PLANO

OBRAS SUBTERRANEAS

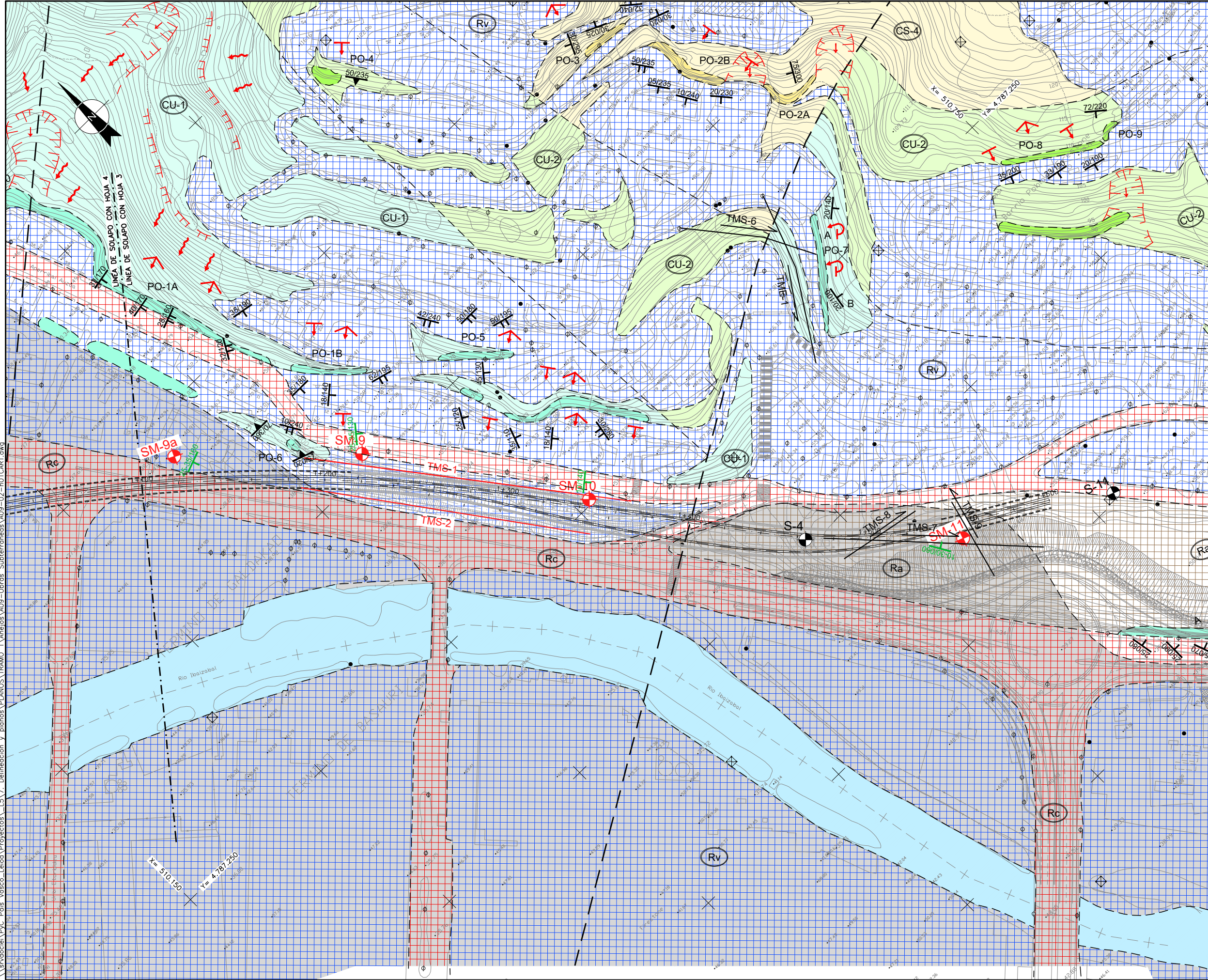
CARTOGRAFIA GEOLOGICA-GEOTECNICA

PLANU-ZNB / N. PLANO

Anejo 9.2

ORRIA / HOJA

2 SIGUE 3



OHARRAK :

NOTAS :

LEYENDA

● Sondeo mecánico campañas anteriores.

● Sondeo mecánico Proyecto Constructivo.

TMS-REM Geofísica campañas anteriores.

TMS-1 Tomografía sísmica Proyecto Constructivo.

TME-1 Tomografía eléctrica Proyecto Constructivo.

SUELOS Y RELLENOS, CUATERNARIOS

Rc Rellenos, obras lineales, viales principales, calles principales en medio urbano/ Sobre suelo cuaternario natural.

Rv Rellenos, ocupaciones medio urbano/ Sobre suelo cuaternario natural.

Ra Acumulaciones de rellenos de origen variado/ Sobre suelo cuaternario natural.

Al Depósito de Aluvial.

Cv Depósito de Coluvial.

Tz Depósito de Terraza.

ROCA, COMPLEJO URGONIANO (Albiense)

CU-1 Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino/ Afloramiento en superficie.

CU-2 Limolitas, margas y areniscas/ Afloramiento en superficie.

ROCA, COMPLEJO SUPRAURGONIANO (Albiense)

CS-4 Lutitas calcáreas negras. Pasadas de areniscas/ Afloramiento en superficie.

CS-5 Alternancia de areniscas silíceas y lutitas/ Afloramiento en superficie.

ROCA

D-7 Dique de cuarzo/ Afloramiento en superficie.

HIDROLOGÍA

Manantial/ Surgencia. Punto de interés hidrogeológico.

Alineaciones de roca observada en río.

Curso de agua intermitente.

ESTRUCTURA

Dirección y cantidad buzamiento de S.

Dirección y cantidad buzamiento de S.

Dirección y cantidad buzamiento subhorizontal.

Juntas o diaclasas.

Dirección y cantidad buzamiento de S. invertido.

Interpretado o en sondeo.

Piñe anticlinal.

Piñe sinclinal.

Falla supuesta.

Fractura/ Zona de cizalla menor.

Contacto discordante.

INESTABILIDADES

Escorpe.

Deslizamiento.

Reptaciones.

Vuelco.

Planar.

Cuña.

Observadas en taludes rocosos excavados.

PUNTOS DE OBSERVACIÓN

PO-1 Punto de observación de la roca/ Estación geomecánica.

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL 21	XXX	ETS
REV.	CLASE DE MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	COMP. OBRA

BIRAZTERTZEAK

REVISIONES

AHOLKULARIA	INGENIARI EGILEA
CONSULTOR	INGENIERO AUTOR

epi

FUGRUM

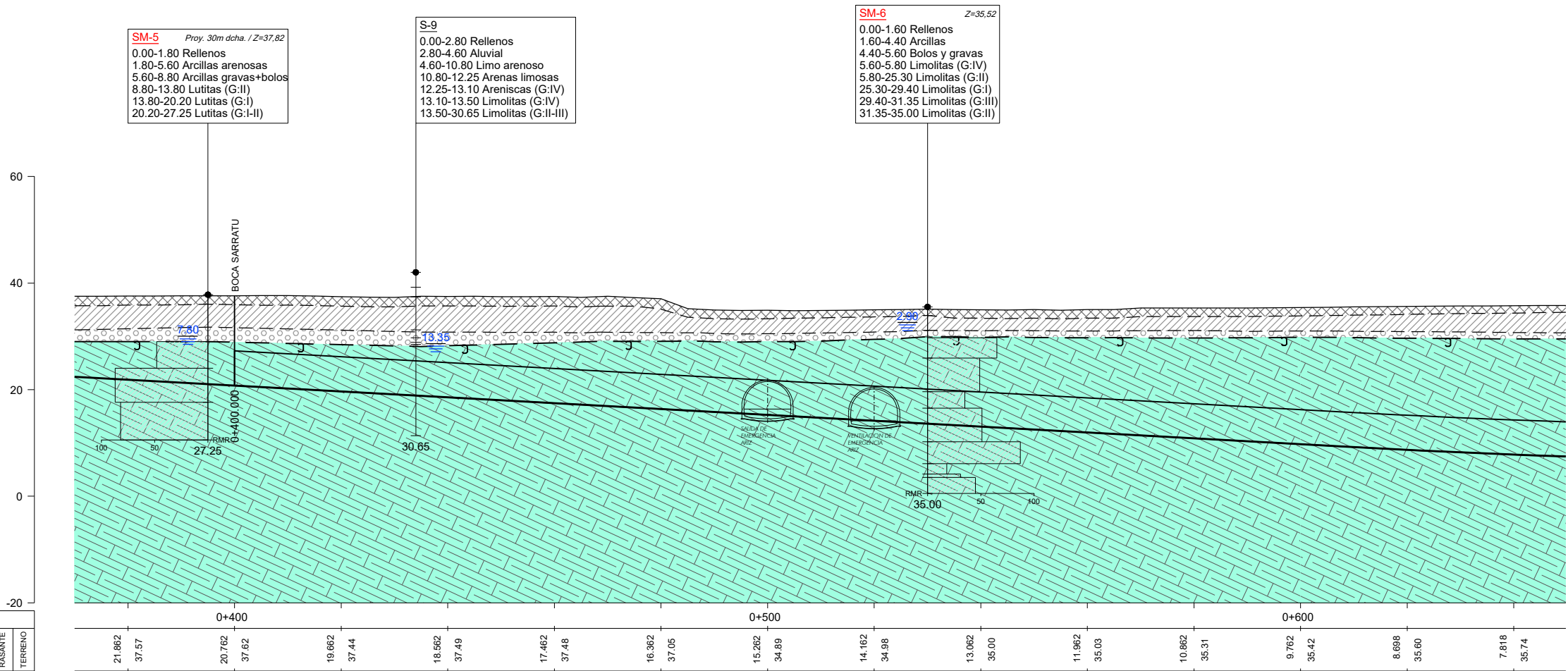
REFERENCIA CONSULTOR	REFERENCIA
A09-02-h01CART	

APÉNDICE N°9.3

Perfiles geológico-geotécnicos longitudinales

\\srvdocle1\pvc_Pais_Vasco_Letoo\Proyectos\U5\7. Delineación y planos\PLANOS\A09-Obras Subterráneas\A09-03-01-h01TGeo.dwg

P.K.	
COTAS	TERRENO
TRAMO	
FORMACION	
DOMINIO ESTRUCTURAL	
TUNEL EN MINA	MACIZO
	PERMEABILIDAD (cm/s)
	CALIDAD (RMR)
	SOSTENIMIENTO TIPO
	EXCAVACION
	OBSERVACIONES
TUNEL EN MINA	LONGITUD (m)
	TRATAMIENTOS ESPECIALES



TRAMO A CIELO ABIERTO

Tunel en mina Sarratu-Aperribai					
CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas (Tramo limolítico)					
Dominio-4: S _o 55/180, J ₁ 69/359, J ₂ 10/290, J ₃ 79/082, J _{3A} 77/060					
K= 1.58x10 ⁻⁴ cm/seg.					
27.1% 45<RMR<55 72.9%<RMR>70	4.7% 10<RMR<20; 10.8% 20<RMR<45; 45.8% 45<RMR<55; 7.3% 55<RMR<70; 31.4% RMR>70		7% 10<RMR<20; 23% 20<RMR<45; 43% 45<RMR<55; 13% 55<RMR<70; 14% RMR>70		4.7% 10<RMR<20; 10.8% 20<RMR<45; 45.8% 45<RMR<55; 7.3% 55<RMR<70; 31.4% RMR>70
ST-Boquilla	100% ST-IV		100% ST-IV	7% ST-V; 23% ST-IV; 43% ST-III; 13% ST-II; 14% ST-I	4.7% ST-V; 10.8% ST-IV; 45.8% ST-III; 7.3% ST-II; 31.4% ST-I
Rozadora					Rozadora. Posible empleo ocasional de m mecánicos (excavadora)
Paraguas micropilotes pesados	Paraguas micropilotes		Entronque salida y ventilación emergencia de Ariz		
26 m	38 m	21.60 m	48.80 m	39.90 m	137.72 m
		Bulones adicionales ocasionales para estabilidad de cuñas		Bulones adicionales ocasionales para estabilidad de cuñas. Paraguas de micros. Gunitado del frente. Gunita sobreacelerada.	Bulones adicionales ocasionales para estabilidad de cuñas. Bulones de gran longitud.

OHARRAK :

NOTAS :

LEYENDA

SR- / SN- / S. Sondeo mecánico campañas anteriores.

DPSH- / P. Penetrómetros campañas anteriores.

SM-1 Sondeo mecánico Proyecto Constructivo.

--- Contacto entre suelos y materiales meteorizados

Supuesto contacto roca sana G:II-I

--- Falla/contacto mecánico. Contacto entre formaciones

Nivel freático

SUELOS Y RELLENOS, CUATERNARIOS

Rellenos

Aluvial; arcillas / gravas.

Coluvial

ROCA, COMPLEJO URGANIANO (Albiense)

Margas, margocalizas y calcarenitas. RG:V-III / RG:III-II

Limolitas, margas y areniscas. RG:V-III / RG:III-II

ROCA, COMPLEJO SUPRAURGONIANO (Albiense)

Lutitas calcáreas con pasadas de areniscas. RG:V-III / RG:III-II

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL 21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP	OBRA

BIRAZTERTZEAK REVISIONES

AHOLKULARIA CONSULTOR

INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR

REFERENCIA CONSULTOR

REFERENCIA

A09-03-01-h01TGeo

EUSKO JAURLARITZA

GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA, ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES

et/s euskal trenbide sarea

PROIEKTUAREN IKUSKAPENA ETA ZUZENDARITZA

INSPECCION Y DIRECCION DEL PROYECTO

ESKALA ORIGINAL: ESCALA ORIGINAL

1/500

EN DIN A1

ESKALA GRAFIKOA ESCALA GRAFICA

PROIEKTU IZENBURUA TITULO DEL PROYECTO

BILBOKO METROPOLI-TREN BIDEAREN 5. LINEAKO ERAIKUNTZA PROIEKTUA. SARRATU-APERRIBAI TARTEA

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO SARRATU - APERRIBAI

PLANU - IZENBURUA TITULO DEL PLANO

OBRAS SUBTERRANEAS

PERFIL LONGITUDINAL GEOLOGICO-GEOTECNICO

TUNEL DE LINEA

PLANU-ZNB / N. PLANO

Anejo 9.3.1

ORRIA / HOJA

1 SIGUE 2

\\srvdocie\pjc Pais Vasco\Leioa\Proyectos\U5\7. Delineación y planos\PLANOS\A09-Obras Subterráneas\A09-03-01-h01TGeo.dwg

OHARRAK :
NOTAS :

LEYENDA

- SR- / SN- / S. Sondeo mecánico campañas anteriores.
DPBH- / P. Penetrómetros campañas anteriores.
SM-1 Sondeo mecánico Proyecto Constructivo.
--- Contacto entre suelos y materiales meteorizados
--- Supuesto contacto roca sana G:II-I
--- Falla/contacto mecánico. Contacto entre formaciones
--- Nivel freático

SUELOS Y RELLENOS, CUATERNARIOS

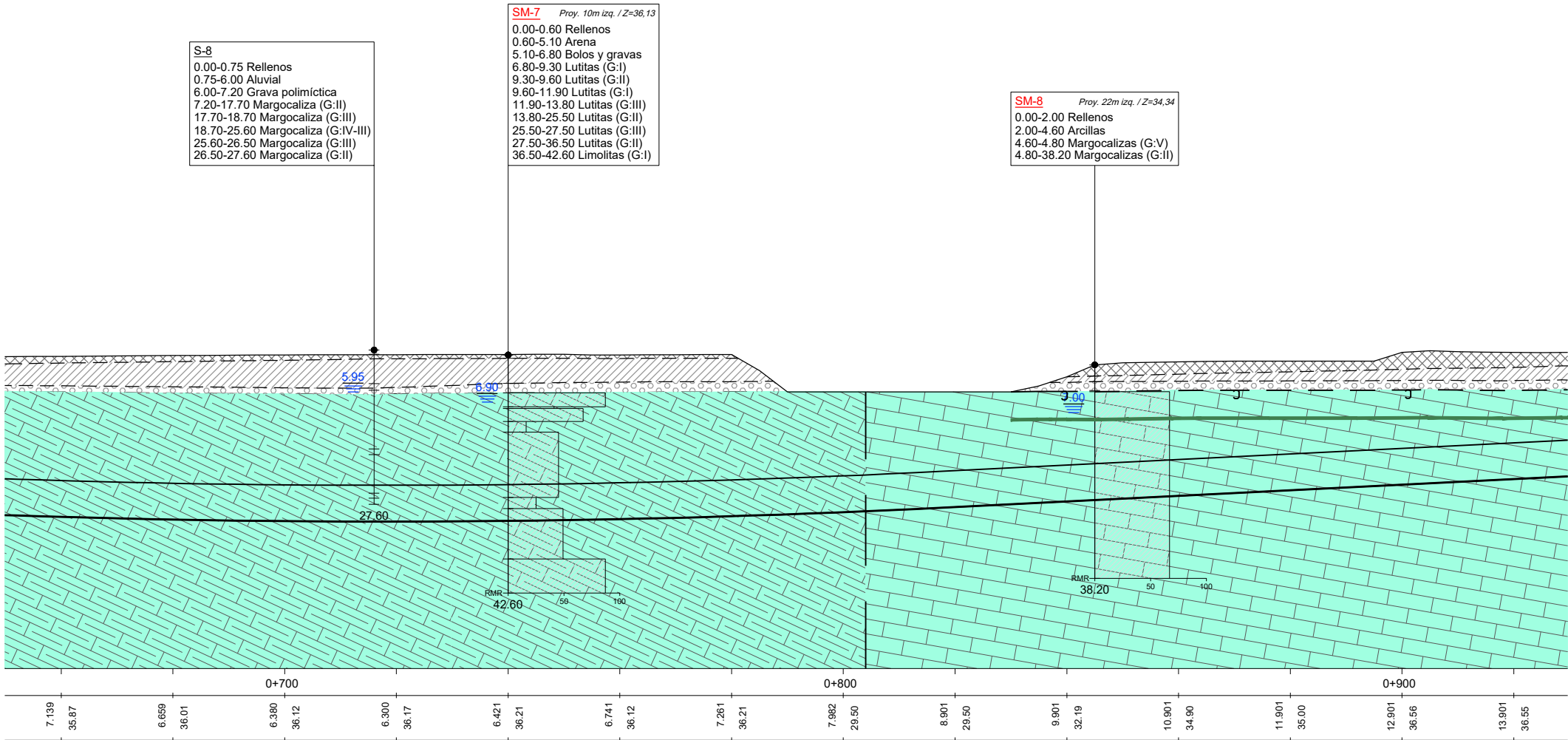
- Rellenos
Aluvial; arcillas / gravas.
Coluvial
ROCA, COMPLEJO URGANIANO (Albiense)
Margas, margocalizas y calcarenitas. RG:V-III / RG:III-II CU-1
Limolitas, margas y areniscas. RG:V-III / RG:III-II CU-2
ROCA, COMPLEJO SUPRAURGONIANO (Albiense)
Lutitas calcáreas con pasadas de areniscas. RG:V-III / RG:III-II CS-4

60
40
20
0
-20

P.K.		
COTAS	RASANTE	TERRENO

TRAMO
FORMACION
DOMINIO ESTRUCTURAL

TUNEL EN MINA	MACZO	PERMEABILIDAD (cm/s)
	CALIDAD (RMR)	
	SOSTENIMIENTO TIPO	
	EXCAVACION	
	OBSERVACIONES	
	LONGITUD (m)	
	TRATAMIENTOS ESPECIALES	



Tunel en mina Sarratu-Aperribai			
CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas (Tramo limolítico)		CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas	
Dominio-4: S _o 55/180, J ₁ 69/359, J ₂ 10/290, J ₃ 79/082, J _{3A} 77/060		Dominio-5: S _o 35/040, J ₁ 63/320, J ₂ 69/282, J ₃ 75/163, J _{2A} 53/199	
K= 5.83x10 ⁻⁸ cm/seg. K= 1.04x10 ⁻⁴ cm/seg.		K= 1.46x10 ⁻⁵ cm/seg.	
4.7% 10<RMR<20; 10.8% 20<RMR<45; 45.8% 45<RMR<55; 7.3% 55<RMR<70; 31.4% RMR>70	5.3% 10<RMR<20; 6.4% 20<RMR<45; 57.8% 45<RMR<55; 6.4% 55<RMR<70; 24.1% RMR>70	100% RMR<20	100% 55<RMR<70
4.7% ST-V; 10.8% ST-IV; 45.8% ST-III; 7.3% ST-II; 31.4% ST-I	5.3% ST-V; 6.4% ST-IV; 57.8% ST-III; 6.4% ST-II; 24.1% ST-I	100% ST-V	100% ST-II
Rozadora. Posible empleo ocasional de m mecánicos (excavadora)		Rozadora	
137.72 m	71.97 m	40 m	178.50 m
Bulones adicionales ocasionales para estabilidad de cuñas. Bulones de gran longitud.		Inyecciones perimetrales. Drenaje en pie hastial. Paraguas de micros. Gunitado del frente. Gunita sobreacelerada. Machón central en av.	

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL 21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP	OBRA

BIRAZTERTZEAK REVISIONES

AHOLKULARIA CONSULTOR	INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR
-----------------------	----------------------------------

REFERENCIA CONSULTOR	REFERENCIA
	A09-03-01-h01TGeo

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA, ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES



euskal trenbide sarea

PROIEKTUAREN IKUSKAPENA ETA ZUZENDARITZA INSPECCION Y DIRECCION DEL PROYECTO

ESKALA ORIGINAL: ESCALA ORIGINAL
1/500

EN DIN A1

0 5 15 25

ESKALA GRAFIKOA ESCALA GRAFICA

PROIEKTU IZENBURUA TITULO DEL PROYECTO

BILBOKO METROPOLI-TRENBIDEAREN 5. LINEAKO ERAIKUNTZA PROIEKTUA. SARRATU-APERRIBAI TARTEA
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO SARRATU - APERRIBAI

PLANU - IZENBURUA TITULO DEL PLANO

OBRAS SUBTERRANEAS
PERFIL LONGITUDINAL GEOLOGICO-GEOTECNICO
TUNEL DE LINEA

PLANU-ZNB / N. PLANO

Anejo 9.3.1

ORRIA / HOJA

2 SIGUE 3

\\srvdocle\p\yc Pais Vasco\Leioa\Proyectos\15.7. Delineación y planos\PLANOS\A09-Obras Subterráneas\A09-03-01-h01TGeo.dwg

OHARRAK :
NOTAS :

LEYENDA

- SR- / SN- / S. Sondeo mecánico campañas anteriores.
DPSH- / P. Penetrómetros campañas anteriores.
SM-1 Sondeo mecánico Proyecto Constructivo.
--- Contacto entre suelos y materiales meteorizados
--- Supuesto contacto roca sana G:II-I
--- Falla/contacto mecánico. Contacto entre formaciones
--- Nivel freático

SUELOS Y RELLENOS, CUATERNARIOS

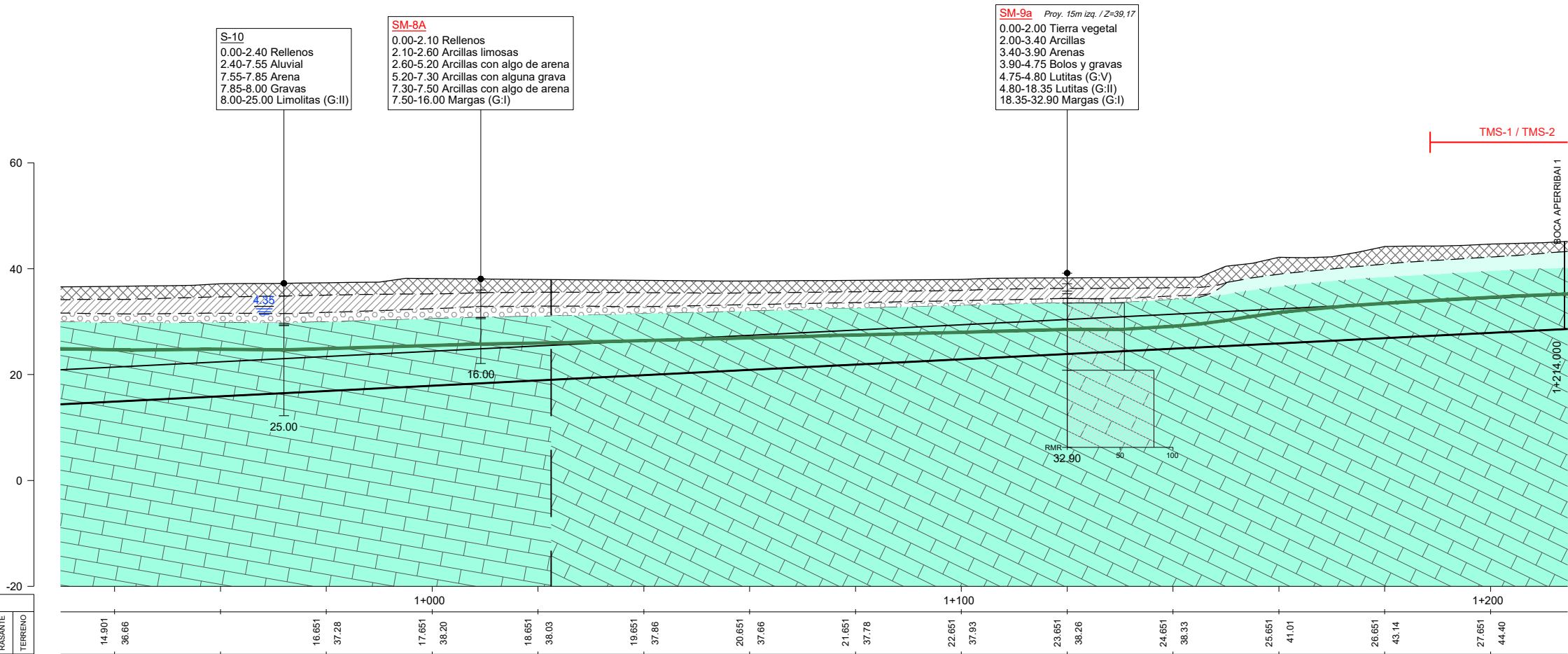
- Rellenos
Aluvial; arcillas / gravas.
Coluvial

ROCA, COMPLEJO URGANIANO (Albiense)

- Margas, margocalizas y calcarenitas. RG:V-III / RG:III-II CU-1
Limolitos, margas y areniscos. RG:V-III / RG:III-II CU-2

ROCA, COMPLEJO SUPRAURGONIANO (Albiense)

- Lutitas calcáreas con pasadas de areniscos. RG:V-III / RG:III-II CS-4



P.K.		
COTAS	RASANTE	TERRENO

TRAMO
FORMACION
DOMINIO ESTRUCTURAL

TUNEL EN MINA	MACZO	PERMEABILIDAD (cm/s)
	CALIDAD (RMR)	
	SOSTENIMIENTO TIPO	
	EXCAVACION	
	OBSERVACIONES	
	LONGITUD (m)	
TRATAMIENTOS ESPECIALES		

Tunel en mina Sarratu-Aperribai				
CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas				
Dominio-5: S ₀ 35/040, J ₁ 63/320, J ₂ 69/282, J ₃ 75/163, J _{2A} 53/199		Dominio-6: S ₀ 35/178, S ₁ 26/210, J ₁ 80/295, J ₂ 50/219, J ₃ 82/105, J _{2B} 73/198, J _{2C} 70/010		
100% 55<RMR<70	100% RMR<20	3% 20<RMR<45; 45.2% 45<RMR<55; 51.8% RMR>70		
100% ST-II	100% ST-V	100% ST-IV	3% ST-IV; 45.2% ST-III 51.8% ST-I	ST-Boquilla
Rozadora	Rozadora. Posible uso de excavadora	Rozadora		
		Tramode poca cobertera de roca sana (<5m)		
178.50 m	40 m	134.49 m	25.01 m	12 m
	Paraguas de micros. Gunitado del frente.	Tapes de hormigón. Taladros de exploración a rotopercusión. Consolidación de huecos o cuevas. Bulones de gran longitud. Paraguas de micropilotes en tramo de poca cobertera de roca sana.		

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP	OBRA

BIRAZTERTZEAK
REVISIONES

AHOLKULARIA CONSULTOR	INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR
--------------------------	-------------------------------------

REFERENCIA CONSULTOR	REFERENCIA
	A09-03-01-h01TGeo

EUSKO JAURLARITZA

GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA
ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES

et/s euskal trenbide sareak
PROIEKTUAREN IKUSKAPENA ETA ZUZENDARITZA
INSPECCION Y DIRECCION DEL PROYECTO

ESKALA ORIGINAL:
ESCALA ORIGINAL
1/500
EN DIN A1



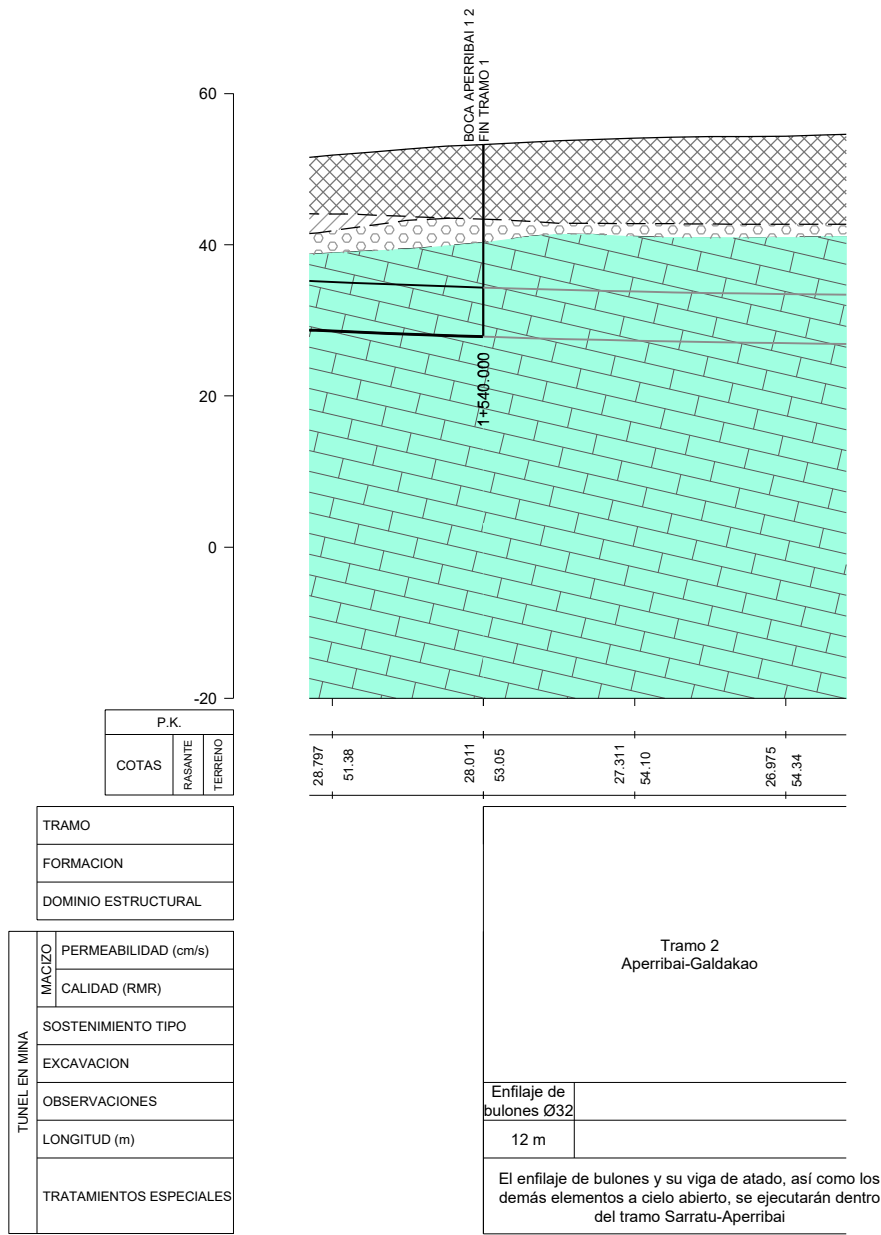
ESKALA GRAFIKOA
ESCALA GRAFICA

PROIEKTU IZENBURUA
TITULO DEL PROYECTO
BILBOKO METROPOLI-TREN BIDEAREN 5. LINEAKO
ERAIKUNTZA PROIEKTUA. SARRATU-APERRIBAI TARTEA
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL
METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO SARRATU - APERRIBAI

PLANU - IZENBURUA
TITULO DEL PLANO
OBRAS SUBTERRANEAS
PERFIL LONGITUDINAL GEOLOGICO-GEOTECNICO
TUNEL DE LINEA

PLANU-ZNB / N. PLANO
Anejo 9.3.1
ORRIA / HOJA
3 SIGUE 4

\\srvdocle1\pjc País Vasco\Leioa\Proyectos\L5.7. Delineación y planos\PLANOS\TRAMO 1\Anejos\A09-Obras Subterráneas\A09-03-01-h01TGeo.dwg



OHARRAK :
NOTAS :

LEYENDA

- SR-/SN-/S. Sondeo mecánico campañas anteriores.
- DPSH-/P. Penetrómetros campañas anteriores.
- SM-1 Sondeo mecánico Proyecto Constructivo.
- Contacto entre suelos y materiales meteorizados
- Supuesto contacto roca sana G:II-I
- Falla/contacto mecánico. Contacto entre formaciones
- Nivel freático

SUELOS Y RELLENOS, CUATERNARIOS

- Rellenos
- Aluvial; arcillas / gravas.
- Coluvial

ROCA, COMPLEJO URGANIANO (Albiense)

- Margas, margocalizas y calcarenitas. RG:V-III / RG:III-II CU-1
- Limolitas, margas y areniscas. RG:V-III / RG:III-II CU-2

ROCA, COMPLEJO SUPRAURGONIANO (Albiense)

- Lutitas calcáreas con pasadas de areniscas. RG:V-III / RG:III-II CS-4

A					
A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP	OBRA

BIRAZTERTIZEAK REVISIONES

AHOLKULARIA CONSULTOR	INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR
epi	FUGRUM

REFERENCIA CONSULTOR	REFERENCIA
	A09-03-01-h01TGeo

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA
ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES

et euskal trenbide sarea

PROIEKTUAREN IKUSKAPENA ETA ZUZENDARITZA
INSPECCION Y DIRECCION DEL PROYECTO

ESKALA ORIGINALA:
ESCALA ORIGINAL

1/500

EN DIN A1

0 5 15 25

ESKALA GRAFIKOA
ESCALA GRAFICA

PROIEKTU IZENBURUA
TÍTULO DEL PROYECTO

BILBOKO METROPOLI-TRENBIDEAREN 5. LINEAKO
ERAIKUNTZA PROIEKTUA. SARRATU-APERRIBAI TARTEA
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL
METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO SARRATU - APERRIBAI

PLANU - IZENBURUA
TÍTULO DEL PLANO

OBRAS SUBTERRANEAS
PERFIL LONGITUDINAL GEOLOGICO-GEOTECNICO
TUNEL DE LINEA

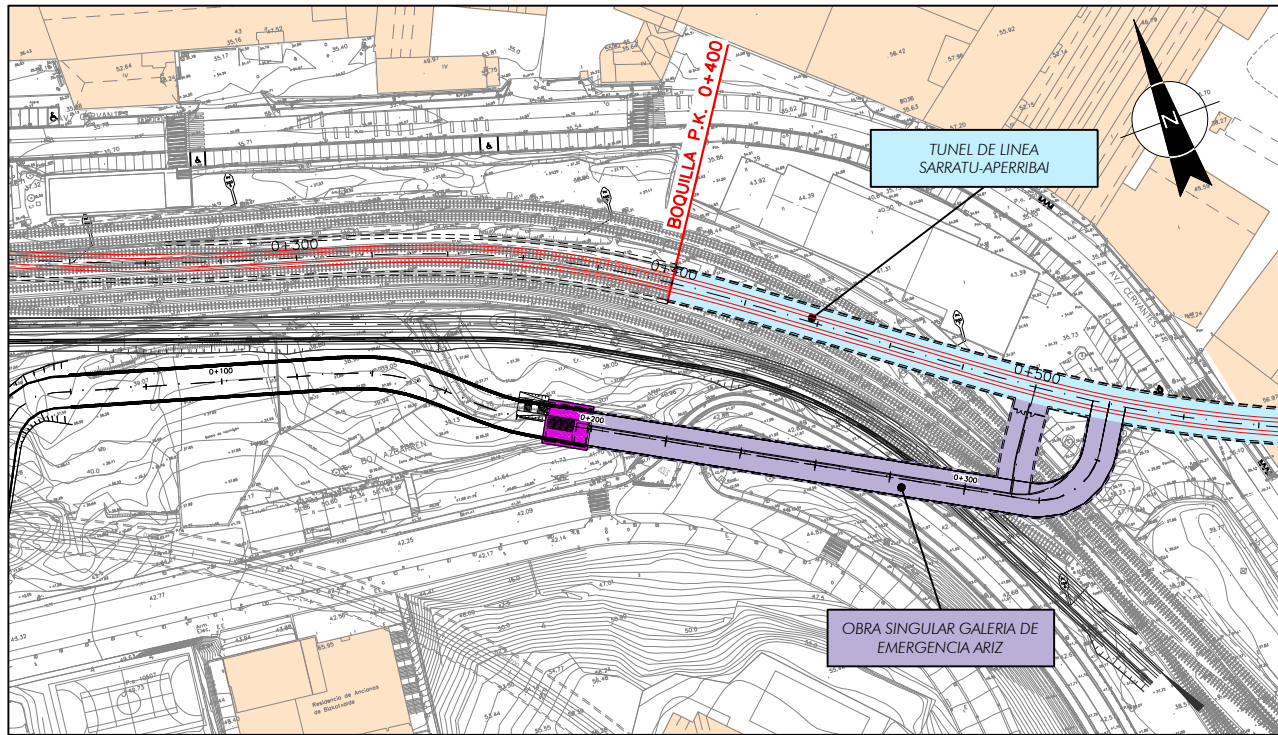
PLANU-ZNB / N. PLANO

Anejo 9.3.1

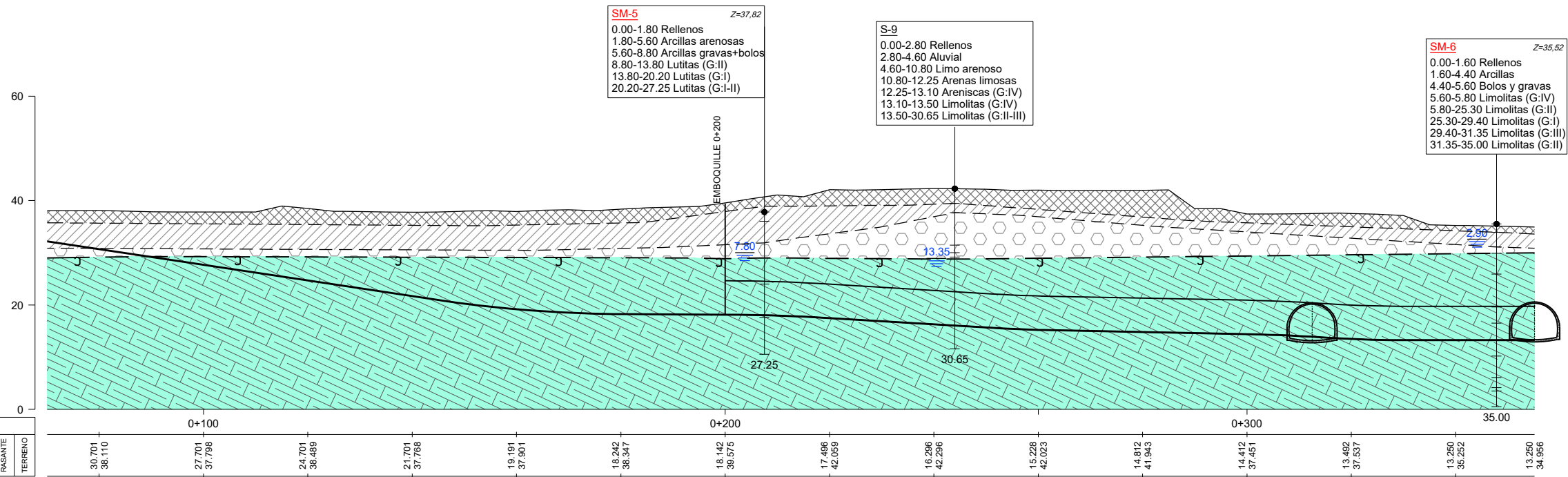
ORRIA / HOJA

4 SIGUEFIN

\\srvdocle\p\c País Vasco\Leoa\Proyectos\15.7. Delineación y planos\PLANOS\TRAMO 1\Anejos\A09-Obras Subterráneas\A09-03-02-h01GGEO.dwg



PLANTA
ESCALA 1/1000



SM-5 Z=37.82
0.00-1.80 Rellenos
1.80-5.60 Arcillas arenosas
5.60-8.80 Arcillas gravas+bolos
8.80-13.80 Lutitas (G:II)
13.80-20.20 Lutitas (G:I)
20.20-27.25 Lutitas (G:I-II)

S-9
0.00-2.80 Rellenos
2.80-4.60 Aluvial
4.60-10.80 Limo arenoso
10.80-12.25 Arenas limosas
12.25-13.10 Areniscas (G:IV)
13.10-13.50 Limolitas (G:IV)
13.50-30.65 Limolitas (G:II-III)

SM-6 Z=35.52
0.00-1.60 Rellenos
1.60-4.40 Arcillas
4.40-5.60 Bolos y gravas
5.60-5.80 Limolitas (G:IV)
5.80-25.30 Limolitas (G:II)
25.30-29.40 Limolitas (G:I)
29.40-31.35 Limolitas (G:III)
31.35-35.00 Limolitas (G:II)

P.K.	
COTAS	TERRENO
30.701	38.110
27.701	37.798
24.701	38.489
21.701	37.768
19.191	37.801
18.242	38.547
18.142	39.575
17.496	42.059
16.296	42.296
15.228	42.023
14.812	41.943
14.412	37.451
13.492	37.537
13.250	35.252
13.250	34.956

TRAMO
FORMACION
DOMINIO ESTRUCTURAL

TUNEL EN MINA	MACIZO
PERMEABILIDAD (cm/s)	
CALIDAD (RMR)	
SOSTENIMIENTO TIPO	
EXCAVACION	
OBSERVACIONES	
LONGITUD (m)	
TRATAMIENTOS ESPECIALES	

TRAMO A CIELO ABIERTO

Galería de emergencia de Ariz			
CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas (Tramo limolítico)			
Dominio-4: S ₀ 55/180, J ₁ 69/359, J ₂ 10/290, J ₃ 79/082, J _{3A} 77/060			
K= 1.98x10 ⁻⁴ cm/seg.			
27.1% 45<RMR<55; 72.9% RMR>70			
4.7% 10<RMR<20; 10.8% 20<RMR<45; 45.8% 45<RMR<55; 7.3% 55<RMR<70; 31.4% RMR>70			
ST-Boquilla	100% ST-IV	27,1% ST-III; 72,9% ST-I	100% ST-IV
Rozadora			
Paraguas pesados micropilotes	Paraguas micropilotes	Entronque con galería peatonal	Entronque con túnel
26 m	22 m	50.01 m	52.87 m
Bulones adicionales ocasionales para estabilidad de cuñas.			

OHARRAK :
NOTAS :

LEYENDA

- SR-/SN-/S. Sondeo mecánico campañas anteriores.
DPH-/P. Penetrómetros campañas anteriores.
SM-1 Sondeo mecánico Proyecto Constructivo.
--- Contacto entre suelos y materiales meteorizados
--- Supuesto contacto roca sana G:II-I
--- Falla/contacto mecánico. Contacto entre formaciones
--- Nivel freático

SUELOS Y RELLENOS, CUATERNARIOS

- Rellenos
Aluvial; arcillas / gravas.
Coluvial

ROCA, COMPLEJO URGANIANO (Albiense)

- Margas, margocalizas y calcarenitas. RG:V-III / RG:III-II **CU-1**
Limolitas, margas y areniscas. RG:V-III / RG:III-II **CU-2**

ROCA, COMPLEJO SUPRAURGONIANO (Albiense)

- Lutitas calcáreas con pasadas de areniscas. RG:V-III / RG:III-II **CS-4**

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP.	OBRA

BIRAZTERTZEAK REVISIONES

AHOLKULARIA CONSULTOR	INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR
epi	FUGRUM

REFERENCIA CONSULTOR	REFERENCIA
	A09-03-02-h01GGEO

EUSKO JAURLARITZA

GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA
ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES

et euskal trenbide sarea

PROIEKTUAREN IKUSKAPENA ETA ZUZENDARITZA
INSPECCION Y DIRECCION DEL PROYECTO

ESKALA ORIGINALA:
ESCALA ORIGINAL

1/500

EN DIN A1

0 5 15 25

ESKALA GRAFIKOA
ESCALA GRAFICA

PROIEKTU IZENBURUA
TÍTULO DEL PROYECTO

BILBOKO METROPOLI-TRENBIDEAREN 5. LINEAKO
ERAIKUNTZA PROIEKTUA. SARRATU-APERRIBAI TARTEA
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL
METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO SARRATU - APERRIBAI

PLANU - IZENBURUA
TÍTULO DEL PLANO

OBRAS SUBTERRANEAS
PERFIL LONGITUDINAL GEOLOGICO-GEOTECNICO
GALERIA DE EMERGENCIA ARIZ

PLANU-ZNB / N. PLANO

Anejo 9.3.2

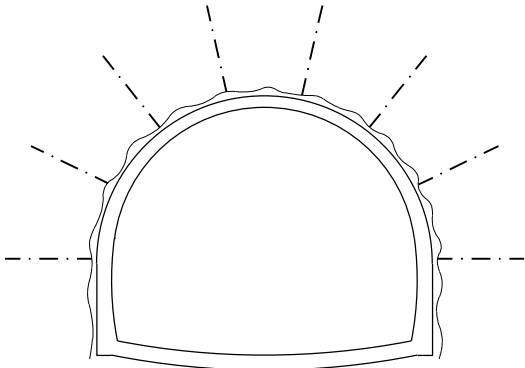
ORRIA / HOJA
1 SIGUEFIN

APÉNDICE N°9.4

Planos de sostenimientos tipo

A technical drawing of a dome structure. It features a semi-circular cross-section with a central vertical axis. The dome is composed of several concentric layers, with the outermost layer being the most prominent. Radial lines extend from the top of the dome, suggesting structural ribs or decorative elements. The drawing is a black and white line art.

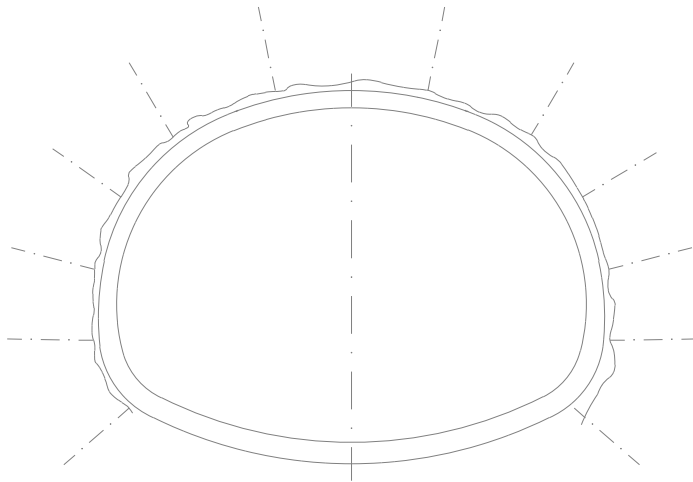
GRUPO 3: EXCAVACIONES CON DIMENSION EQUIVALENTE COMPRENDIDA ENTRE 7 Y 10 METROS



-

	Terreno Tipo I RMR>70	Terreno Tipo II 70>RMR>55	Terreno Tipo III 55>RMR>45	Terreno Tipo IV 45>RMR>20	Terreno Tipo V 20>RMR>10
GRUPO 1		Obras ejecutadas mediante la técnica de Raise Boring: hormigón proyectado e= 3cm			
		Hormigón proyectado e=6cm armado con fibra, HPF-30 Bulones swellex Mn16 L=3,0m Sxd=2x2m² Avance: 2,5 a 3 m Sección completa	Hormigón proyectado e=8cm HMP-30 armado #4x150x150 Bulones resina Ø25 L=3,0m Sxd=1,5x1,5m² Avance: 2 a 2,5 m Sección completa	Hormigón proyectado e=11cm HMP-30 armado 2#4x150x150 Cerchas TH-21 c/1,0m Bulones resina Ø25 L=3,0m Sxd=1x1m² Avance 1,5 m En avance + destroza	Hormigón proyectado e=15cm HMP-30, armado 2#4x150x150 Cerchas HEB-140 c/1,0m o Chapa Bernold Bulones resina Ø25 L=3,0m Sxd=1x1m² Avance 0,5 a 1 m En avance + destroza
GRUPO 2	Hormigón proyectado e=5cm Bulones swellex Mn16 L=3,0m Sxd=2x2m² Avance: 4 m Sección completa	Hormigón proyectado e=8cm armado con fibra, HPF-30 Bulones swellex Mn16 L=3,0m Sxd=2x2m² Avance: 2,5 a 3 m Sección completa	Hormigón proyectado e=10cm HMP-30 armado #6x150x150 Bulones resina Ø25 L=3,0m Sxd=1,5x1,5m² Avance: 2 a 2,5 m Sección completa	Hormigón proyectado e=13cm HMP-30 armado 2#6x150x150 Cerchas TH-21 c/1,0m Bulones resina Ø25 L=3,0m Sxd=1x1m² Avance 1,5 m En avance + destroza	Hormigón proyectado e=20cm HMP-30 armado 2#6x150x150 Cerchas HEB-140 c/1,0m o Chapa Bernold Bulones resina Ø25 L=3,0m Sxd=1x1m² Avance 0,5 a 1 m En avance + destroza
	Hormigón proyectado e=5cm armado con fibra, HPF-30 Bulones swellex Mn16 L=3,0m Sxd=2x2m² Avance: 4,0 m En avance + destroza	Hormigón proyectado e=10cm armado con fibra, HPF-30 Bulones swellex Mn24 L=4,0m Sxd=2x2m² Avance: 2,5 m En avance + destroza	Hormigón proyectado e=12cm HMP-30 armado #6x150x150 Bulones resina Ø25 L=4,0m Sxd=1,5x1,5m² Avance: 2,0 m En avance + destroza	Hormigón proyectado e=18cm HMP-30 armado 2#6x150x150 Cerchas TH-21 c/1,0m Bulones resina Ø25 L=4,0m Sxd=1x1m² Avance: 1,5 m En avance + destroza	Hormigón proyectado e=30cm HMP-30, armado 2#6x150x150 Cerchas HEB-180 c/1,0m Bulones resina Ø25 L=4,0m Sxd=1x1m² Avance: 1,0 m En avance + destroza
GRUPO 4		Hormigón proyectado e=17cm HMP-30 armado 2#6x150x150 Cerchas TH-29 c/2,0m Bulones resina Ø25 L=6,0m Sxd=2x2m² Avance: 2,5 m En galería de avance + laterales + destroza por fases	Hormigón proyectado e=20cm HMP-30 armado 2#6x150x150 Cerchas TH-29 c/1,5m Bulones resina Ø25 L=6,0m Sxd=1,5x1,5m² Avance: 2,0 m En galería de avance + laterales + destroza por fases	Hormigón proyectado e=25cm HMP-30 armado 2#6x150x150 Cerchas TH-29 c/1,0m Bulones resina Ø25 L=6,0m Sxd=1x1m² Avance: 1,5 m En galería de avance + laterales + destroza por fases	

GRUPO 4: EXCAVACIONES CON DIMENSION SUPERIOR A 10 METROS.



– NO SE HAN PREVISTO OBRAS DE ESTE GRUPO EN EL TRAMO SARRATU-APERRIBAI.

-EL SOSTENIMIENTO TIPO DEFINITIVO A APLICAR SE DETERMINARÁ EN OBRA DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS Y CALIDAD DEL MACIZO EN CADA PUNTO, O A OTROS CONDICIONANTES QUE ESTABLEZCA LA DIRECCION DE OBRA (EN ZONAS SINGULARES DE ENTRONQUE, POCA COBERTERA...

BIRAZTERTZEAK
REVISIONES

REFERENCIA CONSULTOR	REFERENCIA
----------------------	------------



A horizontal number line with tick marks at 0, 0.5, 1.5, and 2.5. The line is labeled with these numbers above the tick marks.

**URUA
YECTO** **BILBOKO METROPOLI-TRENBIDEAREN 5. LINEAKO
ERAIKUNTZA PROIEKTUA. SARRATU-APERRIBAI TARTEA**
**PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL
METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO SARRATU - APERRIBAI**

OBRAS SUBTERRANEAS
SOSTENIMIENTOS TIPO
TODAS LAS OBRAS SUBTERRANEAS

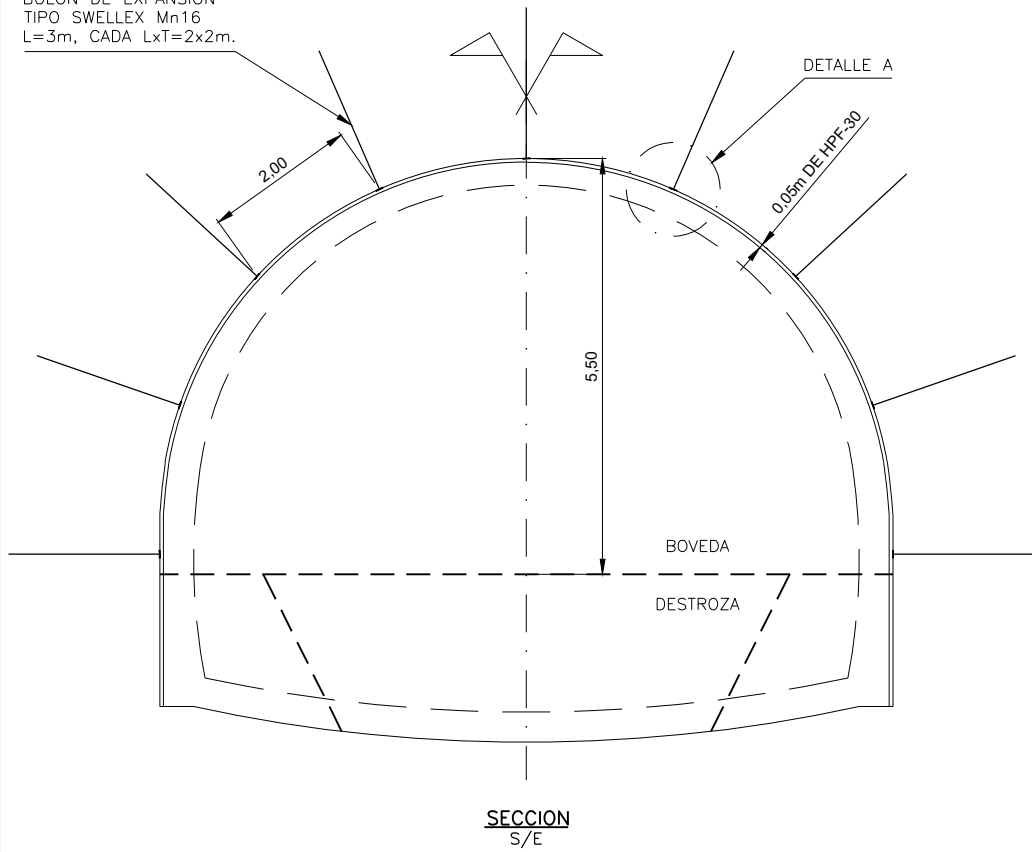
Anejo 9.4

ORRIA / HOJA

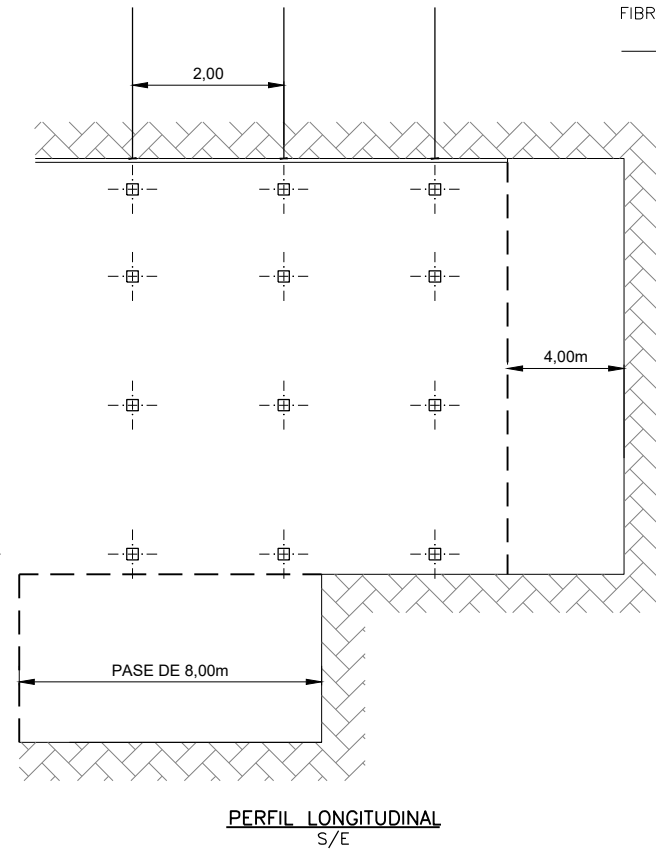
1 SIGUE 2

\\srvdcler\pvc\pais_vasco\letoa\Proyectos\U5.7. Delineación y planos\PLANOS\TRAMO 1\Anejos\A09-Obras Subterráneas\A09-04-h02SOST.dwg

BULON DE EXPANSION
TIPO SWELLEX Mn16
L=3m, CADA LxT=2x2m.

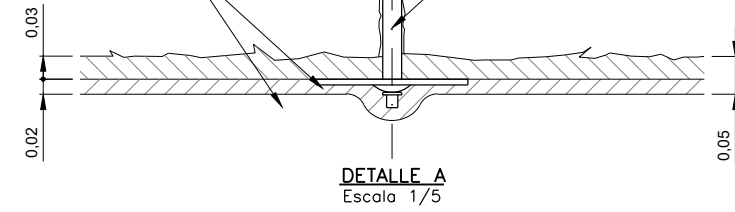


SOSTENIMIENTO TIPO I. TUNEL DE LINEA

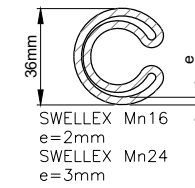


HORMIGON PROYECTADO
HPF-30 REFORZADO CON
FIBRAS DE ACERO (35Kg/m³)

BULON SWELLEX Mn16
L=3m, CADA LxT=2x2m.



BULON DE EXPANSION TIPO SWELLEX



SECCION BULON

PLACA

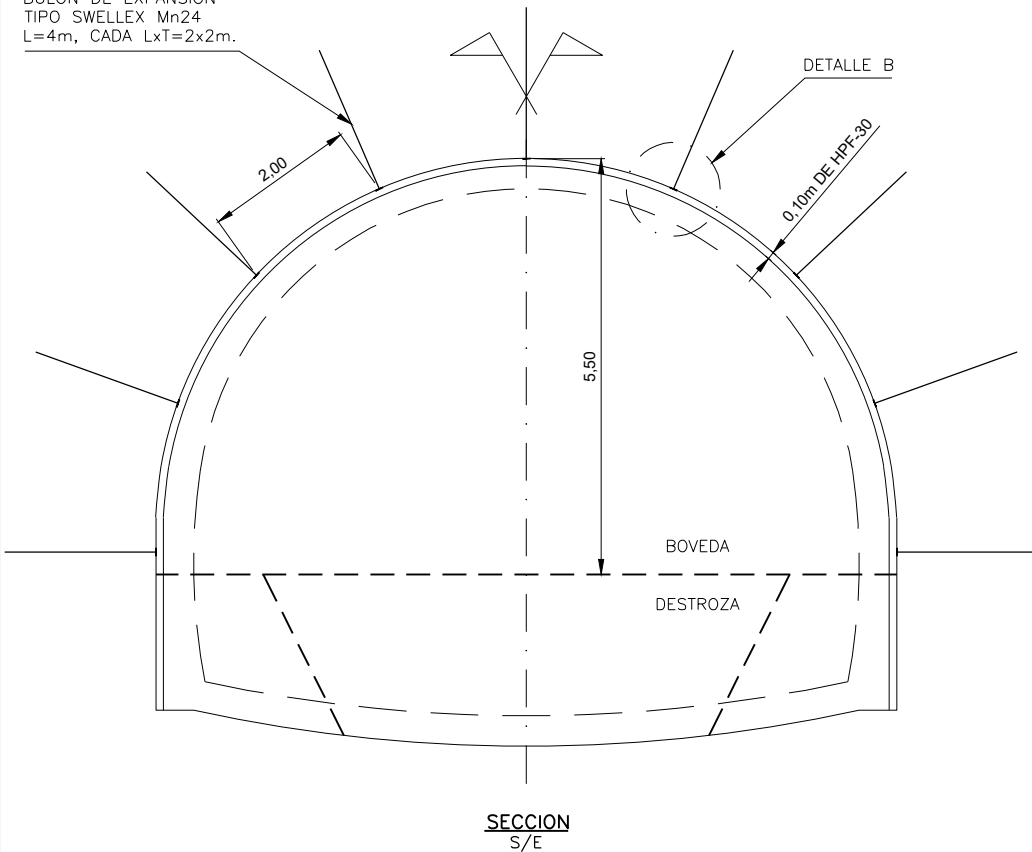
	Mn16	Mn24
CARGA MINIMA DE ROTURA	140 kN	200 kN
DIAMETRO DEL TALADRO	45-51 mm	
PRESION DE INFLADO	24 MPa	30 MPa
PLACA	150x150x5 mm abovedada	

SOSTENIMIENTO TIPO A APLICAR	RMR del MACIZO ROCOSO
I	>70
II	70-55

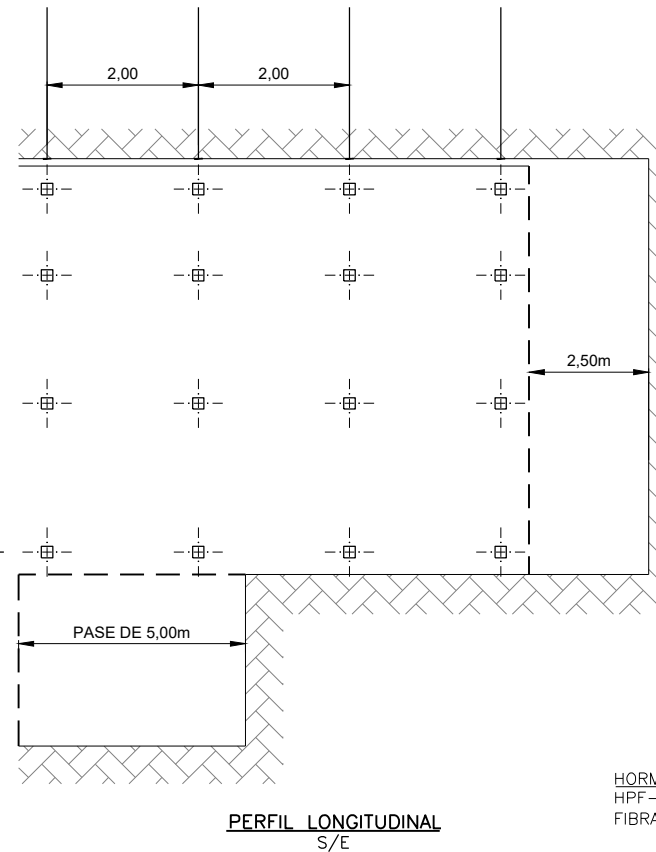
CUADRO DE MATERIALES

ELEMENTO	TIPO	NIVEL DE CONTROL
HORMIGÓN PROYECTADO	HMP-30	NORMAL
FIBRAS DE ACERO	DRAMIX ZP30/0,5 O SIMILAR	NORMAL
BULONES DE EXPANSION	SWELLEX Mn O SIMILAR	NORMAL

BULON DE EXPANSION
TIPO SWELLEX Mn24
L=4m, CADA LxT=2x2m.

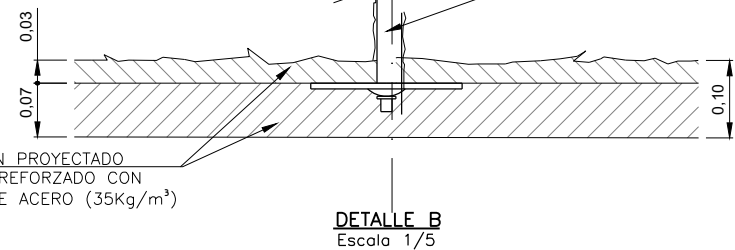


SOSTENIMIENTO TIPO II. TUNEL DE LINEA



HORMIGON PROYECTADO
HPF-30 REFORZADO CON
FIBRAS DE ACERO (35Kg/m³)

BULON SWELLEX
Mn24 L=4m, CADA
LxT=2x2m.



OHARRAK :
NOTAS :

A					
A	PROYECTO -- PRIMERA EMISIÓN	JUL21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP	OBRA
BIRAZTERTIZEAK REVISIONES					
AHOLKULARIA CONSULTOR		INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR			
					
REFERENCIA CONSULTOR		REFERENCIA			
		A09-04-h02SOST			

EUSKO JAURLARITZA

GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA
ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES

et euskal trenbide sarea
PROIEKTUAREN IKUSKAPENA ETA ZUZENDARITZA
INSPECCION Y DIRECCION DEL PROYECTO

ESKALA ORIGINAL:
ESCALA ORIGINAL
1/50
EN DIN A1



ESKALA GRAFIKOA
ESCALA GRAFICA

PROIEKTU IZENBURUA
TITULO DEL PROYECTO

BILBOKO METROPOLI-TRENBIDEAREN 5. LINEAKO
ERAIKUNTZA PROIEKTUA. SARRATU-APERRIBAI TARTEA
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL
METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO SARRATU - APERRIBAI

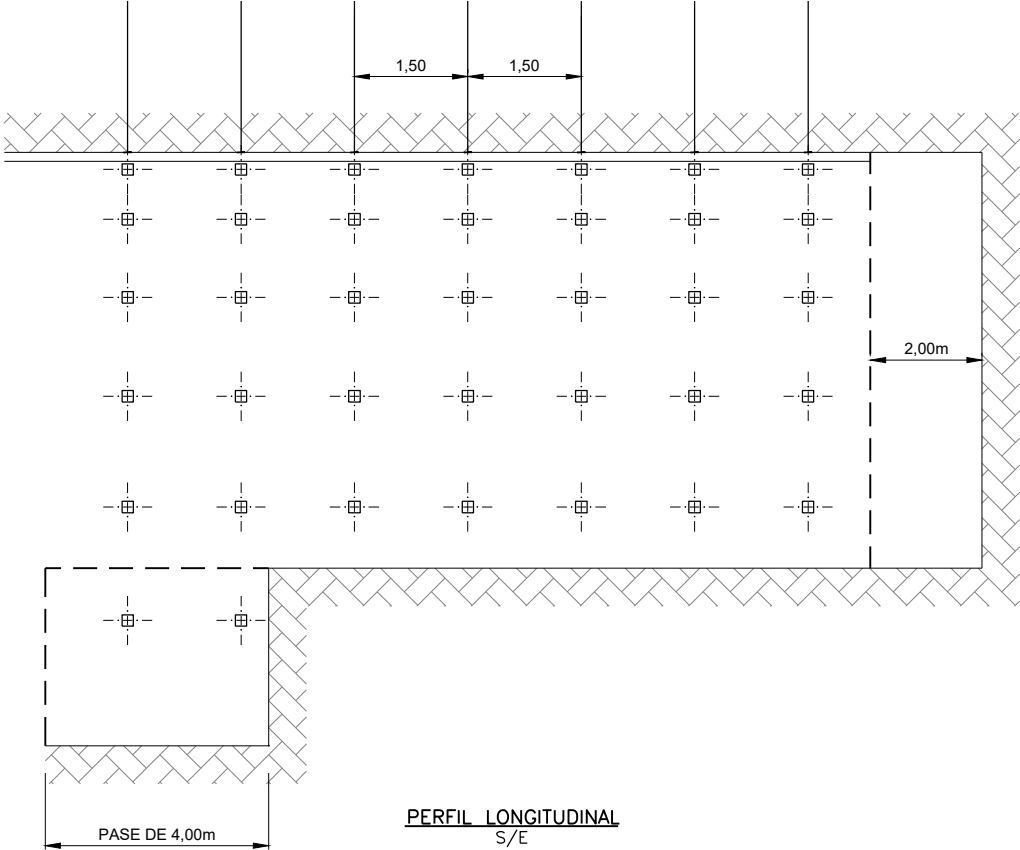
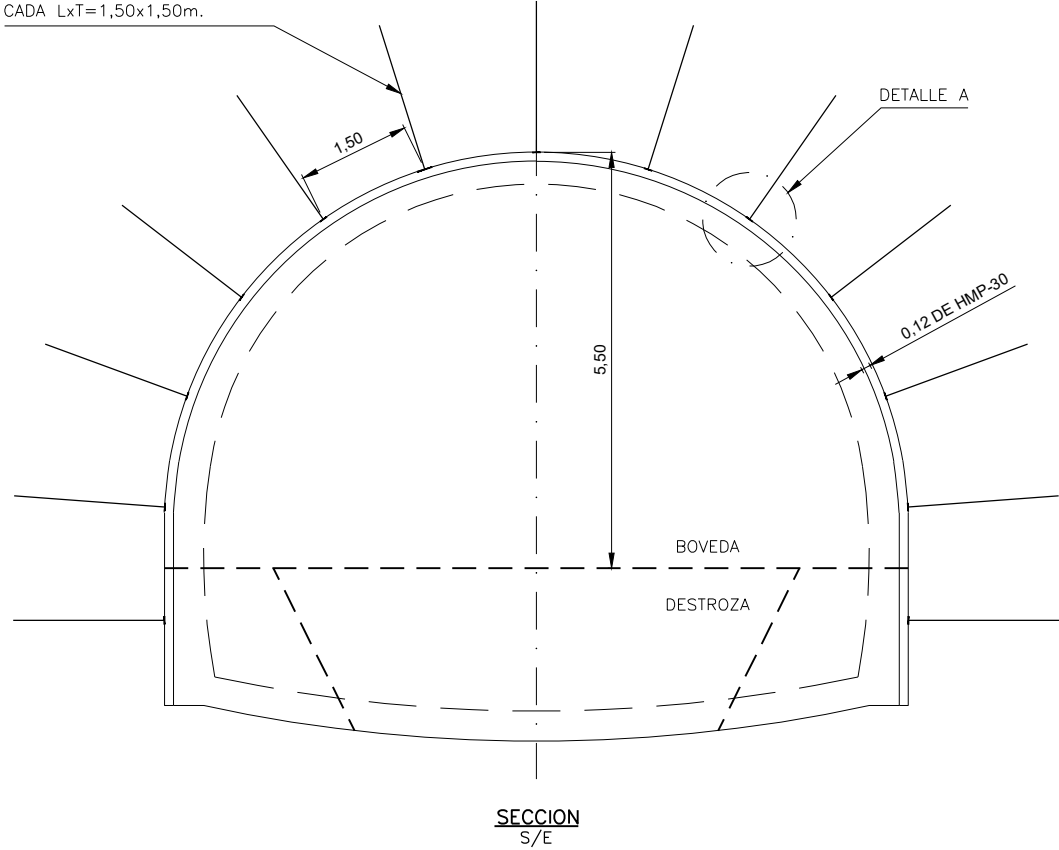
PLANU - IZENBURUA
TITULO DEL PLANO

OBRAS SUBTERRANEAS
SOSTENIMIENTOS TIPO. TUNEL DE LINEA
SOSTENIMIENTOS TIPO I Y II

PLANU-ZNB / N. PLANO
Anejo 9.4
ORRIA / HOJA
2 SIGUE 3

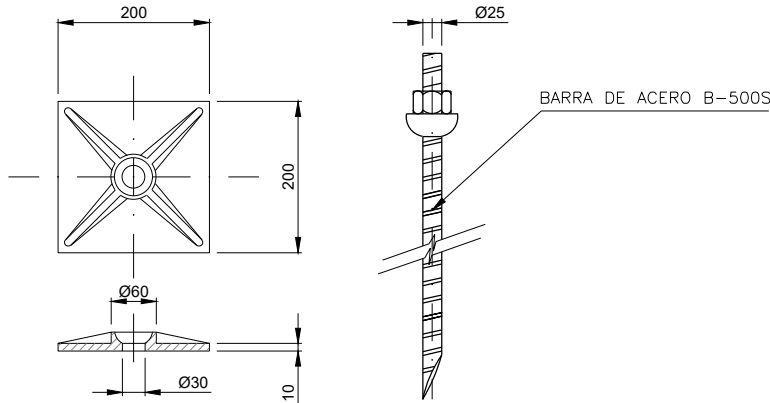
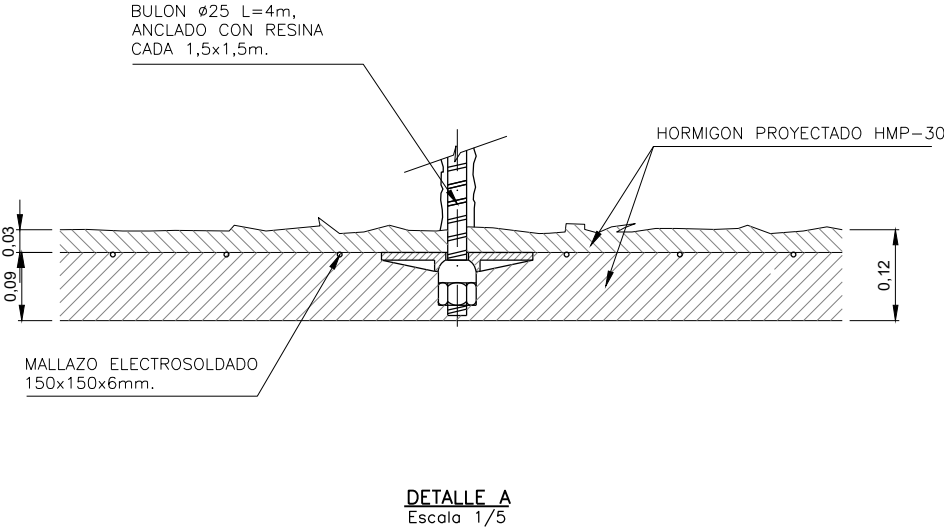
SOSTENIMIENTO TIPO III. TUNEL DE LINEA

BULONES DE ANCLAJE TOTAL
A LA RESINA $\varnothing 25$ L=4m,
CADA LxT=1,50x1,50m.



SOSTENIMIENTO TIPO A APLICAR	RMR del MACIZO ROCOSO
III	55-45

CUADRO DE MATERIALES		
ELEMENTO	TIPO	NIVEL DE CONTROL
HORMIGÓN PROYECTADO	HMP-30	NORMAL
BULONES	B-500S	NORMAL
MALLAZO	B-500-T	NORMAL



BULON $\varnothing 25$ Y PLACA DE REPARTO
Escala 1/5 (cotas en milímetros)

OHARRAK :
NOTAS :

REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP.	OBRA
A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL.21	XXX	ETS	

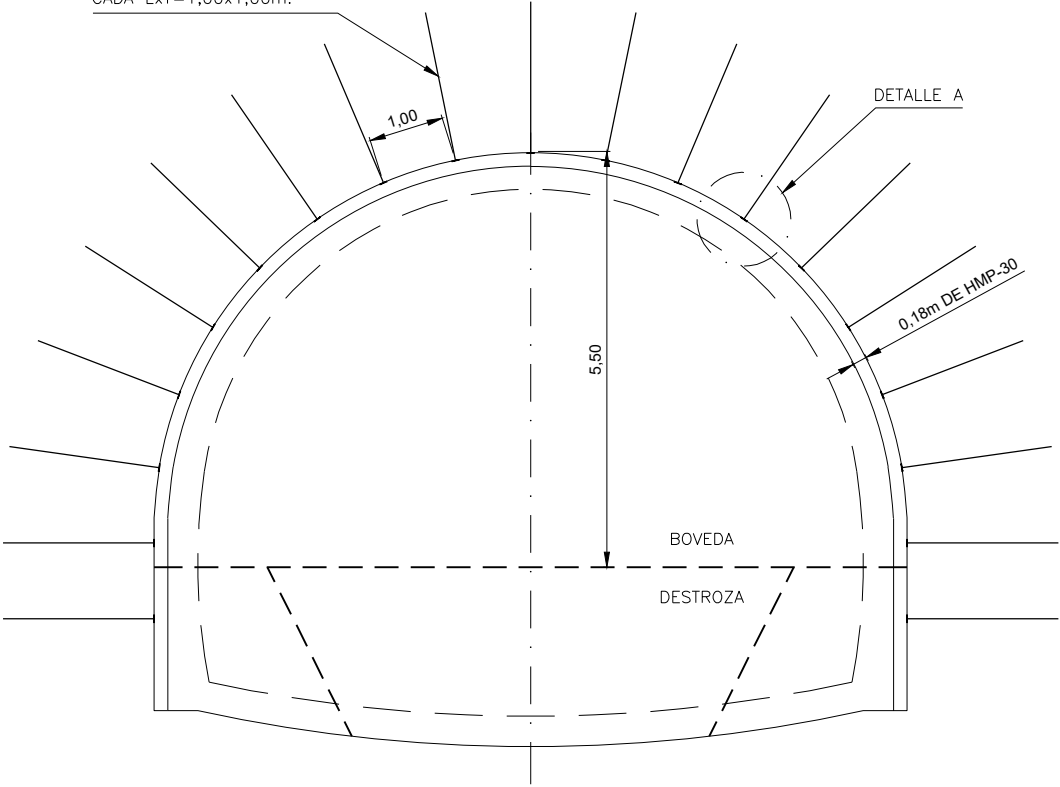
BIRAZTERTZEAK
REVISIONES

AHOLKULARIA CONSULTOR	INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR
epi	FUGRUM

REFERENCIA CONSULTOR	REFERENCIA
	A09-04-h03SOST

SOSTENIMIENTO TIPO IV. TUNEL DE LINEA

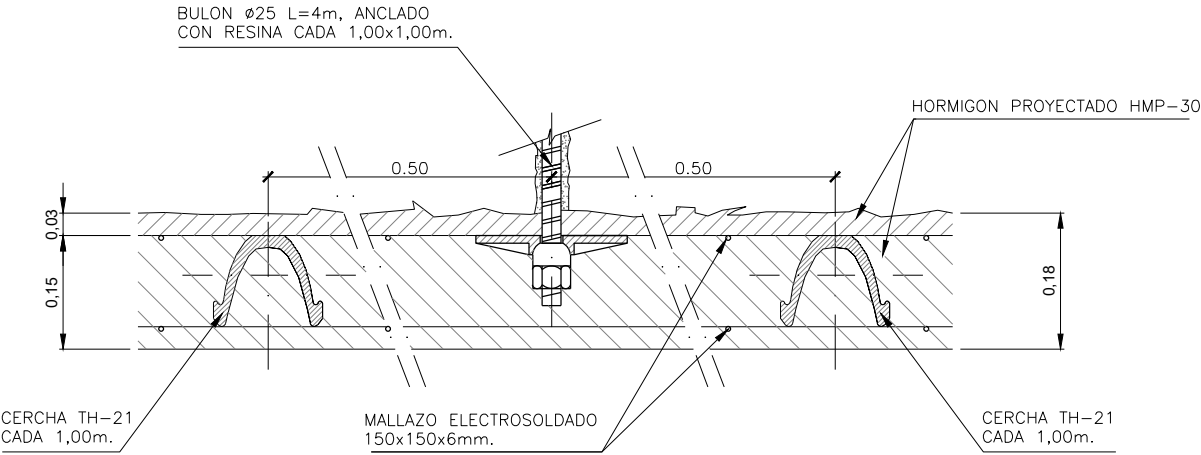
BULONES DE ANCLAJE TOTAL
A LA RESINA $\varnothing 25$ L=4m,
CADA LxT=1,00x1,00m.



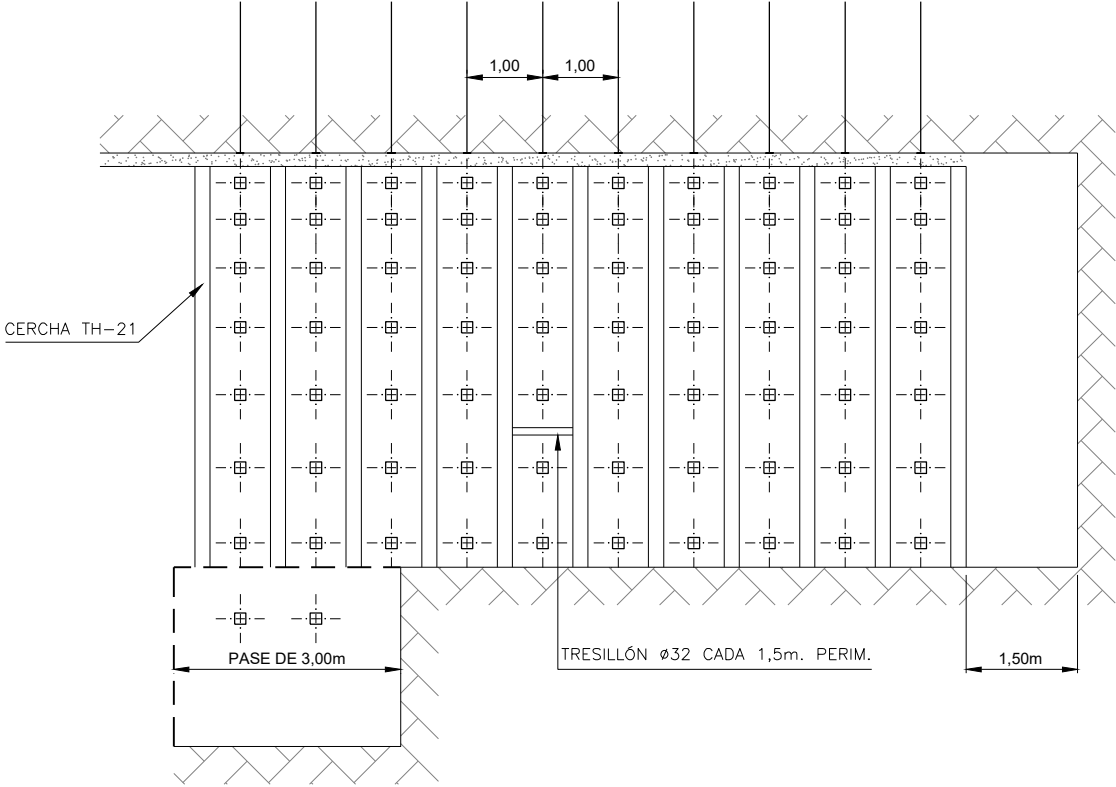
SECCION
S/E

SOSTENIMIENTO TIPO A APLICAR	RMR del MACIZO ROCOSO
IV	45-20

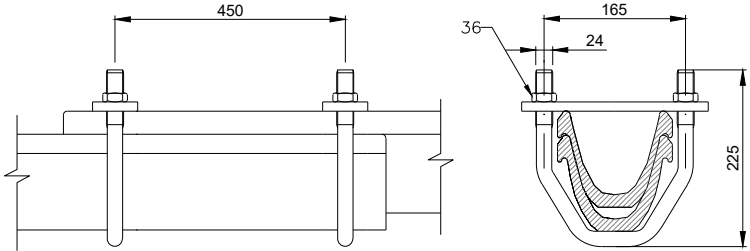
CUADRO DE MATERIALES		
ELEMENTO	TIPO	NIVEL DE CONTROL
HORMIGÓN PROYECTADO	HMP-30	NORMAL
BULONES	B-500S	NORMAL
CERCHAS METÁLICAS	TH-21	NORMAL
MALLAZO	B-500-T	NORMAL



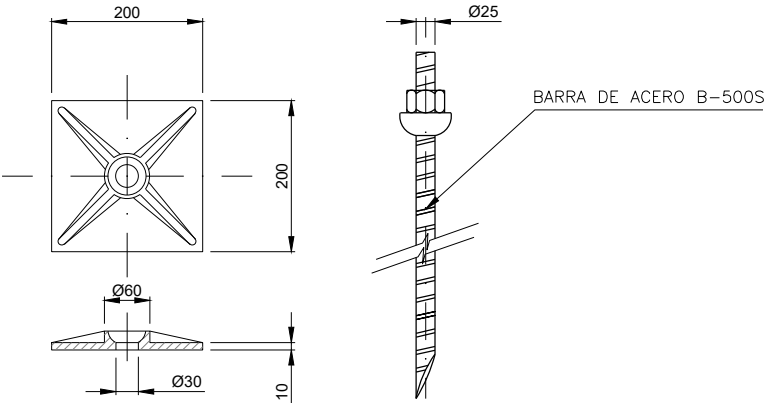
DETALLE A
Escala 1/5



PERFIL LONGITUDINAL
S/E



DETALLE DE UNIÓN DE CERCHAS
S/E (cotas en milímetros)

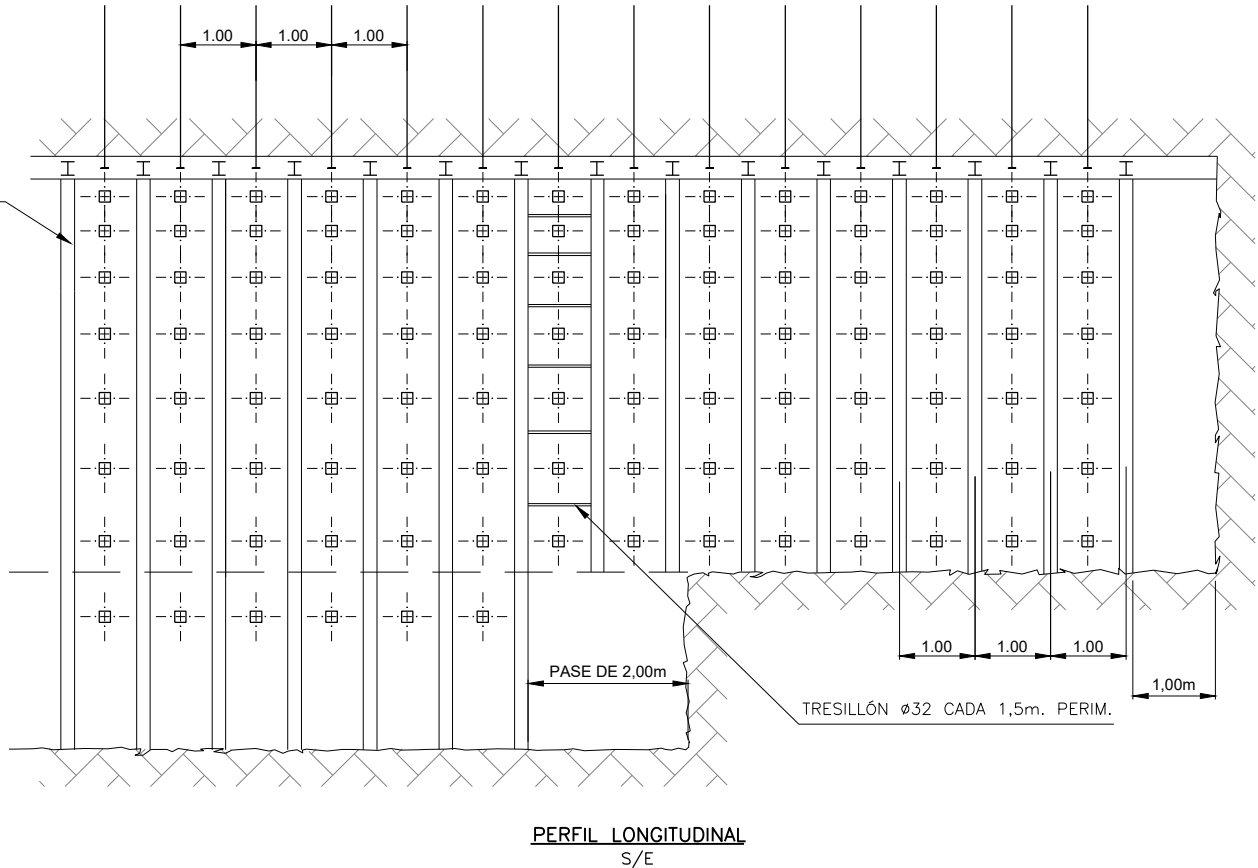
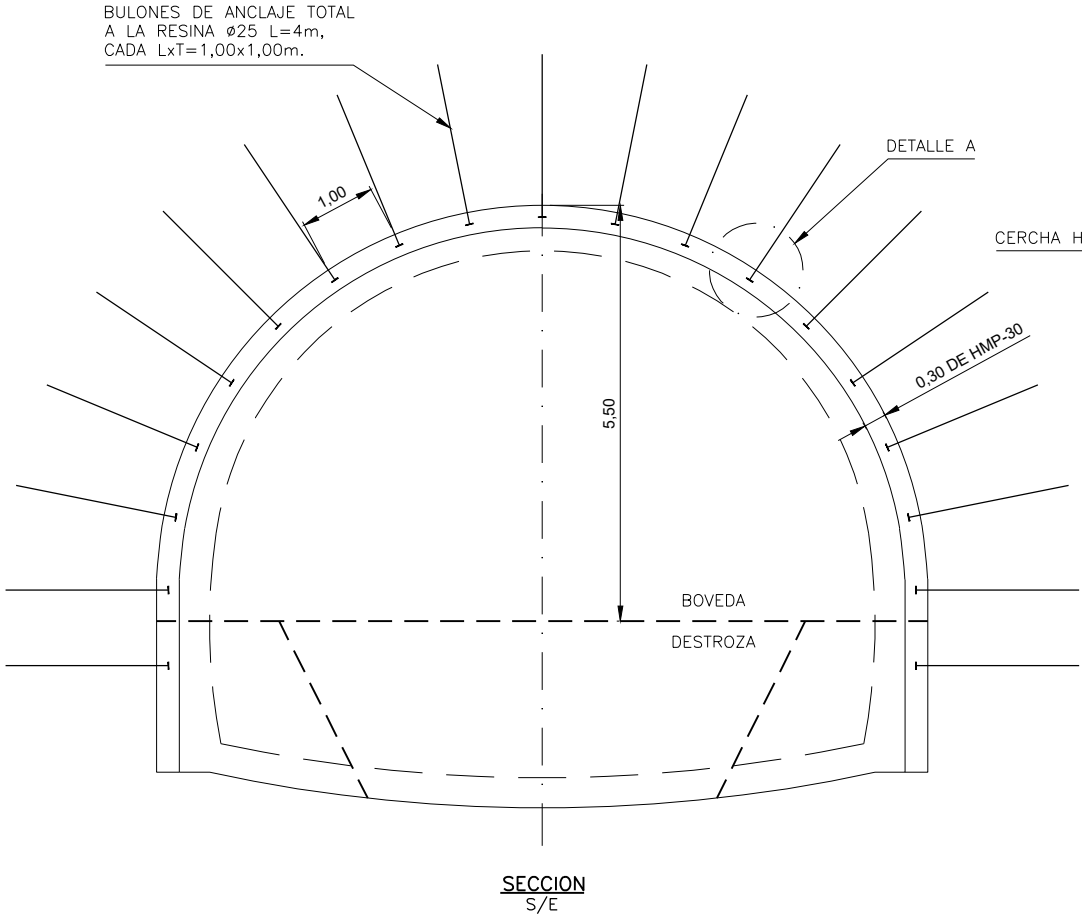


BULON $\varnothing 25$ Y PLACA DE REPARTO
Escala 1/5 (cotas en milímetros)

OHARRAK :
NOTAS :

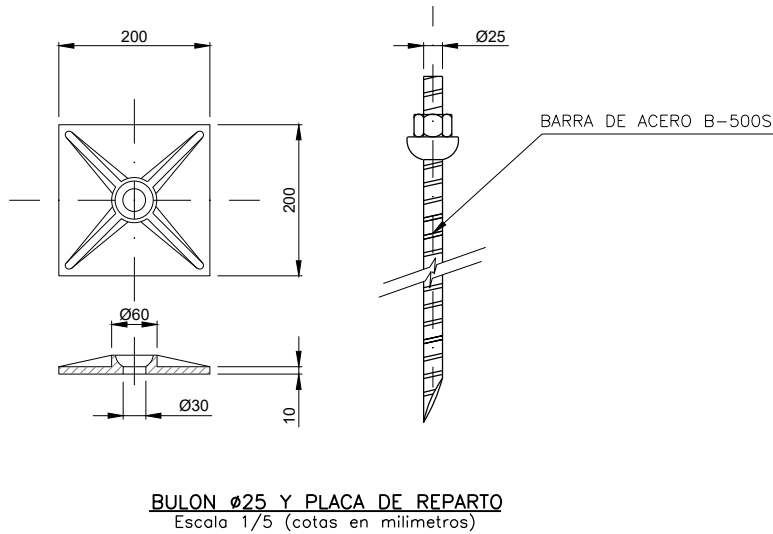
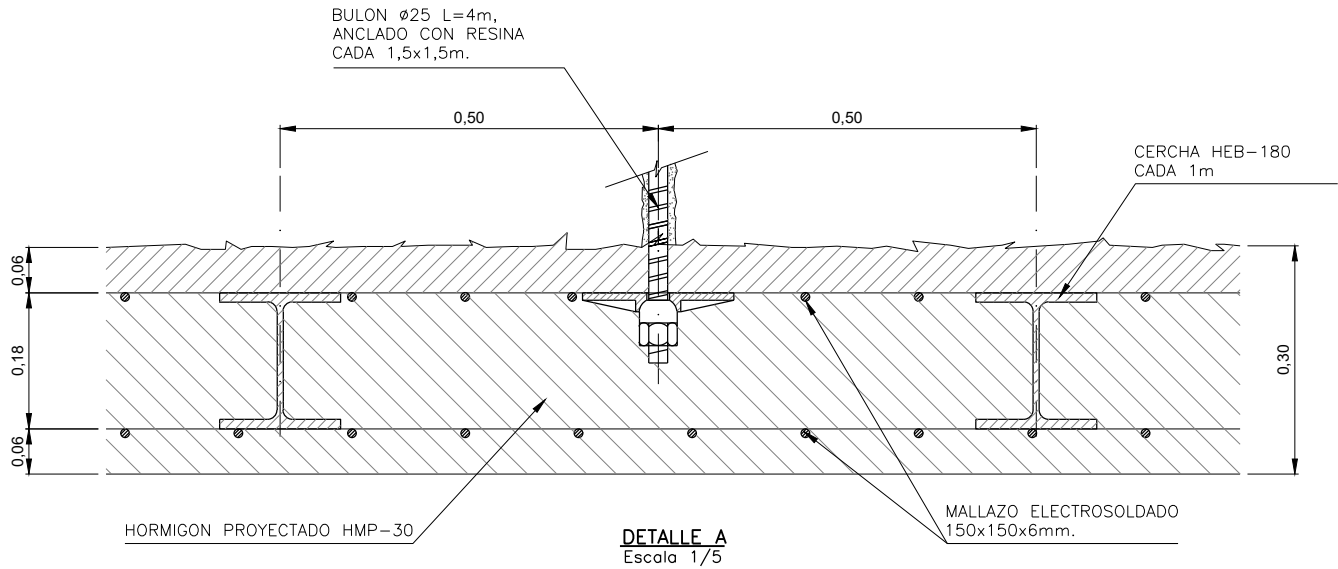
A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN		JUL 21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION		FECHA	NOMBRE	COMP	OBRA
BIRAZTERTZEAK REVISIONES						
AHOLKULARIA CONSULTOR			INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR			
ep4sa			FULCRUM			
REFERENCIA CONSULTOR			REFERENCIA			
			A09-04-h04SOST			

SOSTENIMIENTO TIPO V. TUNEL DE LINEA



SOSTENIMIENTO TIPO A APLICAR	RMR del MACIZO ROCOSO
V	20-10

CUADRO DE MATERIALES		
ELEMENTO	TIPO	NIVEL DE CONTROL
HORMIGÓN PROYECTADO	HMP-30	NORMAL
BULONES	B-500S	NORMAL
CERCHAS METÁLICAS	HEB-180	NORMAL
MALLAZO	B-500-T	NORMAL



OHARRAK :
NOTAS :

A	PROYECTO - PRIMERA EMISIÓN	JUL21	XXX	ETS	
REV.	CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	COMP	OBRA
BIRAZTERTZEAK REVISIONES					
AHOLKULARIA CONSULTOR		INGENIARI EGILEA INGENIERO AUTOR			
REFERENCIA CONSULTOR		REFERENCIA			
		A09-04-h05SOST			

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA,
ETXEBIZITZA ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL, VIVIENDA Y TRANSPORTES



euskal trenbide sarea

PROIEKTUAREN IKUSKAPENA ETA ZUZENDARITZA
INSPECCIÓN Y DIRECCIÓN DEL PROYECTO

ESKALA ORIGINAL:
ESCALA ORIGINAL

1/50

EN DIN A1

0 0.5 1.5 2.5

ESKALA GRAFIKOA
ESCALA GRAFICA

PROIEKTU IZENBURUA
TÍTULO DEL PROYECTO

BILBOKO METROPOLI-TRENBIDEAREN 5. LINEAKO
ERAIKUNTZA PROIEKTUA. SARRATU-APERRIBAI TARTEA
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL
METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO SARRATU - APERRIBAI

PLANU - IZENBURUA
TÍTULO DEL PLANO

OBRAS SUBTERRANEAS
SOSTENIMIENTOS TIPO. TUNEL DE LINEA
SOSTENIMIENTOS TIPO V

PLANU-ZNB / N. PLANO

Anejo 9.4

ORRIA / HOJA

5 SIGUEFIN

APÉNDICE N°9.5

Calidad del macizo rocoso: índice RMR en sondeos

	PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO: SARRATU-APERRIBAI		OBSERVACIONES: LOCALIZACIÓN:	FECHA: 15/02/2012 SONDEO: SM-5 HOJA: 1 de 1
---	--	---	-------------------------------------	--

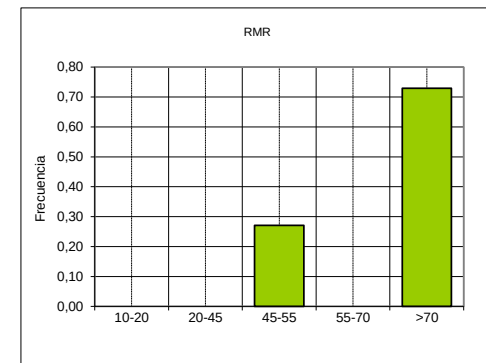
TRAMO	DESCRIPCION	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI										
		RCS (MPa)	VALOR	RQD (%)	VALOR	SEPARACION DIACLASAS	VALOR	ESTADO DISCONTINUIDAD	VALOR	AGUA FREÁTICA	VALOR	RMR BÁSICO
		DATO		DATO		DATO		DATO		DATO		
8,80-13,80	Lutitas calcáreas con intercalaciones cm de areniscas G:II	5-25	2	75	15	0,06-0,20	8	Estratificación pulida. J1 plana rugosa. Separación juntas 1mm. Bordes alterados y oxidados	13	Ligeramente húmedas	10	48
13,80-20,20	Lutitas calcáreas G:I	5-25	2	100	20	>2	20	Sin juntas	30	Secas	15	87
20,20-27,25	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de areniscas G:I-II	5-25	2	100	20	>2	20	Juntas plana rugosa y cerradas. Separación <1-5mm. Rellenas de calcita. Bordes duros.	25	Secas	15	82

RESUMEN RMR SM-5

RANGOS DE RMR
METROS EN EL SONDEO
% EN EL SONDEO

10-20	20-45	45-55	55-70	>70
0,00	0,00	5,00	0,00	13,45
0,00	0,00	0,27	0,00	0,73

0,0% 10 < RMR < 20
0,0% 20 < RMR < 45
27,1% 45 < RMR < 55
0,0% 55 < RMR < 70
72,9% RMR > 70
100,0%



	PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO: SARRATU-APERRIBAI		OBSERVACIONES: LOCALIZACIÓN:	FECHA: 15/02/2012 SONDEO: SM-6 HOJA: 1 de 1
---	--	---	---	---

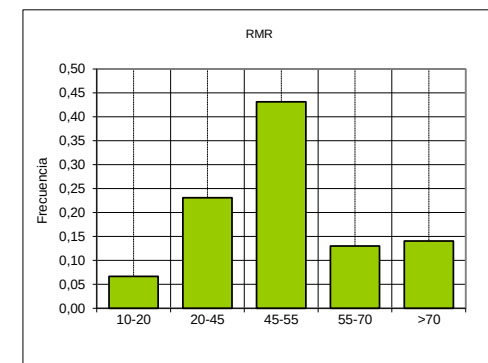
TRAMO	DESCRIPCION	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI										
		RCS (MPa)	VALOR	RQD (%)	VALOR	SEPARACION DIACLASAS	VALOR	ESTADO DISCONTINUIDAD	VALOR	AGUA FREÁTICA	VALOR	RMR BÁSICO
		DATO		DATO		DATO		DATO		DATO		
5,80-9,60	Limolitas calcáreas G:II	5-25	2	100	20	0,30-1,00	13	Estratificación plana lisa. Separación juntas <1-1mm. Oxidos	20	Ligeramente húmedas	10	65
9,60-15,90	Limolitas calcáreas G:II	5-25	2	85	17	0,06-0,2	8	Estratificación plana rugosa. Resto de juntas plana lisa y rugosa. Separación 1-3mm. Rellenas de óxido y alguna rellena de limo arenoso	15	Húmedas	7	49
15,90-19,00	Limolitas calcáreas G:II	5-25	2	50	8	0,06-0,2	8	Estratificación plana lisa y lustrosa. Resto de juntas planas rugosas. Separación 1-3mm. Alguna rellena de limo arenoso	10	Húmedas	7	35
19,00-25,30	Limolitas calcáreas G:II	5-25	2	85	17	0,20-0,60	10	Estratificación plana lisa y rugosa. Resto de juntas planas rugosas. Separación 1mm. Alguna rellena de calcita	15	Húmedas	7	51
25,30-29,40	Limolitas calcáreas G:I	5-25	2	100	20	>2	20	Bordes sanos. Juntas cerradas. Separación 1-3mm rellenas de calcita	30	Secas	15	87
29,40-31,35	Limolitas calcáreas G:III	1-5	1	0	3	<0,06	5	Juntas totalmente pulidas y rellenas de limo y calcita	5	Goteando	4	18
31,35-32,00	Limolitas calcáreas G:II	5-25	2	25	4	<0,06	5	Todas las juntas onduladas pulidas. Separación 1mm. Bordes bastante meteorizados	10	ligeramente húmedo	10	31
32,00-35,00	Limolitas calcáreas G:II	5-25	2	75	13	0,20-0,60	10	Todas las juntas pulidas. Separación 1-5 mm. Alguna rellena de calcita	10	ligeramente húmedo	10	45

RESUMEN RMR SM-6

RANGOS DE RMR
METROS EN EL SONDEO
% EN EL SONDEO

10-20	20-45	45-55	55-70	>70
1,95	6,75	12,6	3,80	4,10
0,07	0,23	0,43	0,13	0,14

7,0% 10 < RMR < 20
23,0% 20 < RMR < 45
43,0% 45 < RMR < 55
13,0% 55 < RMR < 70
14,0% RMR > 70
100,0%



	PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO: SARRATU-APERRIBAI		OBSERVACIONES: LOCALIZACIÓN:	FECHA: 15/02/2012 SONDEO: SM-7 HOJA: 1 de 1
---	--	---	-------------------------------------	--

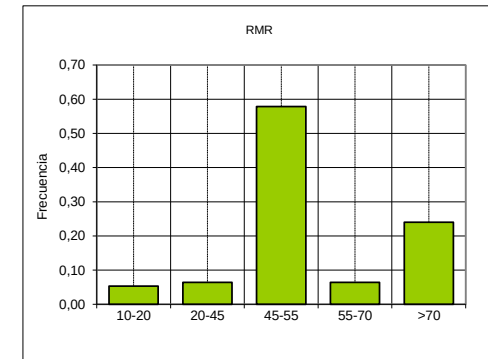
TRAMO	DESCRIPCION	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI										
		RCS (MPa)	VALOR	RQD (%)	VALOR	SEPARACION DIACLASAS	VALOR	ESTADO DISCONTINUIDAD	VALOR	AGUA FREÁTICA	VALOR	RMR BÁSICO
		DATO		DATO		DATO		DATO		DATO		
6,80-9,30	Lutitas calcáreas con alguna intercalación de arenisca G:I	5-25	2	100	20	>2	20	Sin juntas	30	Secas	15	87
9,30-9,60	Lutitas calcáreas con alguna intercalación de arenisca G:II	5-25	2	0	3	<0,06-0,1	6	Estratificación ondulada rugosa. Resto de Separación 1mm. Rellenas de óxido, bordes bastante alterados	20	Ligeramente húmedo	10	41
9,60-11,90	Lutitas calcáreas G:I	5-25	2	100	20	0,6-2	15	Estratificación escalonada rugosa y pulida. Resto de calcita. Separación 1mm.	15	Secas	15	67
11,90-13,80	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm de arenisca G:III	1-5	1	0	3	<0,06	3	Juntas totalmente pulidas	5	Goteando	4	16
13,80-25,50	Lutitas calcáreas con alguna intercalación cm de arenisca y caliza G:II	5-25	2	75	13	0,2-0,6	10	Estratificación ondulada y escalonada pulida. 2 familias de juntas (J), una ondulada lisa y otra cerradas, rellenas de calcita	10	Ligeramente húmedo	10	45
25,50-27,50	Lutitas calcáreas G:III	5-25	2	10	3	0,06-0,20	8	Todas las juntas onduladas y pulidas. Separación 1mm	5	Húmedas	7	25
27,50-36,50	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca y caliza G:II	5-25	2	80	17	0,2-0,6	10	Estratificación ondulada pulida. Resto de juntas cerradas y rellenas de calcita. Separación 1-3 mm	10	Ligeramente húmedo	10	49
36,50-42,60	Lutitas calcáreas con algún nivel esporádico de arenisca G:I	5-25	2	100	20	>2	20	Sin juntas	30	Secas	15	87

RESUMEN RMR SM-7

RANGOS DE RMR
METROS EN EL SONDEO
% EN EL SONDEO

10-20	20-45	45-55	55-70	>70
1,90	2,30	20,70	2,30	8,60
0,05	0,06	0,58	0,06	0,24

5,3% 10 < RMR < 20
6,4% 20 < RMR < 45
57,8% 45 < RMR < 55
6,4% 55 < RMR < 70
24,0% RMR > 70
100,0%



	PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO: SARRATU-APERRIBAI		OBSERVACIONES: LOCALIZACIÓN:	FECHA: 15/02/2012 SONDEO: SM-8 HOJA: 1 de 1
---	--	---	-------------------------------------	--

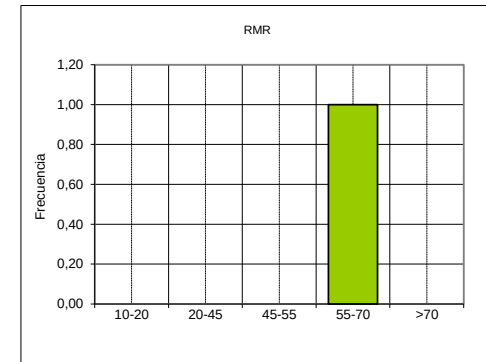
TRAMO	DESCRIPCION	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI										
		RCS (MPa)	VALOR	RQD (%)	VALOR	SEPARACION DIACLASAS	VALOR	ESTADO DISCONTINUIDAD	VALOR	AGUA FREÁTICA	VALOR	RMR BÁSICO
		DATO		DATO		DATO		DATO		DATO		
4,8-38,20	Margocalizas con alguna intercalación mm-cm de calcarenita G:II	5-25	2	100	20	0,60-2	15	Juntas onduladas lisas. Separación 1-5mm. Rellenas de calcita. Bordes duros	20	Ligeramente húmeda	10	67

RESUMEN RMR SM-8

RANGOS DE RMR
METROS EN EL SONDEO
% EN EL SONDEO

10-20	20-45	45-55	55-70	>70
0,00	0,00	0,00	33,40	0,00
0,00	0,00	0,00	1,00	0,00

0,0% 10 < RMR < 20
0,0% 20 < RMR < 45
0,0% 45 < RMR < 55
100,0% 55 < RMR < 70
0,0% RMR > 70
100,0%



	PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO: SARRATU-APERRIBAI		OBSERVACIONES: LOCALIZACIÓN:	FECHA: 15/02/2012 SONDEO: SM-9a HOJA: 1 de 1
---	--	---	---	--

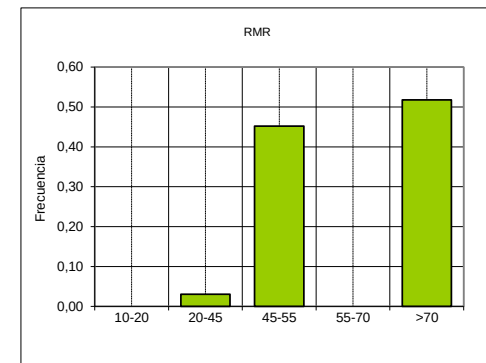
TRAMO	DESCRIPCION	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI										
		RCS (MPa)	VALOR	RQD (%)	VALOR	SEPARACION DIACLASAS	VALOR	ESTADO DISCONTINUIDAD	VALOR	AGUA FREÁTICA	VALOR	RMR BÁSICO
		DATO		DATO		DATO		DATO		DATO		
4,80-5,65	Lutitas G:II	5-25	2	20	3	0,06-0,2	8	Estratificación ondulada rugosa. Separación 1-3mm. Oxidadas y rellenas de arcilla. Bordes bastante alterados	13	Húmedo	7	33
5,65-18,35	Lutita con alguna pasada esporádica mm-cm más calcárea G:II	5-25	2	85	17	0,2-1	13	Estratificación mayoritariamente lisa o pulida. Juntas Separación 1-3mm. Oxidadas y rellenas de arcilla. Bordes bastante alterados	12	Ligeramente húmedo	10	54
18,35-32,90	G:I	5-25	2	100	20	>2	20	Estratificación ondulada lisa. Resto de juntas cerradas o estriadas rellenas de calcita calcita. Separación 1-2mm. Bordes duros	25	Secas	15	82

RESUMEN RMR SM-9a

RANGOS DE RMR
METROS EN EL SONDEO
% EN EL SONDEO

10-20	20-45	45-55	55-70	>70
0,00	0,85	12,70	0,00	14,55
0,00	0,03	0,45	0,00	0,52

0,0% 10 < RMR < 20
3,0% 20 < RMR < 45
45,2% 45 < RMR < 55
0,0% 55 < RMR < 70
51,8% RMR > 70
100,0%



	PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LINEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO: SARRATU-APERRIBAI		OBSERVACIONES:	FECHA: 15/02/2012 HOJA: 1 de 1
			LOCALIZACIÓN:	SONDEO: SM-11

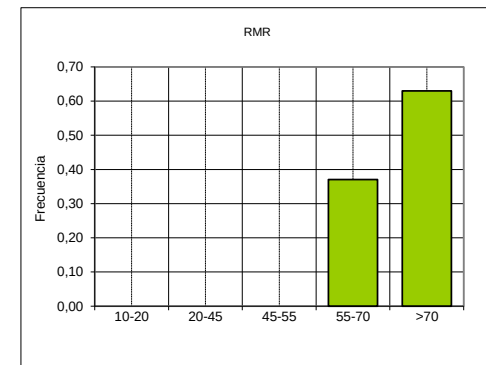
TRAMO	DESCRIPCION	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI										
		RCS (MPa)	VALOR	RQD (%)	VALOR	SEPARACION DIACLASAS	VALOR	ESTADO DISCONTINUIDAD	VALOR	AGUA FREÁTICA	VALOR	RMR BÁSICO
		DATO		DATO		DATO		DATO		DATO		
12,90-21,60	Margas G:II	5-25	2	100	20	0,2-2	13	Juntas lisas y rugosas. Separación media entre 1-10mm. Rellenas de óxido y arcillas	15	Secas	15	65
21,60-36,40	Margas G:II-I	5-25	2	100	20	0,6-2	15	Juntas algo rugosas. Separación <1mm. Algunas con óxido y calcita	25	Ligeramente húmedo	10	72

RESUMEN RMR SM-11

RANGOS DE RMR
METROS EN EL SONDEO
% EN EL SONDEO

10-20	20-45	45-55	55-70	>70
0,00	0,00	0,00	8,70	14,80
0,00	0,00	0,00	0,37	0,63

0,0% 10 < RMR < 20
0,0% 20 < RMR < 45
0,0% 45 < RMR < 55
37,0% 55 < RMR < 70
63,0% RMR > 70
100,0%



APÉNDICE N°9.6

Ensayos de laboratorio. Resultados y análisis estadístico

RELACIÓN DE ENSAYOS EN TESTIGOS DE ROCA

FORMACIÓN	SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN	HUMEDAD (%)	DENSIDAD APARENTE (t/m³)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	MÓDULO DE DEFORMACIÓN (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON	TRIAxIAL α1 (MPa)	TRIAxIAL α3 (MPa)	ABRASIVIDAD CERCHAR (I)	POINT LOAD (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	SCHIMAZEK (kN/m)	AGRESIVIDAD AL HORMIGÓN			VELOCIDAD ONDAS (m/s)
																ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg)	SULFATOS (mg/kg)	AGRESIVIDAD	
CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino	SM-5	TP	15,70 - 16,25	Lutitas calcáreas G:I	1,7	2,66	11,30	7394,0	0,434			0,5		1,55					
		TP	18,70 - 19,20	Lutitas calcáreas G:I	1,6	2,68	8.00 laminación	3540.0	0.420			0,4							3973
		TP	21,10 - 21,70	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca G:I-II	1,7	2,70				15,5	0,5			1,76	0,019				
		TP	23,70 - 24,20	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca G:I-II	1,5	2,67				27,8	0,8					0	87	No agresivo	
		TP	26,45 - 26,80	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca G:I-II	1,7	2,66				33,7	1								
	S-9 ESTUDIO INFORMATIVO	TP	15,45 - 15,80	Limolitas G:II										6,07	0,129				
		TP	18,15 - 18,75	Limolitas G:II			13.00	4337.1	0.240			0,2							
		TP	26,45 - 26,95	Limolitas G:II	2	2,72	11,77												
	SM-6	TP	6,60 - 7,20	Limolitas calcáreas G:II	1,6	2,67	12,20	11815,0	0,412					1,93					
		TP	11,40 - 12,00	Limolitas calcáreas G:II	1,2	2,67	18,00					0,4		3,32	0,084				
		TP	15,10 - 15,60	Limolitas calcáreas G:II	0,7	2,69	29,60												
		TP	19,80 - 20,10	Limolitas calcáreas G:II	1,4	2,64	7.70 laminación	10441,0	0,424										
		TP	24,00 - 24,40	Limolitas calcáreas G:II	1,5	2,69				35,0	0,5								
		TP	27,70 - 28,20	Limolitas calcáreas G:I	0,8	2,67				27,3	0,7								
	S-8 ESTUDIO INFORMATIVO	TP	12,35 - 12,60	Margocalizas G:II										8.979 calizo?					
		TP	14,40 - 14,65	Margocalizas G:II		2,78	28,80	19615,2	0,220										
		TP	16,95 - 17,25	Margocalizas G:II			19,90												
		TP	26,60 - 26,90	Margocalizas G:II		2,73	16,10	11282,7	0,290			0,0		5,62	0,081				
	SM-7	TP	11,40 - 11,80	Lutitas calcáreas G:II	1,4	2,68				17,6	0,3								
		TP	13,80 - 14,20	Lutitas calcáreas con alguna intercalación cm de arenisca y de caliza G:II	1,4	2,68	1.30 junta												
		TP	18,00 - 18,30	Lutitas calcáreas con alguna intercalación cm de arenisca y de caliza G:II	1	2,70	11,80												
		TP	22,20 - 22,60	Lutitas calcáreas con alguna intercalación cm de arenisca y de caliza G:II	0,6	2,73	30,30	8833,0	0,418			0,8		4,55					

RELACIÓN DE ENSAYOS EN TESTIGOS DE ROCA

FORMACIÓN	SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN	HUMEDAD (%)	DENSIDAD APARENTE (t/m³)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	MÓDULO DE DEFORMACIÓN (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON	TRIAxIAL α1 (MPa)	TRIAxIAL α3 (MPa)	ABRASIVIDAD CERCHAR (I)	POINT LOAD (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	SCHIMAZEK (kN/m)	AGRESIVIDAD AL HORMIGÓN			VELOCIDAD ONDAS (m/s)
																ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg)	SULFATOS (mg/kg)	AGRESIVIDAD	
CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino	SM-7	TP	25,20 - 25,45	Lutitas calcáreas con alguna intercalación cm de arenisca y de caliza G:II	0,7	2,70	38.40 clasto caliza									0	78	No agresivo	
		TP	30,30 - 30,60	Lutitas calcáreas con alguna intercalación cm de arenisca y de caliza G:II	1	2,71	8.60 junta	13297,0	0,308										3110
		TP	34,30 - 34,80	Lutitas calcáreas con alguna intercalación cm de arenisca y de caliza G:II	1,4	2,70	11,80	6010,0	0,180					2,16	0,041				
	SM-8	TP	7,20-7,80	Margocalizas con alguna intercalación mm-cm de calcarenita G:II	0,9	2,70	18,60							3,95		0	87	No agresivo	
		TP	11,90-12,50	Margocalizas con alguna intercalación mm-cm de calcarenita G:II	0,4	2,70	22,70	19008,0	0,292										
		TP	19,10-19,50	Margocalizas con alguna intercalación mm-cm de calcarenita G:II	1	2,70	19,00							4,15					
		TP	27,60-28,18	Margocalizas con alguna intercalación mm-cm de calcarenita G:II	0,6	2,60	11.50 junta	12713,0	0,305					2,50	0,049				
	S-10 ESTUDIO INFORMATIVO	TP	15,40 - 15,80	Limolitas G:II			6.70	6376.55	0.190			1,5							
		TP	18,55 - 18,95	Limolitas G:II			6.30							2,21	0,025				
	SM-9	TP	4,93 - 5,20	Calizas margosas G:II	0,2	2,70	38.5 clasto caliza												
		TP	8,50 - 9,00	Margas G:I	0,8	2,71	19,70	13545,0	0,302										
		TP	17,40 - 18,00	Lutitas con alguna pasada mm y esporádica de arenisca G:I	0,8	2,68	12,30	4422.0	0.434					2,88					
		TP	22,20 - 22,80	Lutitas con alguna pasada mm y esporádica de arenisca G:I	0,7	2,69	20,10							4,31	0,045				
	SM-9a	TP	10,90 - 11,20	Lutitas con alguna pasada mm-cm y esporádica más calcárea G:II	1,4	2,71								4,74	0,050				4177
		TP	16,10 - 16,45	Lutitas con alguna pasada mm-cm y esporádica más calcárea G:II	1,8	2,69						0,5				0	147	No agresivo	
		TP	21,15 - 21,60	Margas con alguna pasada mm-cm y esporádica más calcárea G:I	0,7	2,69				20,6	0,5								
		TP	25,05 - 25,65	Margas con alguna pasada mm-cm y esporádica más calcárea G:I	0,4	2,72				31,6	0,7								
		TP	29,80 - 30,30	Margas con alguna pasada mm-cm y esporádica más calcárea G:I	0,5	2,72				23,6	0,8								
	S-4 ESTUDIO INFORMATIVO	TP	14,60 - 14,90	Margocalizas G:II			20,83												
	SM-11	TP	13,80 - 14,20	Margas G:II	1,1	2,72	9.60 junta	24586,0	0,342			0,3							
		TP	19,50 - 19,85	Margas G:II	1,2	2,70	22,40							3,31					
		TP	26,55 - 26,90	Margas G:I-II	1,1	2,68	13.60 junta	8613,0	0,431					4,85	0,033				

RELACIÓN DE ENSAYOS EN TESTIGOS DE ROCA																				
FORMACIÓN	SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN	HUMEDAD (%)	DENSIDAD APARENTE (t/m³)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	MÓDULO DE DEFORMACIÓN (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON	TRIAxIAL ϵ_1 (MPa)	TRIAxIAL ϵ_3 (MPa)	ABRASIVIDAD CERCHAR (I)	POINT LOAD (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	SCHIMAZEK (kN/m)	AGRESIVIDAD AL HORMIGÓN			VELOCIDAD ONDAS (m/s)	
																ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg)	SULFATOS (mg/kg)	AGRESIVIDAD		
CU-1: Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino	S-11 ESTUDIO INFORMATIVO	TP	14,25 - 14,60	Limolitas G:II										5,92	0,043					
		TP	17,75 - 18,25	Limolitas G:II			34,00	25512,4	0,280			0,1								
		TP	22,30 - 22,90	Limolitas G:II	0,9	2,85	55.61													
	FORMACIÓN EN TÚNEL: SONDEOS SM-5 A SM-7 (LIMOLITAS)				Nº DE ENSAYOS	19	21	11	8	8			6		8	5	2	2		2
					VALOR MÁXIMO	2,0	2,78	30,30	19615,2	0,434			0,8		6,07	0,129				3973
					VALOR MÍNIMO	0,6	2,64	11,30	6010,0	0,180			0,0		1,55	0,019				3110
					VALOR MEDIO	1,3	2,69	18,32	11086,0	0,336			0,4		3,37	0,071				3542
					DESVIACIÓN TÍPICA	0,4	0,03	7,76	4193,4	0,100			0,3		1,82	0,043				610
					VALOR PROPUESTO	1,3	2,70	20,00	16000,0	0,300			0,8		2,50	0,129			No agresivo	3500
	FORMACIÓN EN TÚNEL: SONDEOS SM-8 A SM-9 Y SM-11 (MARGAS)				Nº DE ENSAYOS	17	17	9	6	6			4		10	6	2	2		1
					VALOR MÁXIMO	1,8	2,85	34,00	25512,4	0,431			1,5		5,92	0,050				
					VALOR MÍNIMO	0,2	2,60	12,30	8613,0	0,280			0,1		2,21	0,025				
					VALOR MEDIO	0,9	2,70	21,07	17329,6	0,325			0,6		3,88	0,041				
					DESVIACIÓN TÍPICA	0,4	0,05	5,72	6841,7	0,056			0,6		1,16	0,010				
					VALOR PROPUESTO	0,9	2,70	25,00	16000,0	0,300			1,5		3,00	0,050			No agresivo	4177

Ensayos no tenidos en cuenta en el análisis estadístico

Valores en rojo Resultados no representativos correspondientes a roturas anómalas indicadas en el parte del ensayo

RELACIÓN DE ENSAYOS PETROGRÁFICOS EN LÁMINA DELGADA

FORMACIÓN	SONDEO	MUESTRA	PROFUNDID AD (m)	DESCRIPCIÓN	ENSAYO PETROGRÁFICO										Descripción Ensayo Petrográfico (Corrales et al., 1977)	
					CONTENIDO EN CUARZO EQUIVALENTE Q* (%)	Carbonatos (%)			SILICATOS				OPACOS (%)			
						CALCITA	DOLOMITA	CARBONATOS SIN ESPECIFICAR	FILOSILICATOS			TECTOSILICATOS		MATERIA ORGANICA (%)		OPACOS SIN ESPECIFICAR
GRUPO MINERALES ARCILLOSOS	GRUPO DE LAS MICAS (Moscovita)	FILOSILICATOS SIN ESPECIFICAR	GRUPO SIO2 (Cuarzo)	GRUPO DE LOS FELDESPATOS(plagioclasas)												
CU-1	SM-5	TP	21,10 - 21,70	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca G:I-II	22,03	20			50			15		15		Lutita calcárea arenosa
	S-9 ESTUDIO INFORMATIVO	TP	15,45 - 15,80	Limolitas G:II	31,41				50	10		25		15		Lutita arenosa
	SM-6	TP	11,40 - 12,00	Limolitas calcáreas G:II	33,21	25	20		25			30				Caliza arenosa lutítica
		TP	19,80 - 20,10	Limolitas calcáreas G:II		20			60			20				Lutita calcárea
		TP	27,70 - 28,20	Limolitas calcáreas G:I		10	10		55			25				Lutita arenosa
	S-8 ESTUDIO INFORMATIVO	TP	26,60 - 26,90	Margocalizas G:II	20,7				72		3	15		10		Lutita arenosa
	SM-7	TP	34,30 - 34,80	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca y caliza G:II	26,83	20			45			20		15		Lutita calcárea arenosa
	SM-8	TP	27,60 - 28,18	Margocalizas con alguna intercalación mm-cm de calcarenita G:II	26,04	60			15			20			5	Caliza lutítica arenosa
	S-10 ESTUDIO INFORMATIVO	TP	18,55 - 18,95	Limolitas G:II	24,51	3	15		57			20		5		Lutita arenosa calcárea
	SM-9	TP	8,50 - 9,00	Margas G:I		75			10			10			5	Caliza micrítica
		TP	17,40 - 18,00	Lutitas con alguna pasada mm y esporádica de arenisca G:I		60			20			15			5	Caliza lutítica
		TP	22,20 - 22,80	Lutitas con alguna pasada mm y esporádica de arenisca G:I	18,94	60			25			15				Esquisto micáceo
	SM-9a	TP	10,90 - 11,20	Lutitas con alguna pasada mm-cm y esporádica más calcárea G:II	23,27	30			45			15			10	Lutita calcárea arenosa
	SM-11	TP	26,55 - 26,90	Margas G:I-II	20,97	30			50			15			5	Lutita calcárea arenosa
	S-11 ESTUDIO INFORMATIVO	TP	14,25 - 14,60	Limolitas G:II	14,78	3			82			10		5		Lutita

RELACIÓN DE ENSAYOS DE JUNTAS EN ROCA											
FORMACIÓN	SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE PICO		PARÁMETROS RESIDUALES		JRC PROBETAS		
					COHESIÓN (kp/cm ²)	FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (kp/cm ²)	FRICCIÓN (°)	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3
CU-1	SM-4	JUNTA	10,80 - 11,00	Alternancia de margas, calcarenitas y margocalizas G:II-III	5,71	40,03	4,02	33,47	10-12	8-10	-
		JUNTA	17,50-17,60	Alternancia de margas, calcarenitas y margocalizas G:II-III	2,93	43,4	0,1	37,55	4-6	4-6	-
		JUNTA	17,80-17,90	Alternancia de margas, calcarenitas y margocalizas G:II-III	2,15	40,81	0,53	45,73	6-8	10-12	-
	SM-5	JUNTA	11,80 - 12,00	Lutitas calcáreas con intercalaciones cm de areniscas G:II	6,93	25,09	0,69	30,95	10-12	12-14	-
		JUNTA	20,60 - 20,80	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca G:I-II	0,96	40,19	0,5	36,63	4-6	4-6	-
		JUNTA	23,50 - 23,70	Lutitas calcáreas con alguna intercalación mm-cm de arenisca G:I-II	2,36	36,69	1,34	34,88	10-12	6-8	-



PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO. TRAMO:
SARRATU - APERRIBAI



RELACIÓN DE ENSAYOS DE AGRESIVIDAD DEL AGUA AL HORMIGÓN							
SONDEO	pH	Residuo seco (mg/l)	Contenido en Sulfatos (mg/l)	Contenido en Magnesio (mg/l)	Contenido en Carbono libre (mg/l)	Contenido en Amonio (mg/l)	AGRESIVIDAD AL HORMIGÓN
SM-2	7,1	1233	646	6	25	1	Media
SM-5	7	572	208	48	44	1	Media
SM-9	7,5	428	111	18	3	1	No agresivo
SM-11	7,4	934	224	79	7	1	Débil
S-11 ESTUDIO INFORMATIVO	7,93	341	40,8	7,44	2,6	0,38	No agresivo

APÉNDICE N°9.7

Parámetros del macizo rocoso



PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO

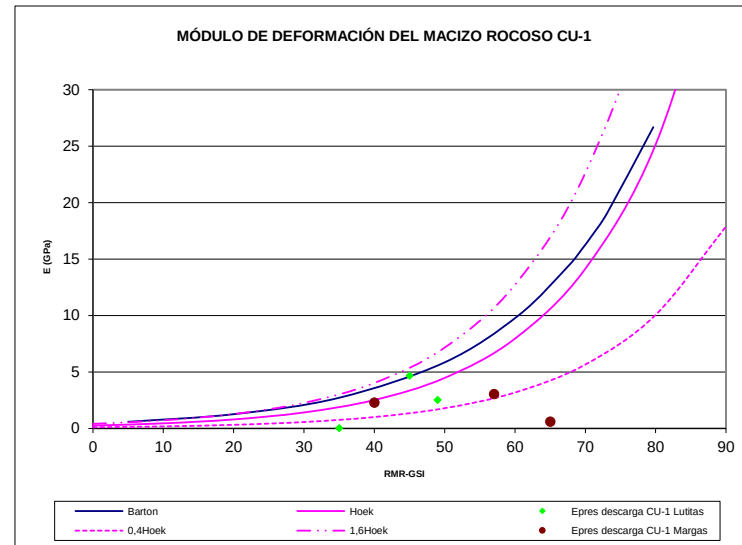
TRAMO: SARRATU - APERRIBAI



RESULTADOS MÓDULO DE DEFORMACION. ENSAYOS DE LABORATORIO (Ei) Y ENSAYOS INSITU (Em)

FORMACIÓN CU-1 Margas, margocalizas y calcarenitas de grano fino

		MATRIZ		v	v (de ensayos)	MACIZO		Descripción	E carga (GPa)	E descarga(GPa)	RMR tramo	Empresa
		Elaboratorio (MPa)				G (MPa) Presiometro	Epresiometro (MPa)					
	SM-4	16,50 - 17,50			0,300	4,80	12,49	Grado II-III, RQD = 10, RMR = 35	0,0124878	0,02372682	35	TERRACONTROL
		6,60 - 7,20	11815	0,412								
	SM-6	14,00 - 15,20			0,300	596,83	1551,76	Grado II, RQD = 85, RMR = 49	1,551758	2,52936554	49	TERRACONTROL
		19,80 - 20,10	10441	0,424								
		20,00 - 21,00			0,300	1056,27	2746,30	Grado II, RQD = 75, RMR = 45	2,746302	4,6687134	45	TERRACONTROL
	SM-7	22,20 - 22,60	8833	0,418								
		30,30 - 30,60	13297	0,308								
		34,30 - 34,80	6010	0,18								
	S-10 EST INF 1	20,3			0,300		1315,05	Grado II, RQD = 65, RMR = 40	1,31505	2,3013375	40	GABINETE GEOTÉCNICO
	SM-9A	16,10 - 16,70			0,300	759,02	1973,45	Grado II, RQD = 85, RMR = 57	1,973452	3,03911608	57	INGE
		13,80 - 14,20	24586	0,342								
	SM-11	20,40 - 21,00			0,300	161,84	420,78	Grado II, RQD = 100, RMR = 65	0,420784	0,60172112	65	INGE
		26,55 - 26,90	8613	0,431								



Em: CRITERIO DE BARTON, CRITERIO DE HOEK, RESULTADOS DE LOS ENSAYOS IN SITU



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO

TRAMO: SARRATU - APERRIBA

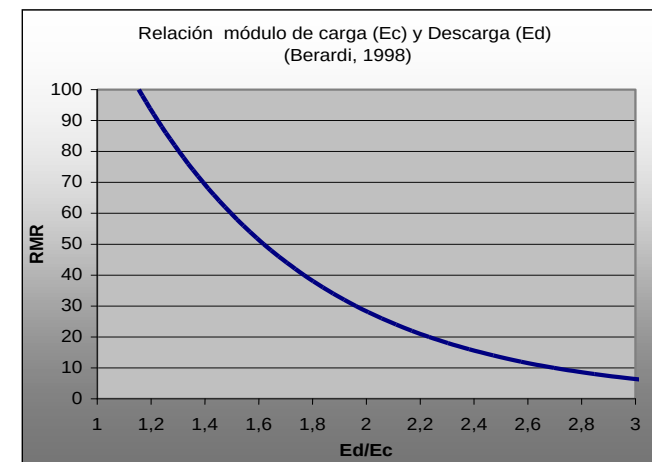


E MACIZO. ENSAYOS IN SITU, CORRELACIONES, FACTOR DE REDUCCIÓN Y ROCLAB

LITOTIPO	MATRIZ ROCOSA (LABO)			CALIDAD MACIZO			ENSAYOS IN SITU, Em			CORRELACIONES EMPÍRICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE Em												FACTOR DE REDUCCIÓN		
	Ei (MPa)	v	cci (MPa)	RMR	GSI	Q	Gpresio (MPa)	Epresio (MPa) carga	Epresio (MPa) descarga	0,4 Em Bieniawski	Em (MPa) Bieniawski Para RMR>50	1,6 Em Bieniawski	0,4 Em Serafim	Em (MPa) Serafim i Pereira Para RMR<50 y E = 1-10 GPa	1,6 Em Serafim	0,4 Em Hoek	Em (MPa) Hoek cci<100 MPa y calidad baja	1,6 Em Hoek	0,4 Em Barton	Em (MPa) Barton	1,6 Em Barton	Em = 0,2 Ei (MPa) Bieniawski	Em = 0,6 Ei (MPa) Bieniawski	Em (MPa) Heuze
CU-1	16000	0,300	20	35	35	0,10	4,80	12,49	23,73	-	-	-	1686,79	4216,97	6747,14	754,35	1885,88	3017,41	1085,77	2714,42	4343,07	3200	9600	6400
				49	49	0,86	596,83	1551,76	2529,37	-	-	-	3776,24	9440,61	15104,97	1688,79	4221,97	6755,15	2222,53	5556,33	8890,12	3200	9600	6400
				45	45	0,46	1056,27	2746,30	4668,71	-	-	-	2999,58	7498,94	11998,31	1341,45	3353,63	5365,81	1811,17	4527,92	7244,67	3200	9600	6400
			25	40	40	0,22		1315,05	2301,34	-	-	-	2249,37	5623,41	8997,46	1124,68	2811,71	4498,73	1510,61	3776,51	6042,42	3200	9600	6400
				57	57	2,93	759,02	1973,45	3039,12	5600	14000	22400	-	-	-	-	-	-	3605,20	9012,99	14420,78	3200	9600	6400
				65	65	10,00	161,84	420,78	601,72	12000	30000	48000	-	-	-	-	-	-	5428,84	13572,09	21715,34	3200	9600	6400

PARAMETROS MACIZO ROCOSO ROCLAB

	SECCIÓN TIPO	RANGO RMR	GSI	D	mi	cci (MPa)	Ei (MPa)	γ (t/m3)	H (m)	mb	s	a	Em (MPa)	c' (MPa)	ϕ' (°)
CU-1 Lutitas	I	RMR>70	70	0	5	20	16000	2,700	23	1,173	0,03570	0,501	11725,03	0,709	46,90
	II	70>RMR>55	55	0	5	20	16000	2,700	23	1,002	0,00670	0,504	6532,49	0,298	46,41
	III	55>RMR>45	45	0	5	20	16000	2,700	23	0,701	0,00220	0,508	3578,40	0,183	44,68
	IV	45>RMR>20	20	0	5	20	16000	2,700	23	0,287	0,00010	0,544	730,75	0,070	35,77
	V	20>RMR>10	10	0	5	20	16000	2,700	23	0,201	0,00005	0,585	488,06	0,042	29,28
CU-1 Margas	I	RMR>70	70	0	7	25	16000	2,700	34	2,398	0,0357	0,501	11725,03	0,790	50,32
	II	70>RMR>55	55	0	7	25	16000	2,700	34	1,403	0,0067	0,504	6532,49	0,360	48,85
	III	55>RMR>45	45	0	7	25	16000	2,700	34	0,982	0,0022	0,508	3578,4	0,239	46,72
	IV	45>RMR>20	20	0	7	25	16000	2,700	34	0,402	0,0001	0,544	730,75	0,105	37,69
	V	20>RMR>10	10	0	7	25	16000	2,700	34	0,281	0,00005	0,585	488,06	0,066	31,42



RESUMEN PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO ADOPTADOS EN CÁLCULOS

	C. ROTURA HOEK-BROWN					MOHR-COULOMB	
	RMR	Em (MPa)	mb	s	a	c' (MPa)	ϕ' (°)
CU-1 Lutitas	55	6500	1,002	0,00670	0,504	0,300	46,50
	45	3500	0,701	0,00220	0,508	0,185	44,50
	20	730	0,287	0,00010	0,544	0,070	36,00
	10	490	0,201	0,00005	0,585	0,040	29,00
CU-1 Margas	55	6500	1,403	0,0067	0,504	0,360	49,00
	45	3500	0,982	0,0022	0,508	0,240	46,50
	20	730	0,402	0,0001	0,544	0,100	38,00
	10	490	0,201	0,00005	0,585	0,065	31,50

Estos valores son los considerados en los cálculos del análisis tensodeformacional. No se recogen los parámetros correspondientes a RMR>70 (ST-I) ya que este caso no se ha analizado mediante este método sino mediante la estabilidad de bloques.

APÉNDICE N°9.8

Cálculos del análisis tenso deformacional

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Limolitas

RESUMEN DE RESULTADOS PARA CÁLCULOS CON $K_0 = 0,8$

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	Descenso max en clave (m)	Tensión ppal max (kN/m ² /m)	σ_{max} cercha (kN/m ²)	σ_{max} gunita (kN/m ²)	F max bulon (kN)
CU-1 Limolitas	II	8,81E-04	3700	-	1886,70	5,17
	III	1,67E-03	3060	-	3291,42	11,46
	IV	1,051E-02	1840	43532,30	4430,28	116,90
	V	2,42E-02	1490	28818,39	2803,62	184,00

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Limolitas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 0,8

SECCIÓN TIPO ST-II

Hormigón proyectado, e = 10 cm (7+3)

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	
	I cercha (m4)	
	E cercha (kN/m2)	
	y1 cercha (m)	
	y2 cercha (m)	

EI cercha (kNm2/m) 0,00
EA cercha (kN/m) 0,00E+00

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,10
	I gunita (m4)	8,33E-05
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,05

EI gunita (kNm2/m) 1,21E+03
EA gunita (kN/m) 1,45E+06

EI total (kNm2/m) 1,21E+03
EA total (kN/m) 1,45E+06

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS						GUNITA					
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)	σ t max cercha (kN/m2)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)	σ t max gunita (kN/m2)
CU-1 Limolitas	Envolvente	1,02	127,47	127,47	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00			1,02	127,47	127,47	1,02	1886,70	OK
	Fase final	-0,30	3,76	69,64	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,00			-0,30	3,76	69,64	-0,05	723,40	OK

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Limolitas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 0,8

SECCIÓN TIPO III

Hormigón proyectado, e = 12 cm (9+3)

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	
	I cercha (m4)	
	E cercha (kN/m2)	
	y1 cercha (m)	
	y2 cercha (m)	

EI cercha (kNm2/m) 0,00E+00
EA cercha (kN/m) 0,00E+00

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,12
	I gunita (m4)	1,44E-04
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,06

EI gunita (kNm2/m) 2,09E+03
EA gunita (kN/m) 1,74E+06

EI total (kNm2/m) 2,09E+03
EA total (kN/m) 1,74E+06

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS						GUNITA					
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)	σ t max cercha (kN/m2)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)	σ t max gunita (kN/m2)
CU-1 Limolitas	Envolvente	2,67	188,98	265,97	2,58	0,00	0,00	0,00	0,00			2,67	188,98	265,97	2,58	3291,42	OK
	Fase final	1,87	65,12	148,24	-0,16	0,00	0,00	0,00	0,00			1,87	65,12	148,24	-0,16	1321,83	OK

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Limolitas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 0,8

SECCIÓN TIPO IV

Hormigón proyectado, e = 18 cm (15+3)
Cerchas TH-21 c/1 m

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	2,70E-03
	I cercha (m4)	3,41E-06
	E cercha (kN/m2)	2,10E+08
	y1 cercha (m)	0,05
	y2 cercha (m)	0,05

EI cercha (kNm2/m) 7,16E+02
EA cercha (kN/m) 5,67E+05

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,18
	I gunita (m4)	4,86E-04
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,09

EI gunita (kNm2/m) 7,05E+03
EA gunita (kN/m) 2,61E+06

EI total (kNm2/m) 7,76E+03
EA total (kN/m) 3,18E+06

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS								GUNITA							
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)		σ t max cercha (kN/m2)		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)		σ t max gunita (kN/m2)	
CU-1 Limolitas	Envolvente	-23,54	103,67	621,77	-1,80	-2,17	18,50	110,97	-0,17	43532,30	OK	-24986,82	OK	-21,37	85,16	510,80	-1,63	4430,28	OK	-3484,01	OK
	Fase final	-23,50	100,87	577,69	-2,14	-2,17	18,00	103,10	-0,20	41078,47	OK	-25117,47	OK	-21,33	82,87	474,59	-1,94	4410,80	OK	-3490,04	OK

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Limolitas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 0,8

SECCIÓN TIPO V

Hormigón proyectado, e = 30 cm (27+3)
Cerchas HEB-180 c/1 m

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	6,53E-03
	I cercha (m4)	3,83E-05
	E cercha (kN/m2)	2,10E+08
	y1 cercha (m)	0,09
	y2 cercha (m)	0,09

EI cercha (kNm2/m) 8,04E+03
EA cercha (kN/m) 1,37E+06

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,30
	I gunita (m4)	2,25E-03
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,15

EI gunita (kNm2/m) 3,26E+04
EA gunita (kN/m) 4,35E+06

EI total (kNm2/m) 4,07E+04
EA total (kN/m) 5,72E+06

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS								GUNITA							
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)	σ t max cercha (kN/m2)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)	σ t max gunita (kN/m2)				
CU-1 Limolitas	Envolvente	-46,16	132,14	666,00	-4,47	-9,13	31,67	159,63	-0,88	26521,48	OK	-16602,15	OK	-37,03	100,47	506,37	-3,58	2803,62	OK	-2133,83	OK
	Fase final	-46,09	127,17	600,95	-14,55	-9,12	30,48	144,04	-2,88	28818,39	OK	-16752,23	OK	-36,97	96,69	456,91	-11,67	2787,26	OK	-2142,69	OK

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Margas

RESUMEN DE RESULTADOS PARA CÁLCULOS CON $K_0 = 0,8$

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	Descenso max en clave (m)	Tensión ppal max (kN/m ² /m)	σ_{max} cercha (kN/m ²)	σ_{max} gunita (kN/m ²)	F max bulon (kN)
CU-1 Margas	II	1,29E-03	5080	-	2032,30	6,94
	III	2,41E-03	4290	-	4204,75	12,66
	IV	1,34E-02	2600	72350,98	5073,38	144,20
	V	3,10E-02	1920	102344,59	5758,47	184,00

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Margas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 0,8

SECCIÓN TIPO ST-II

Hormigón proyectado, e = 10 cm (7+3)

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	
	I cercha (m4)	
	E cercha (kN/m2)	
	y1 cercha (m)	
	y2 cercha (m)	

EI cercha (kNm2/m) 0,00
EA cercha (kN/m) 0,00E+00

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,10
	I gunita (m4)	8,33E-05
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,05

EI gunita (kNm2/m) 1,21E+03
EA gunita (kN/m) 1,45E+06

EI total (kNm2/m) 1,21E+03
EA total (kN/m) 1,45E+06

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS						GUNITA					
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)	σ t max cercha (kN/m2)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)	σ t max gunita (kN/m2)
CU-1 Margas	Envolvente	0,83	39,63	203,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,83	39,63	203,23	0,00	2032,30	-98,70
	Fase final	-0,26	-6,49	99,22	-0,06	0,00	0,00	0,00	0,00			-0,26	-6,49	99,22	-0,06	1025,74	-222,09

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Margas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 0,8

SECCIÓN TIPO III

Hormigón proyectado, e = 12 cm (9+3)

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	
	I cercha (m4)	
	E cercha (kN/m2)	
	y1 cercha (m)	
	y2 cercha (m)	

EI cercha (kNm2/m) 0,00E+00
EA cercha (kN/m) 0,00E+00

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,12
	I gunita (m4)	1,44E-04
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,06

EI gunita (kNm2/m) 2,09E+03
EA gunita (kN/m) 1,74E+06

EI total (kNm2/m) 2,09E+03
EA total (kN/m) 1,74E+06

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS						GUNITA					
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)	σ t max cercha (kN/m2)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)	σ t max gunita (kN/m2)
CU-1 Margas	Envolvente	2,80	364,57	364,57	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00			2,80	364,57	364,57	2,80	4204,75	OK No tracciones OK
	Fase final	-1,34	108,14	215,17	-0,26	0,00	0,00	0,00	0,00			-1,34	108,14	215,17	-0,26	1901,00	OK No tracciones OK

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Margas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON $K_0 = 0,8$

SECCIÓN TIPO IV

Hormigón proyectado, $e = 18$ cm (15+3)
Cerchas TH-21 c/1 m

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	2,70E-03
	I cercha (m4)	3,41E-06
	E cercha (kN/m2)	2,10E+08
	y1 cercha (m)	0,05
	y2 cercha (m)	0,05

El cercha (kNm2/m) 7,16E+02
EA cercha (kN/m) 5,67E+05

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,18
	I gunita (m4)	4,86E-04
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,09

El gunita (kNm2/m) 7,05E+03
EA gunita (kN/m) 2,61E+06

El total (kNm2/m) 7,76E+03
EA total (kN/m) 3,18E+06

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS								GUNITA					
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)	OK	σ t max cercha (kN/m2)	OK	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)	σ t max gunita (kN/m2)
CU-1 Margas	Envolvente	-27,48	122,14	937,26	-2,90	-2,53	21,80	167,27	-0,27	65875,38	OK	-29094,68	OK	-24,95	100,34	769,99	-2,63	5176,92	OK
	Fase final	-27,48	122,14	896,47	-3,11	-2,53	21,80	159,99	-0,29	63457,78	OK	-29094,68	OK	-24,95	100,34	736,48	-2,82	5176,92	OK
	Envolvente					Redistribución de esfuerzos por fisuración de la gunita:				102,00%		de los iniciales		Redistribución de esfuerzos por fisuración de la gunita:				98,00%	de los iniciales
	Fase final					-3,03	23,81	182,67	-0,32	72350,98	OK	-35666,69	OK	-24,45	98,33	754,59	-2,58	5073,38	OK
						-3,03	23,81	174,72	-0,34	69739,99	OK	-35666,69	OK	-24,45	98,33	721,75	-2,76	5073,38	OK

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Margas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 0,8

SECCIÓN TIPO V

Hormigón proyectado, e = 30 cm (27+3)
Cerchas HEB-180 c/1 m

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	6,53E-03
	I cercha (m4)	3,83E-05
	E cercha (kN/m2)	2,10E+08
	y1 cercha (m)	0,09
	y2 cercha (m)	0,09

EI cercha (kNm2/m) 8,04E+03
EA cercha (kN/m) 1,37E+06

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,30
	I gunita (m4)	2,25E-03
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,15

EI gunita (kNm2/m) 3,26E+04
EA gunita (kN/m) 4,35E+06

EI total (kNm2/m) 4,07E+04
EA total (kN/m) 5,72E+06

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS								GUNITA									
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)	OK	σ t max cercha (kN/m2)	OK	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)	OK	σ t max gunita (kN/m2)	OK		
CU-1 Margas	Envolvente	-107,32	408,38	1115,75	-3,74	-21,22	97,88	267,43	-0,74	64865,34	OK	-34886,21	OK	-86,10	310,50	848,32	-3,00	6774,67	OK	-4704,68	Rotura		
	Fase final	-92,31	255,93	937,90	-11,51	-18,26	61,34	224,80	-2,28	52294,09	OK	-33506,00	OK	-74,05	194,59	713,10	-9,23	5585,55	OK	-4288,27	Rotura		
						Redistribución de esfuerzos por fisuración de la gunita:				115,00%	de los iniciales				Redistribución de esfuerzos por fisuración de la gunita:				85,00%	de los iniciales			
	Envolvente					-34,14	144,46	394,68	-1,19	102344,59	OK	-58100,62	OK	-73,18	263,92	721,07	-2,55	5758,47	OK	-3998,98	OK		
	Fase final					-29,36	90,53	331,76	-3,66	82866,48	OK	-55138,53	OK	-62,95	165,40	606,14	-7,85	4747,71	OK	-3645,03	OK		

REPORT

07/15/2021

User: EPTISA

Title: ST-II, CU-1 Limolitas. TRAMO SARRATU – APERRIBAI LINEA 5 FMB

1. General Information

Table [1] units

Type	Unit
Length	m
Force	kN
Time	day

Table [2] Model dimensions

	min.	max.
X	-24,800	24,800
Y	-13,000	31,142

Table [3] Model

Model	Plane Strain
Element	15-Noded

2. Structures

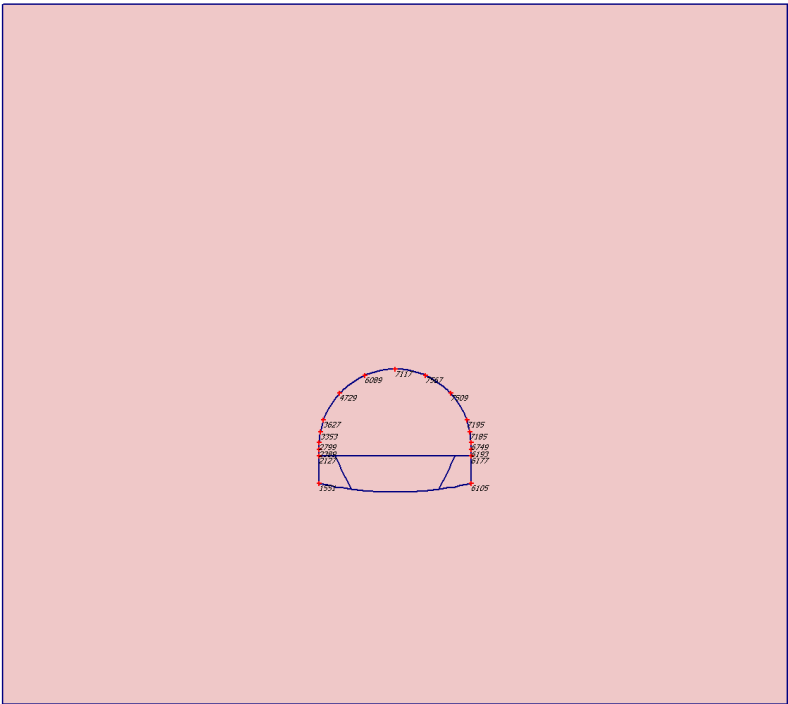


Fig. 1 Plot of geometry model with structures

3. Mesh data

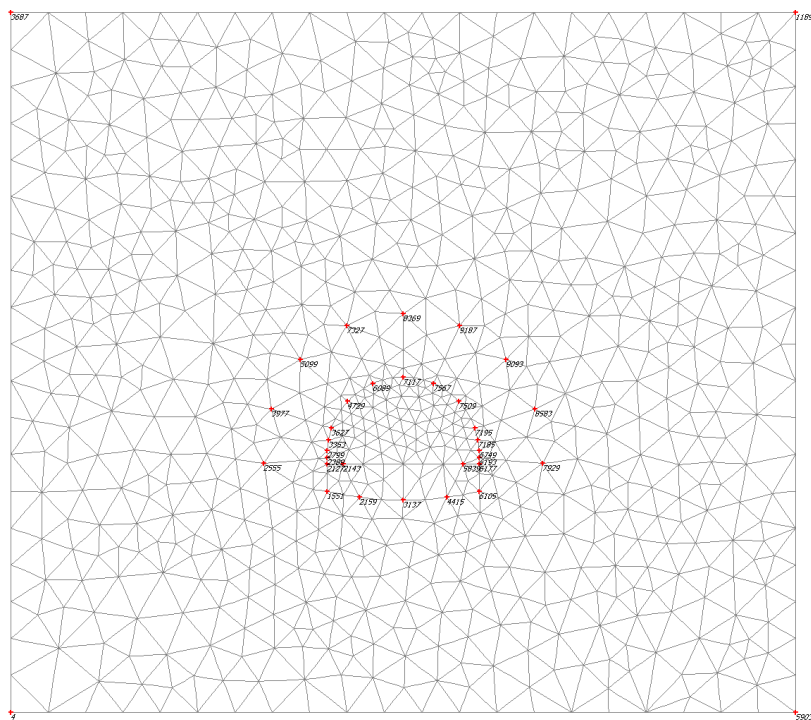


Fig. 2 Plot of the mesh with significant nodes

4. Material data

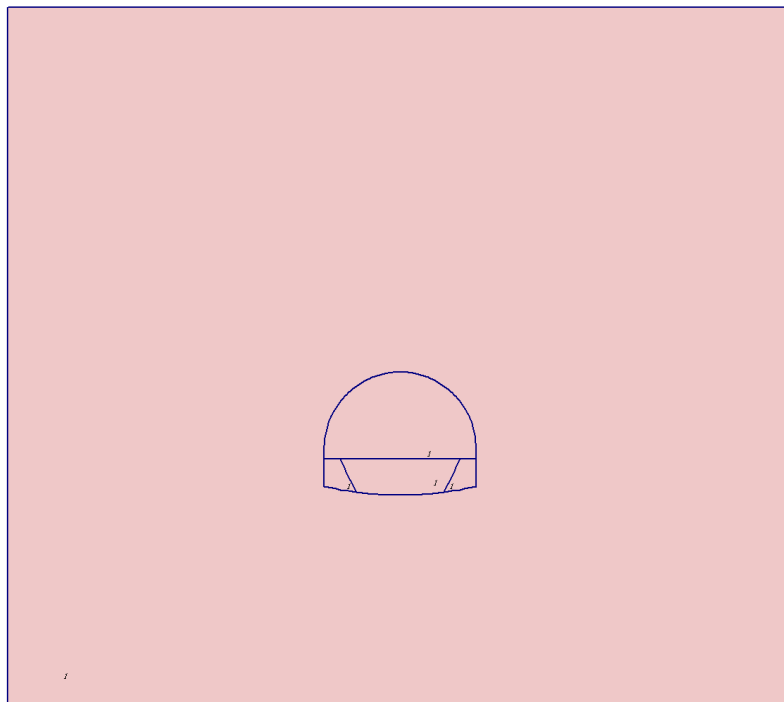


Fig. 3 Plot of geometry with material data sets

Table [4] Soil data sets parameters

Mohr-Coulomb		1
		Limolitas RMR_55
Type		Drained
γ_{unsat}	[kN/m ³]	27,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	27,00
k_x	[m/day]	0,000
k_y	[m/day]	0,000
e_{init}	[-]	0,500
c_k	[-]	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	6500000,000
ν	[-]	0,300
G_{ref}	[kN/m ²]	2500000,000
E_{oed}	[kN/m ²]	8750000,000
c_{ref}	[kN/m ²]	300,00
ϕ	[°]	46,50
ψ	[°]	0,00
E_{inc}	[kN/m ² /m]	0,00
y_{ref}	[m]	0,000
$c_{incement}$	[kN/m ² /m]	0,00
$T_{str.}$	[kN/m ²]	0,00
$R_{inter.}$	[-]	1,00
Interface permeability		Neutral

Table [5] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA	EI	w	v	Mp	Np
		[kN/m]	[kNm ² /m]	[kN/m/m]	[-]	[kNm/m]	[kN/m]
1	Gunita 0,10	1,45E6	1210,00	2,50	0,20	1E15	1E15

Table [6] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L spacing [m]
1	Swellex Mn18?	103000,00	184,000	184,000	2,00

5. Calculation phases

Table [7] List of phases

Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step
Initial phase	0	0		-	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic analysis	Staged construction	1	2
<Phase 2>	2	1	Plastic analysis	Staged construction	3	6
<Phase 3>	3	2	Plastic analysis	Staged construction	7	19
<Phase 4>	4	3	Plastic analysis	Staged construction	20	22
<Phase 5>	5	4	Plastic analysis	Staged construction	23	24
<Phase 6>	6	5	Plastic analysis	Staged construction	25	29
<Phase 7>	7	6	Plastic analysis	Staged construction	30	32

6. Results for phase 1

6.1 Deformations

6.1.1 Plot of total displacements

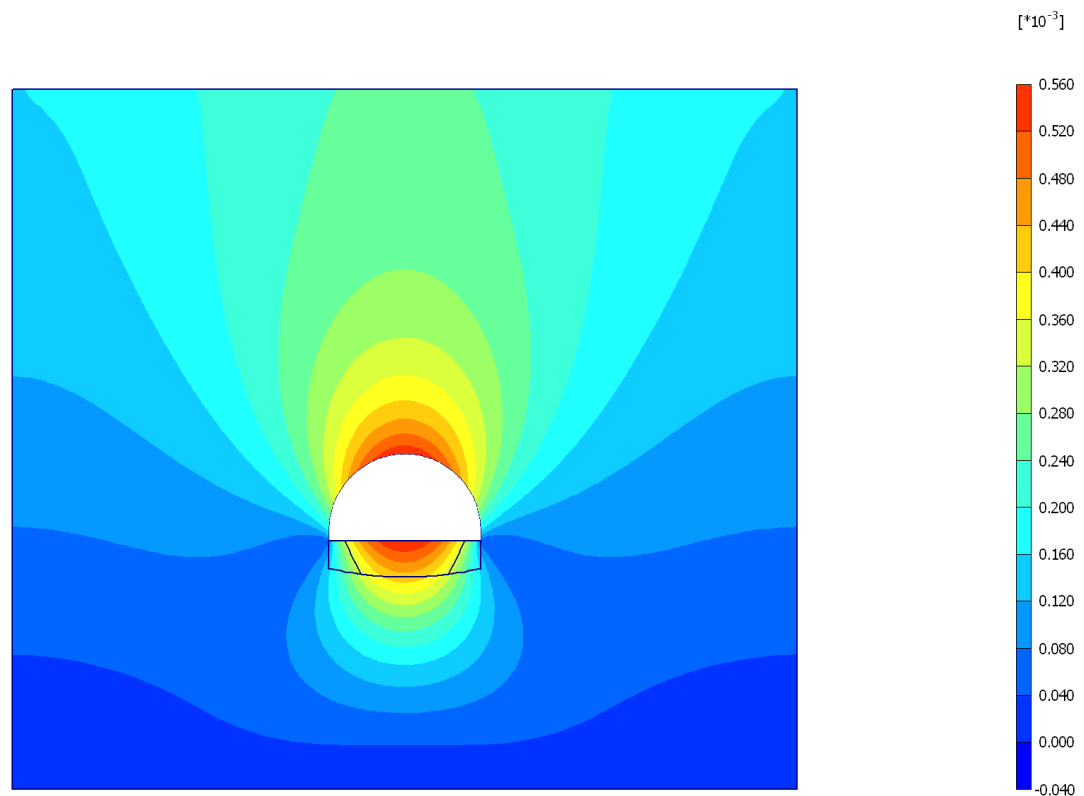


Fig. 4 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

6.2 Stresses

6.2.1 Plot of total stresses

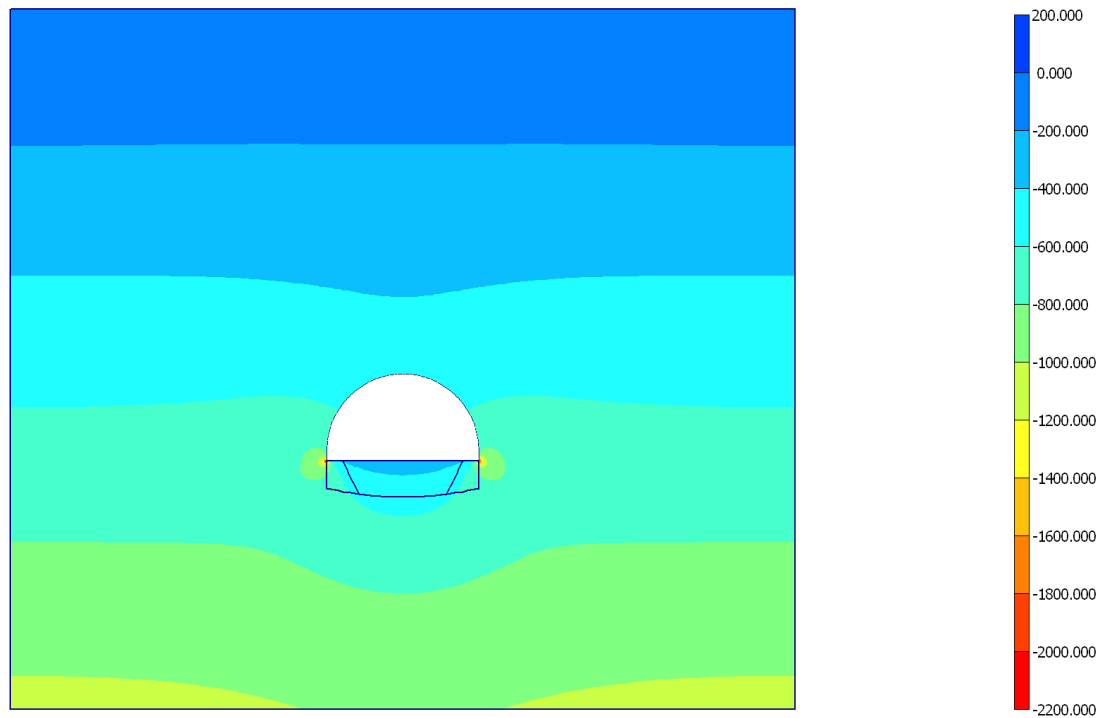


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

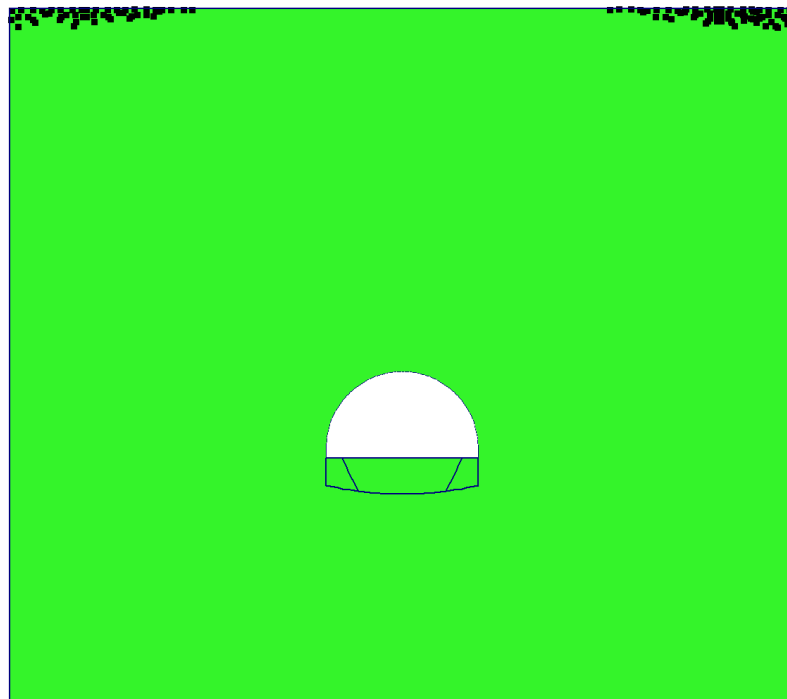


Fig. 6 Plot of plastic points
- Step no: 2 - (Phase: 1)

6.3.1 Anchors

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	2555	-8,800	2,682	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2389	-4,799	3,046						
2	3977	-8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3627	-4,536	4,911						
3	5099	-6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4729	-3,519	6,606						
4	7327	-3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6089	-1,917	7,742						
5	9187	3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7567	1,917	7,742						
6	9093	6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7509	3,519	6,606						
7	8583	8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7195	4,536	4,911						
8	7929	8,800	2,682	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	6193	4,799	3,046						
9	8369	0,000	12,142	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7117	0,000	8,142						

7. Results for phase 2

7.1 Deformations

7.1.1 Plot of total displacements

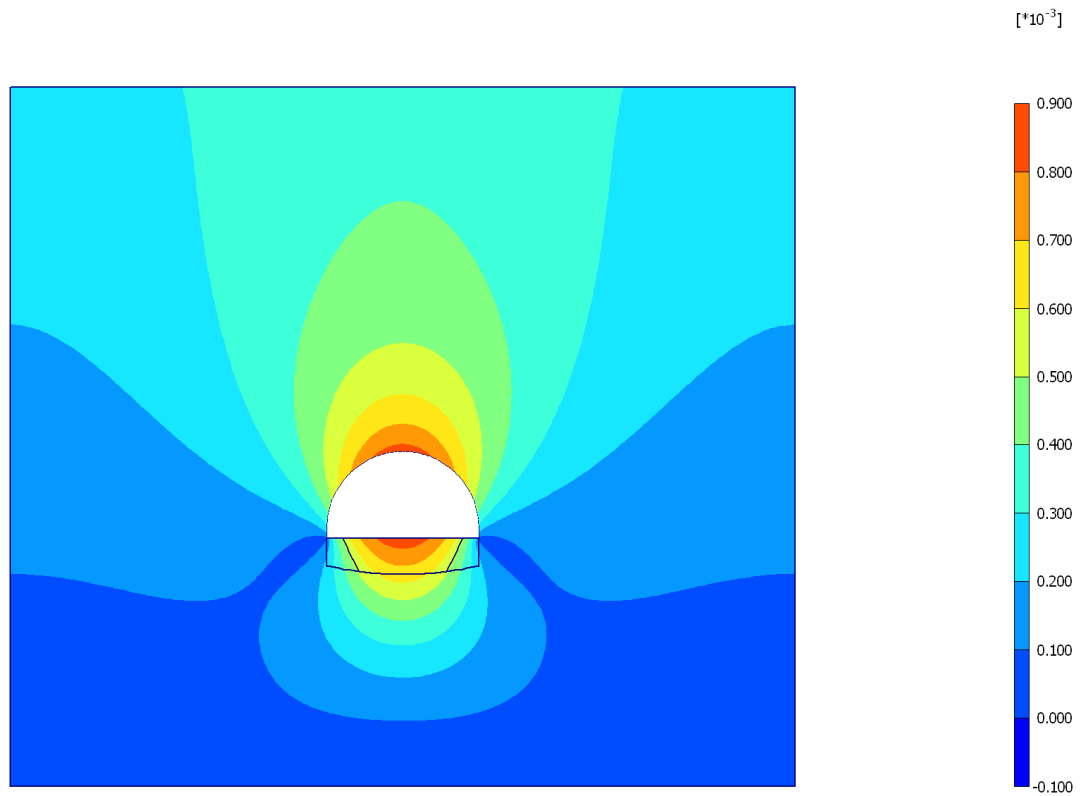


Fig. 7 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 6 - (Phase: 2)

7.2 Stresses

7.2.1 Plot of total stresses

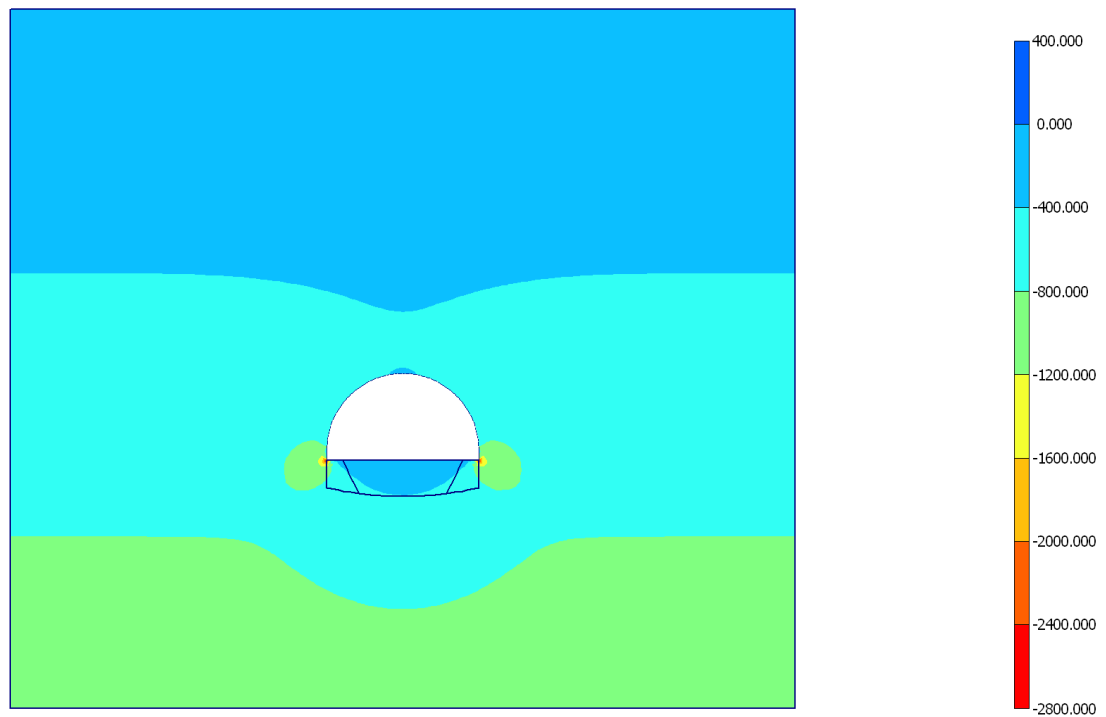


Fig. 8 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 6 - (Phase: 2)

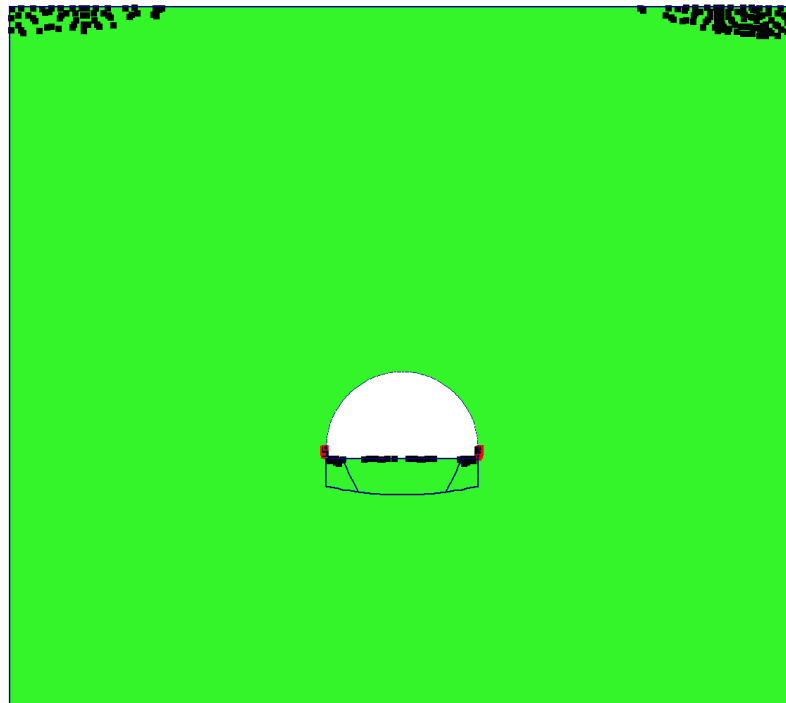


Fig. 9 Plot of plastic points
- Step no: 6 - (Phase: 2)

7.3 Structures

7.3.1 Beams

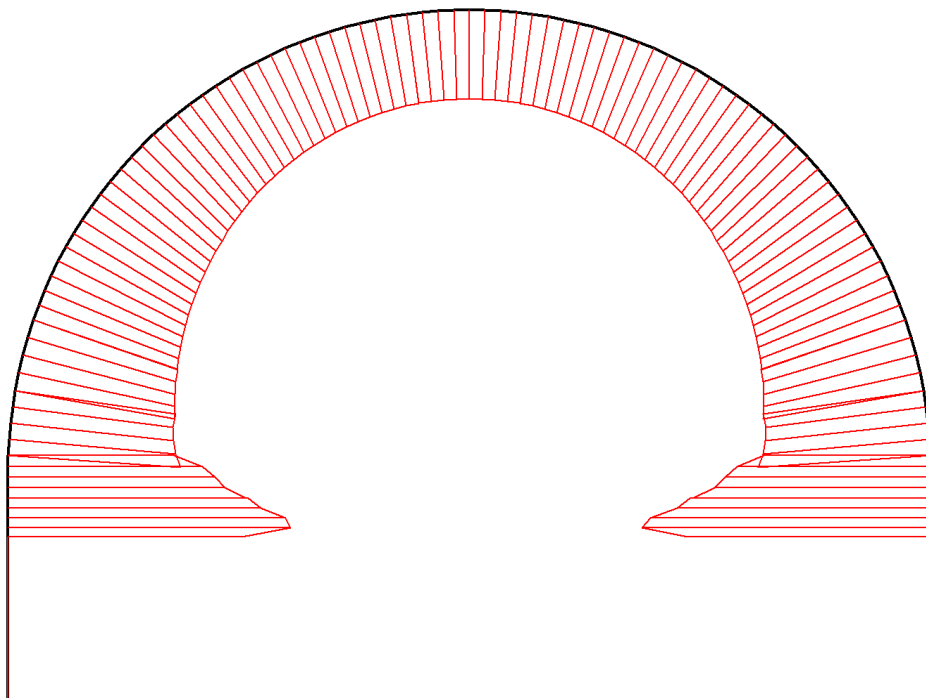


Fig. 10 Axial forces in beam
Extreme value -127,47 kN/m (Phase: 2)

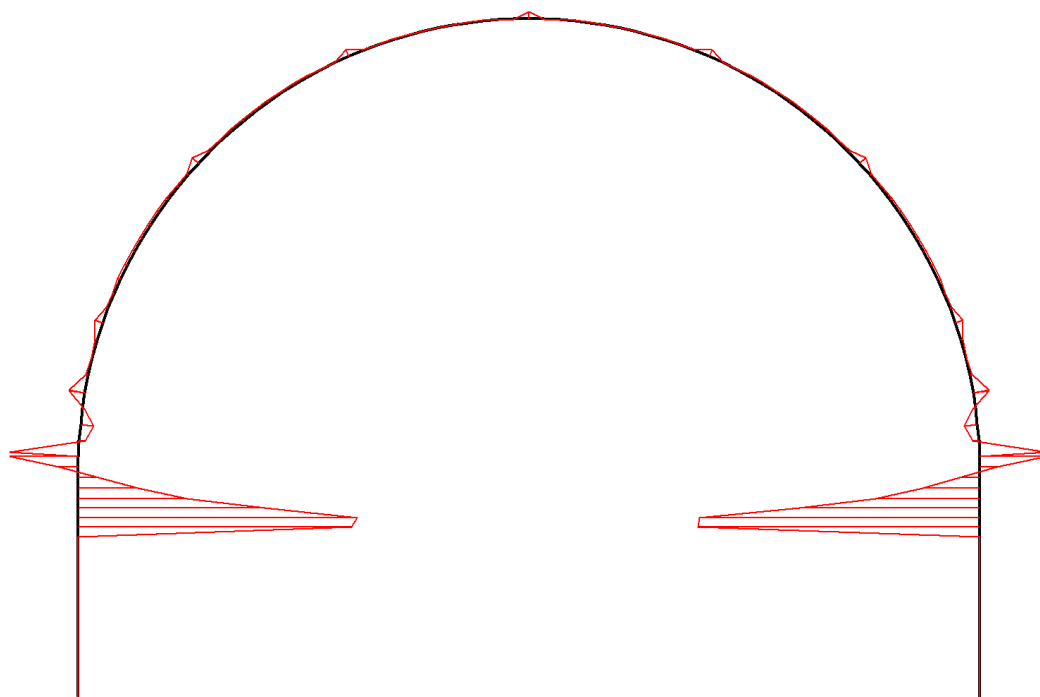


Fig. 11 Bending moments in beam
Extreme value 1,02 kNm/m (Phase: 2)

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	2555	-8,800	2,682	1,433	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2389	-4,799	3,046						
2	3977	-8,350	6,112	2,004	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3627	-4,536	4,911						
3	5099	-6,510	9,262	2,172	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4729	-3,519	6,606						
4	7327	-3,560	11,392	2,258	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6089	-1,917	7,742						
5	9187	3,560	11,392	2,258	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7567	1,917	7,742						
6	9093	6,510	9,262	2,172	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7509	3,519	6,606						
7	8583	8,350	6,112	2,004	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7195	4,536	4,911						
8	7929	8,800	2,682	1,426	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	6193	4,799	3,046						
9	8369	0,000	12,142	2,285	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7117	0,000	8,142						

8. Results for phase 3

8.1 Deformations

8.1.1 Plot of total displacements

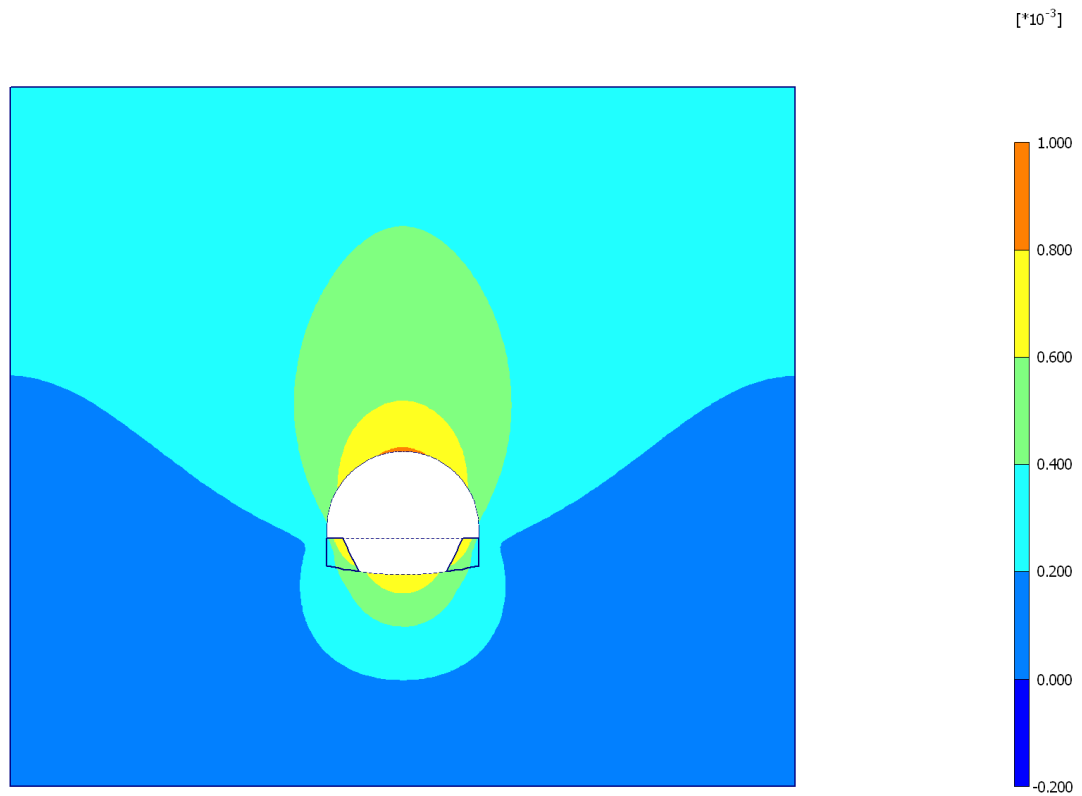


Fig. 12 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 19 - (Phase: 3)

8.2 Stresses

8.2.1 Plot of total stresses

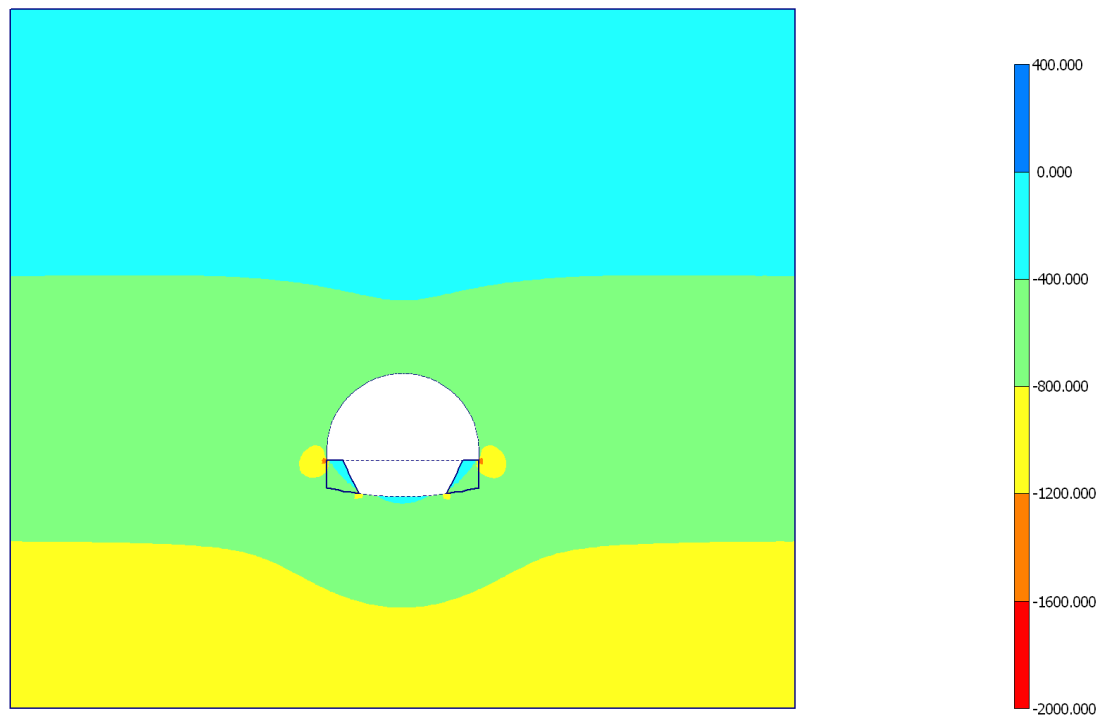


Fig. 13 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 19 - (Phase: 3)

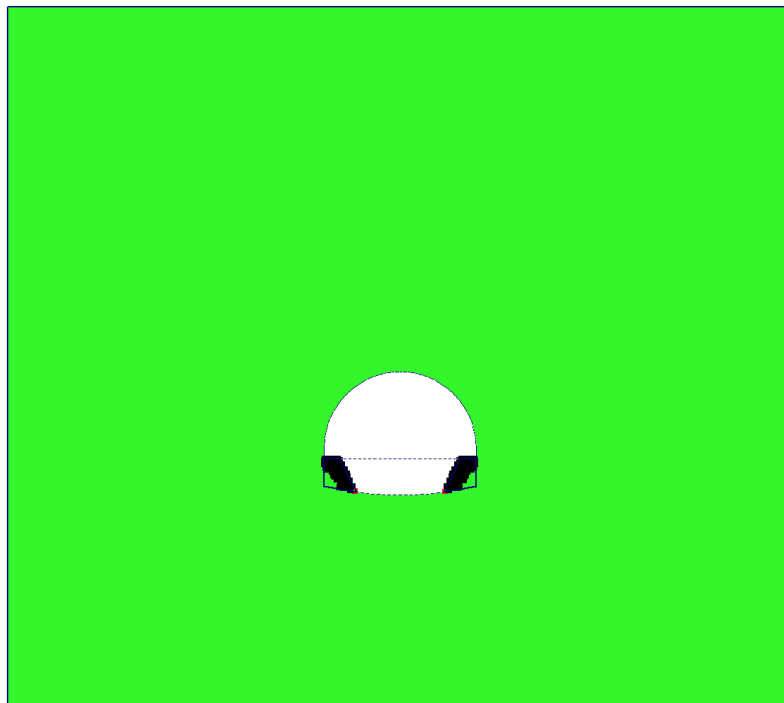


Fig. 14 Plot of plastic points
- Step no: 19 - (Phase: 3)

8.3 Structures

8.3.1 Beams

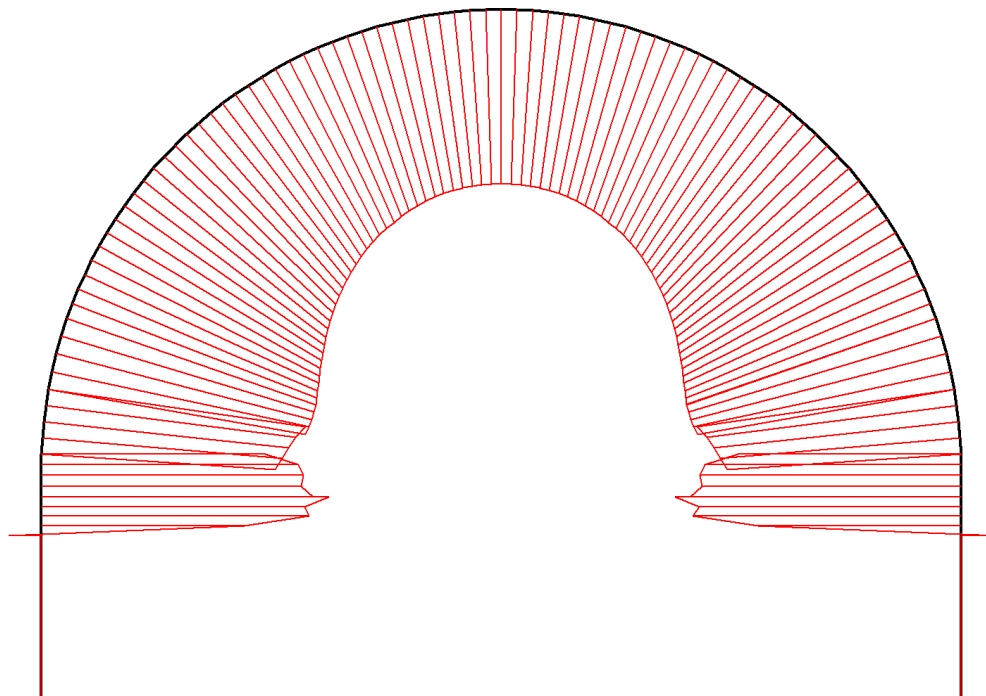


Fig. 15 Axial forces in beam
Extreme value -82,80 kN/m (Phase: 3)

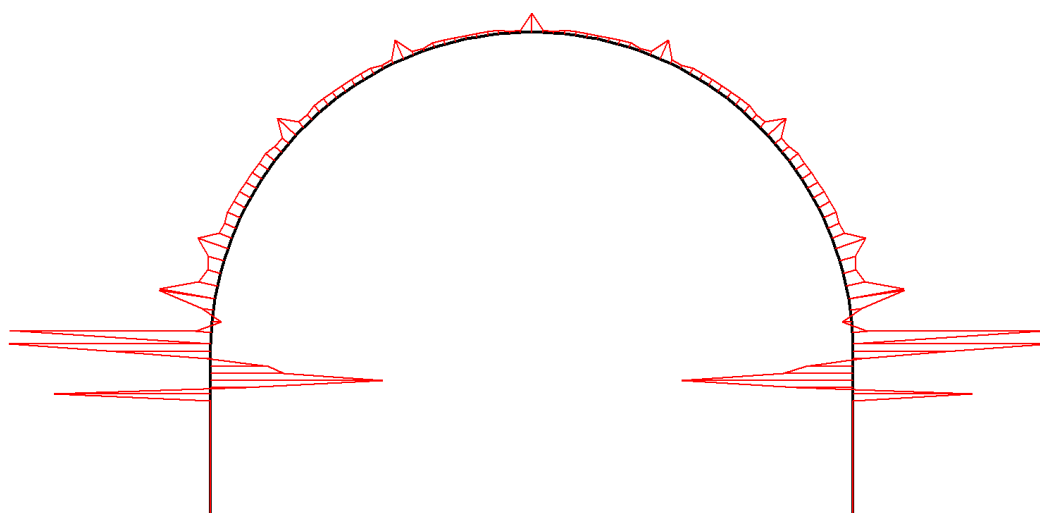


Fig. 16 Bending moments in beam
Extreme value $-294,40 \cdot 10^{-3}$ kNm/m (Phase: 3)

Table [10] Anchors phase no: 3

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	2555	-8,800	2,682	3,073	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2389	-4,799	3,046						
2	3977	-8,350	6,112	2,275	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3627	-4,536	4,911						
3	5099	-6,510	9,262	2,224	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4729	-3,519	6,606						
4	7327	-3,560	11,392	2,268	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6089	-1,917	7,742						
5	9187	3,560	11,392	2,268	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7567	1,917	7,742						
6	9093	6,510	9,262	2,224	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7509	3,519	6,606						
7	8583	8,350	6,112	2,276	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7195	4,536	4,911						
8	7929	8,800	2,682	3,074	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	6193	4,799	3,046						
9	8369	0,000	12,142	2,292	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7117	0,000	8,142						

9. Results for phase 4

9.1 Deformations

9.1.1 Plot of total displacements

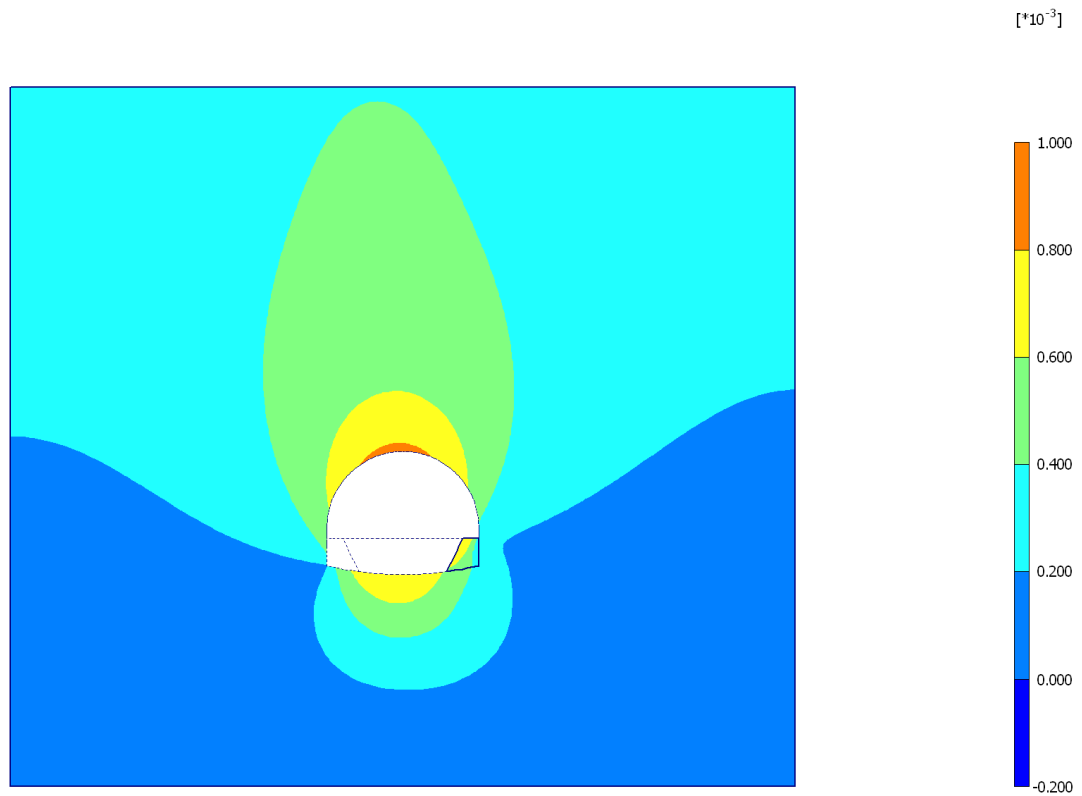


Fig. 17 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 22 - (Phase: 4)

9.2 Stresses

9.2.1 Plot of total stresses

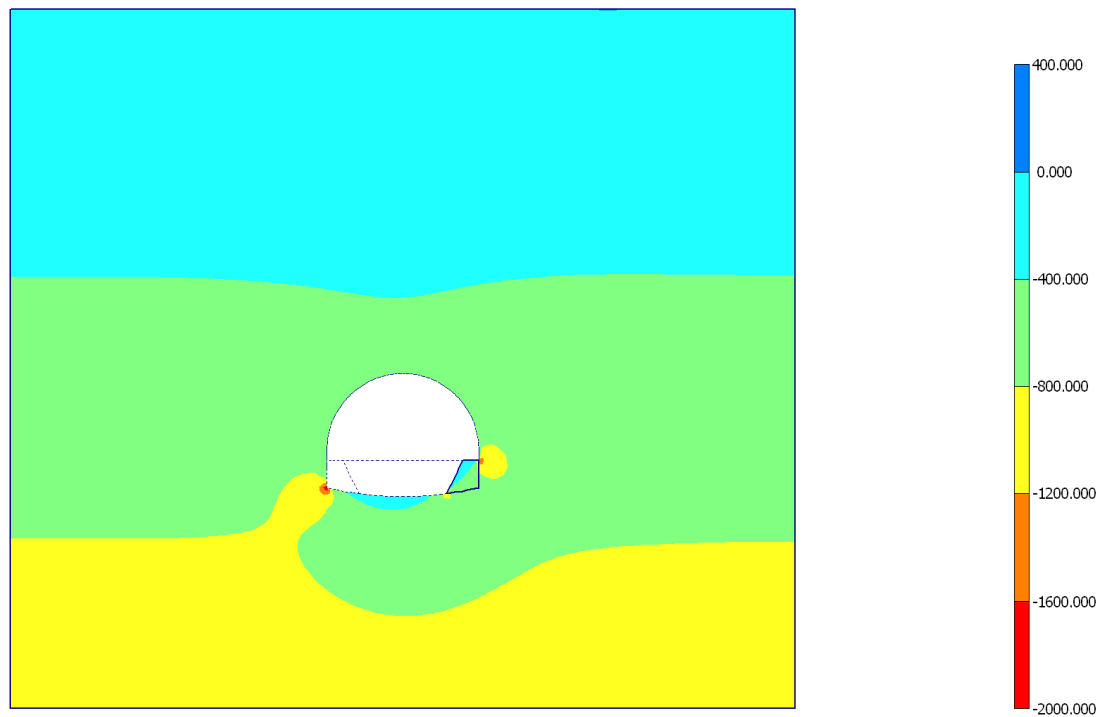


Fig. 18 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 22 - (Phase: 4)

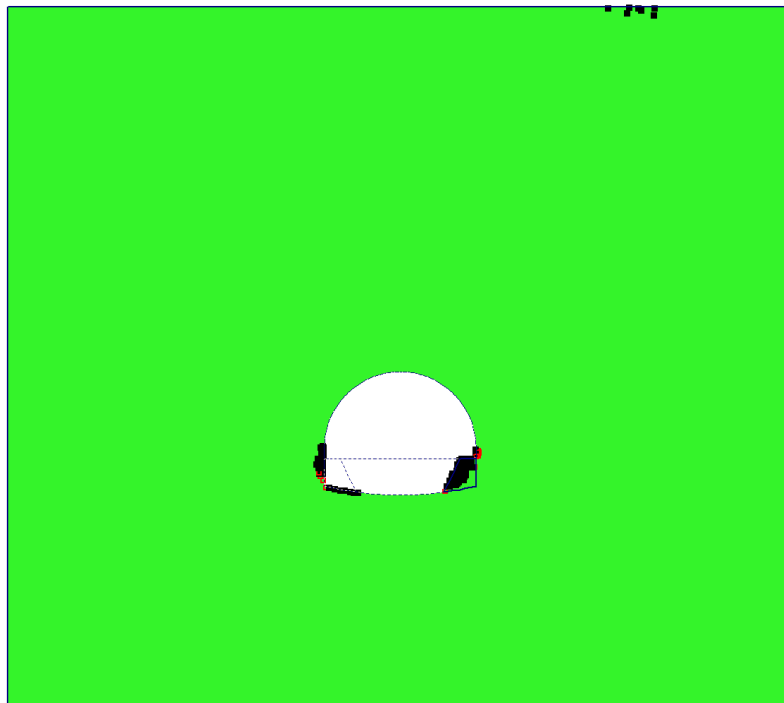


Fig. 19 Plot of plastic points
- Step no: 22 - (Phase: 4)

9.3 Structures

9.3.1 Beams

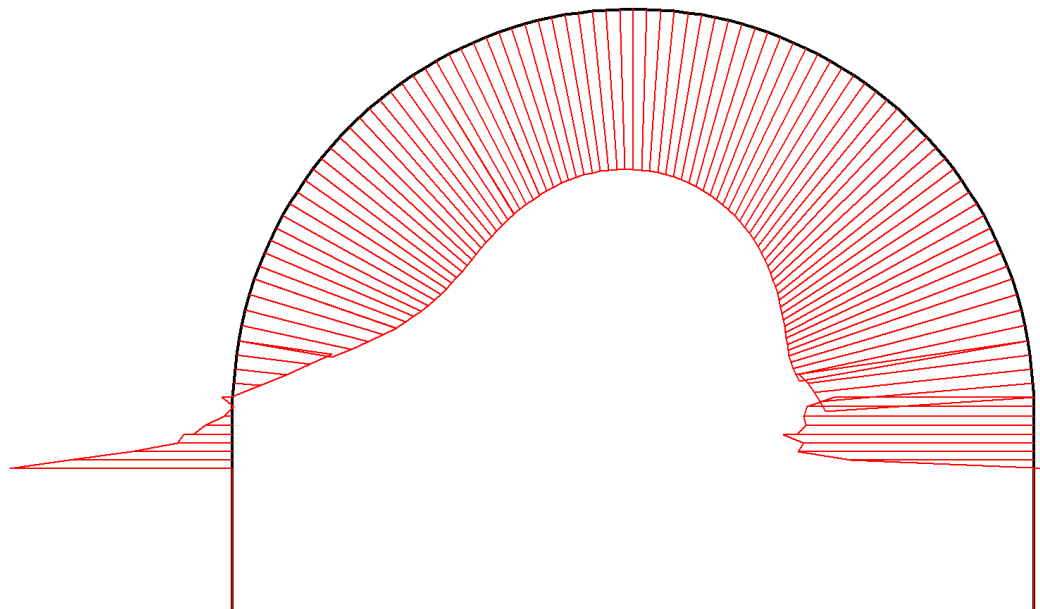


Fig. 20 Axial forces in beam
Extreme value -87,27 kN/m (Phase: 4)

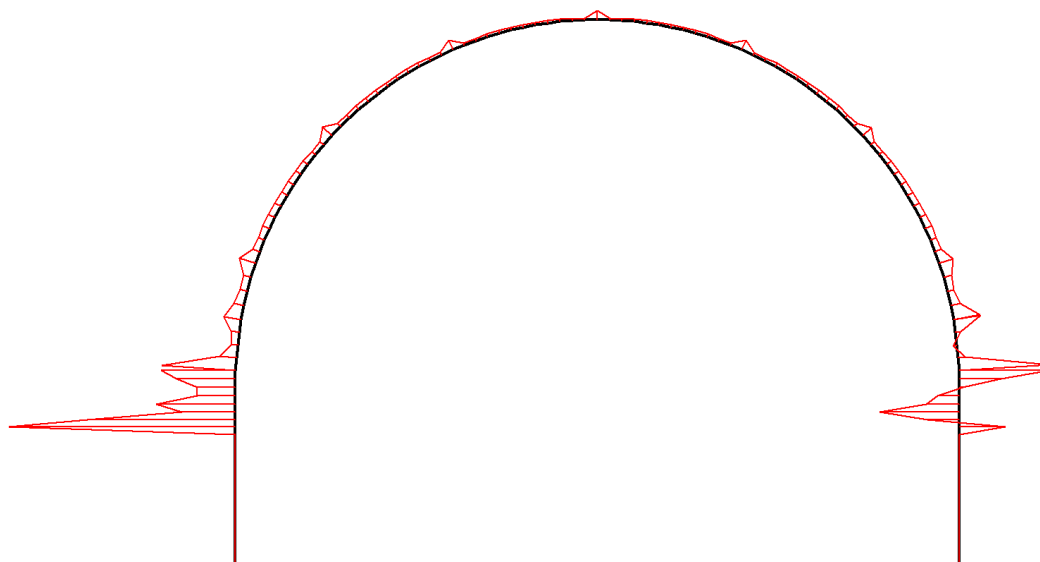


Fig. 21 Bending moments in beam
Extreme value $-750,35 \cdot 10^{-3}$ kNm/m (Phase: 4)

10. Results for phase 5

10.1 Deformations

10.1.1 Plot of total displacements

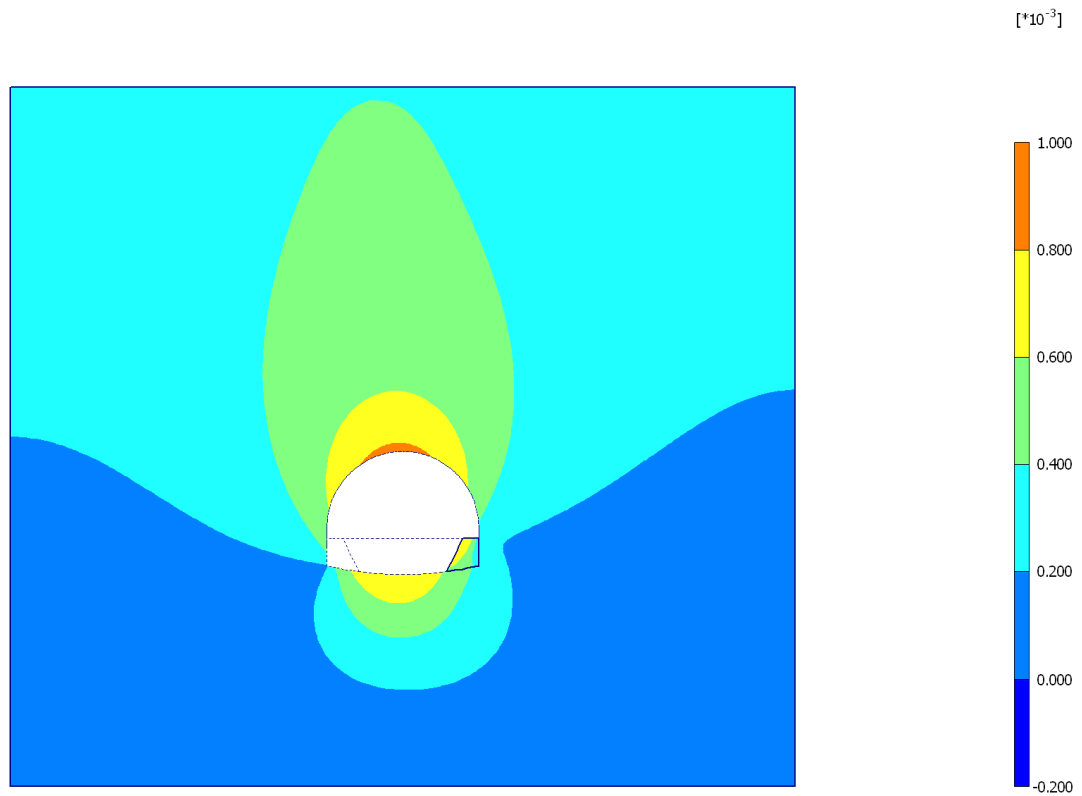


Fig. 22 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 24 - (Phase: 5)

10.2 Stresses

10.2.1 Plot of total stresses

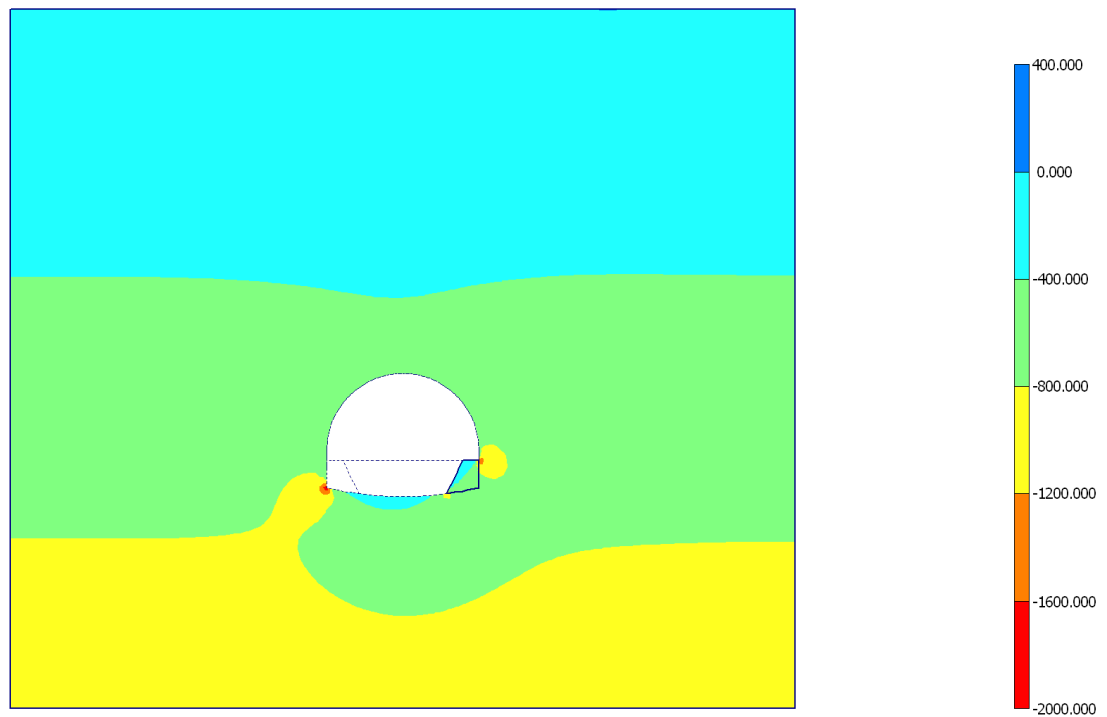


Fig. 23 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 24 - (Phase: 5)

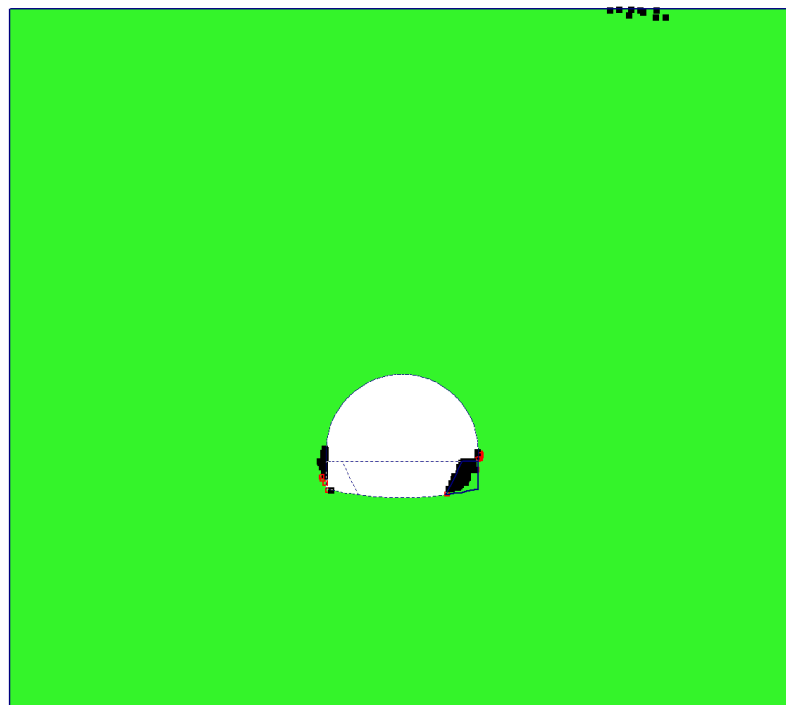


Fig. 24 Plot of plastic points
- Step no: 24 - (Phase: 5)

10.3 Structures

10.3.1 Beams

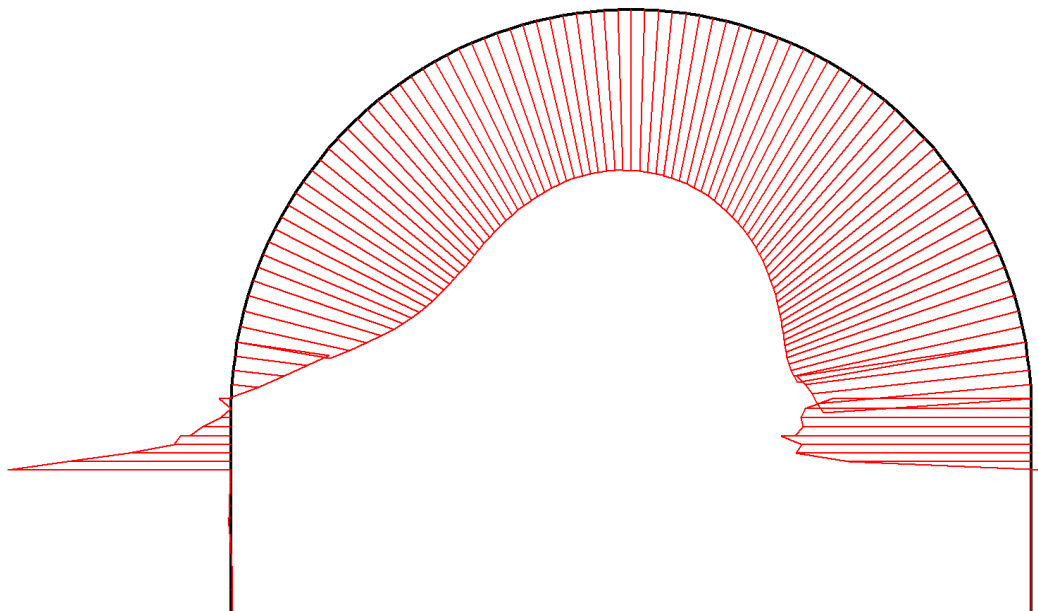


Fig. 25 Axial forces in beam
Extreme value -87,28 kN/m (Phase: 5)

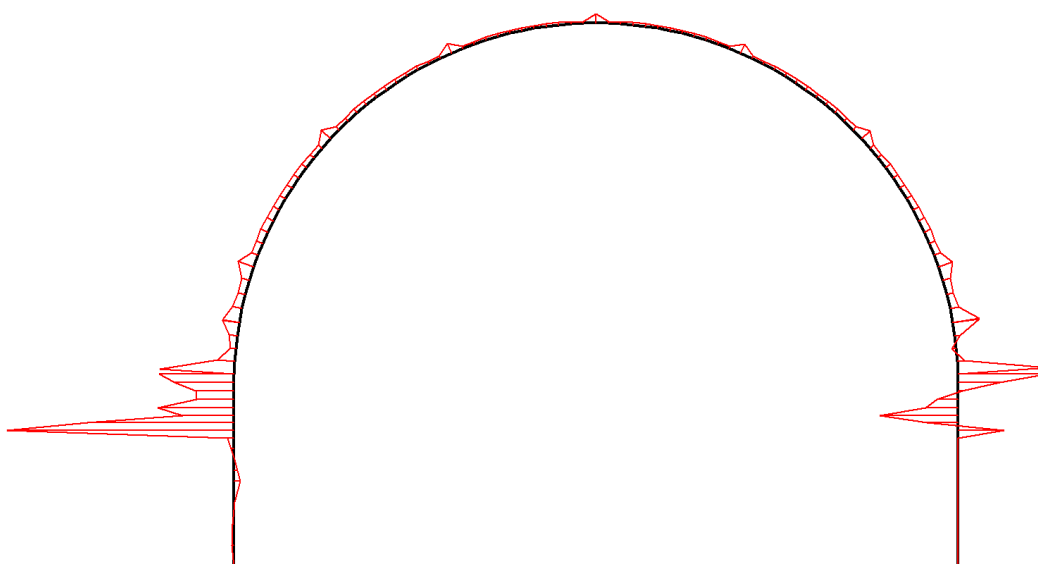


Fig. 26 Bending moments in beam
Extreme value $-759,70 \cdot 10^{-3}$ kNm/m (Phase: 5)

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	2555	-8,800	2,682	5,076	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2389	-4,799	3,046						
2	3977	-8,350	6,112	2,790	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3627	-4,536	4,911						
3	5099	-6,510	9,262	2,374	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4729	-3,519	6,606						
4	7327	-3,560	11,392	2,319	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6089	-1,917	7,742						
5	9187	3,560	11,392	2,295	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7567	1,917	7,742						
6	9093	6,510	9,262	2,246	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7509	3,519	6,606						
7	8583	8,350	6,112	2,293	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7195	4,536	4,911						
8	7929	8,800	2,682	3,099	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	6193	4,799	3,046						
9	8369	0,000	12,142	2,320	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7117	0,000	8,142						

11. Results for phase 6

11.1 Deformations

11.1.1 Plot of total displacements

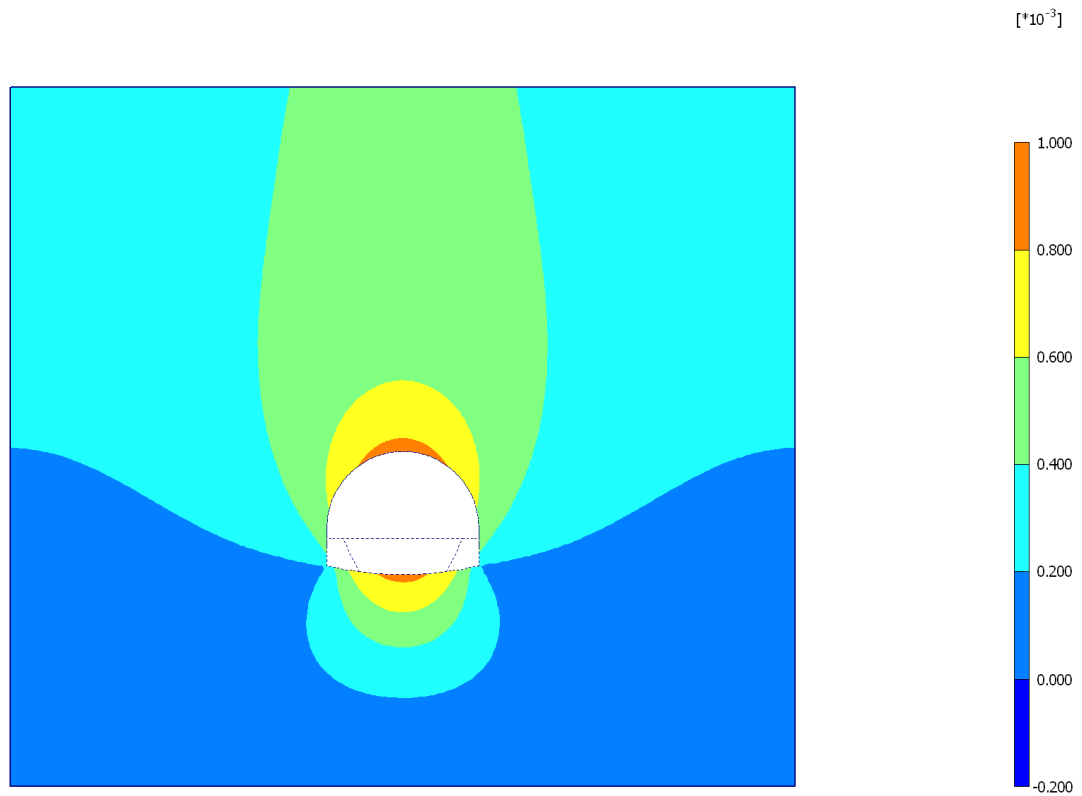


Fig. 27 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 29 - (Phase: 6)

11.2 Stresses

11.2.1 Plot of total stresses

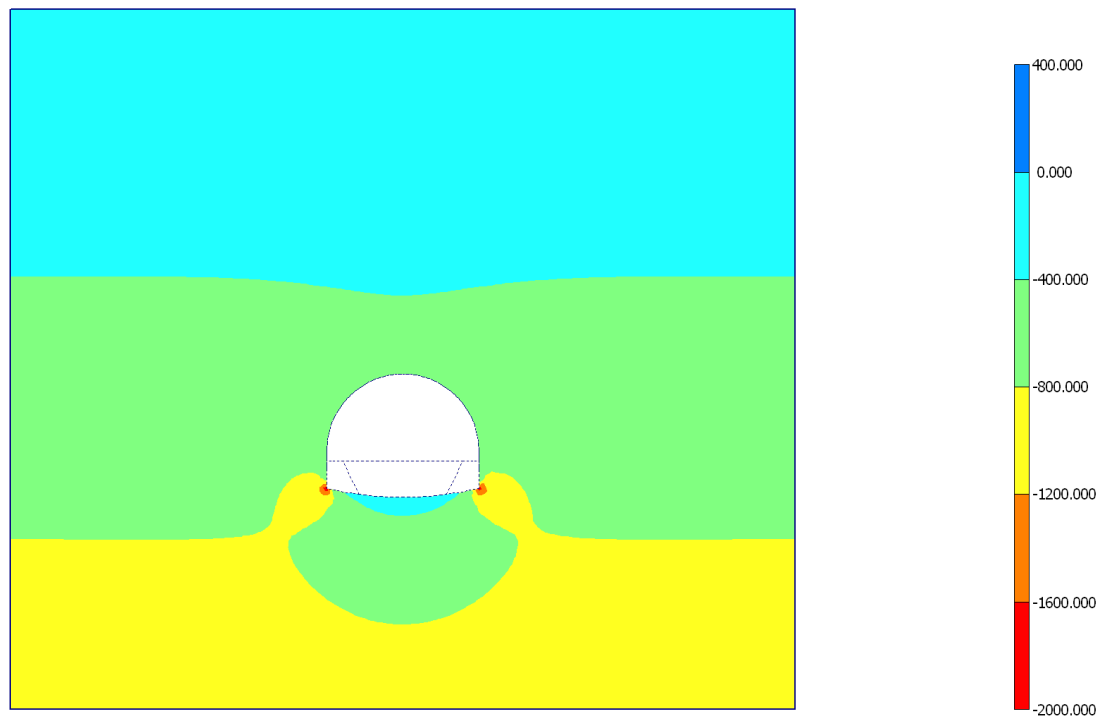


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 29 - (Phase: 6)

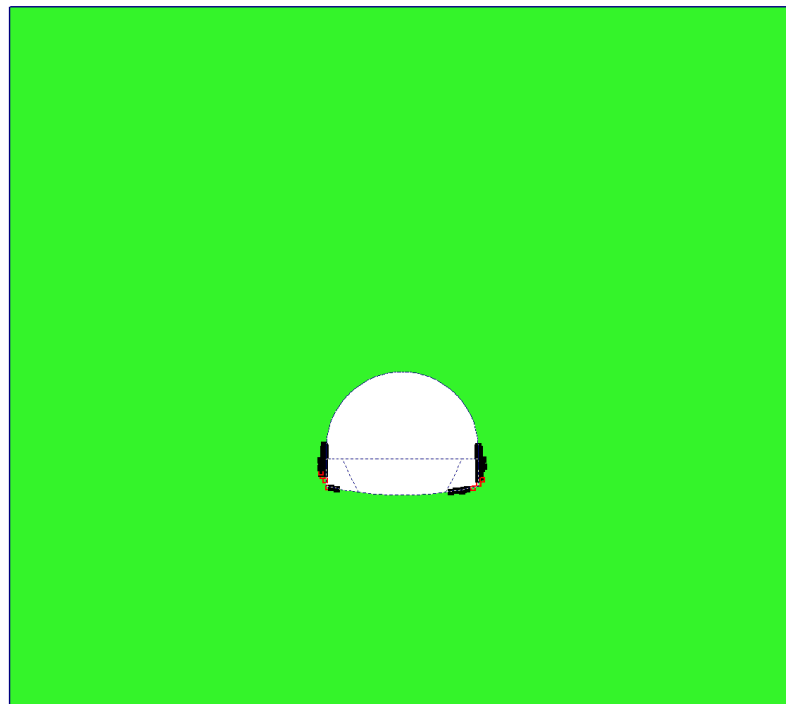


Fig. 29 Plot of plastic points
- Step no: 29 - (Phase: 6)

11.3 Structures

11.3.1 Beams

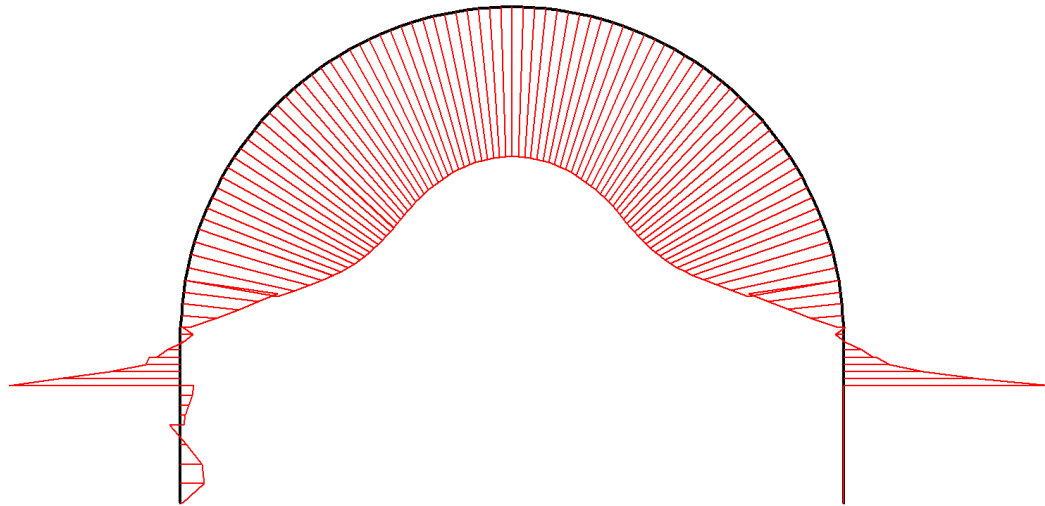


Fig. 30 Axial forces in beam
Extreme value 84,78 kN/m (Phase: 6)

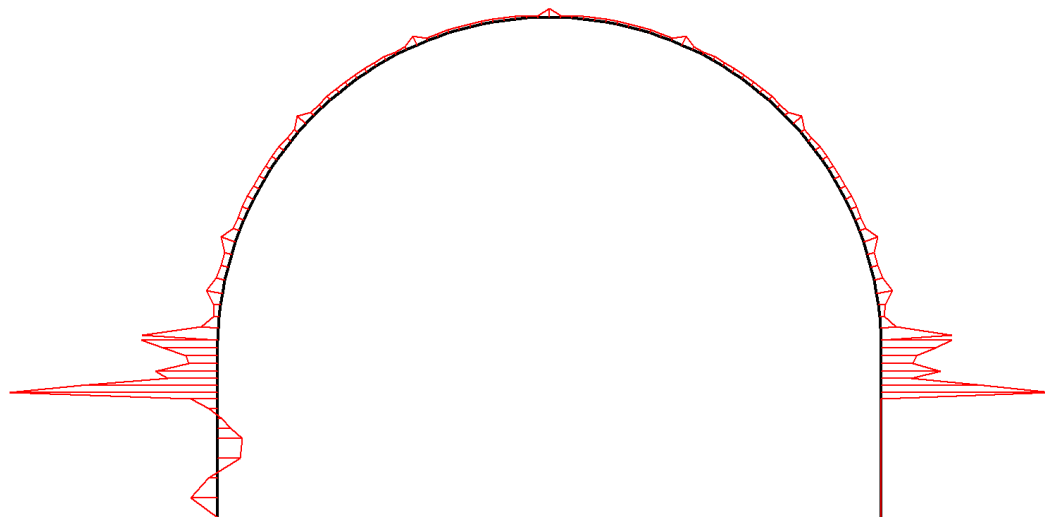


Fig. 31 Bending moments in beam
Extreme value $-804,60 \cdot 10^{-3}$ kNm/m (Phase: 6)

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	2555	-8,800	2,682	5,161	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2389	-4,799	3,046						
2	3977	-8,350	6,112	2,811	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3627	-4,536	4,911						
3	5099	-6,510	9,262	2,398	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4729	-3,519	6,606						
4	7327	-3,560	11,392	2,347	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6089	-1,917	7,742						
5	9187	3,560	11,392	2,347	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7567	1,917	7,742						
6	9093	6,510	9,262	2,399	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7509	3,519	6,606						
7	8583	8,350	6,112	2,817	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7195	4,536	4,911						
8	7929	8,800	2,682	5,151	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	6193	4,799	3,046						
9	8369	0,000	12,142	2,348	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7117	0,000	8,142						

12.Results for phase 7

12.1 Deformations

12.1.1 Plot of total displacements

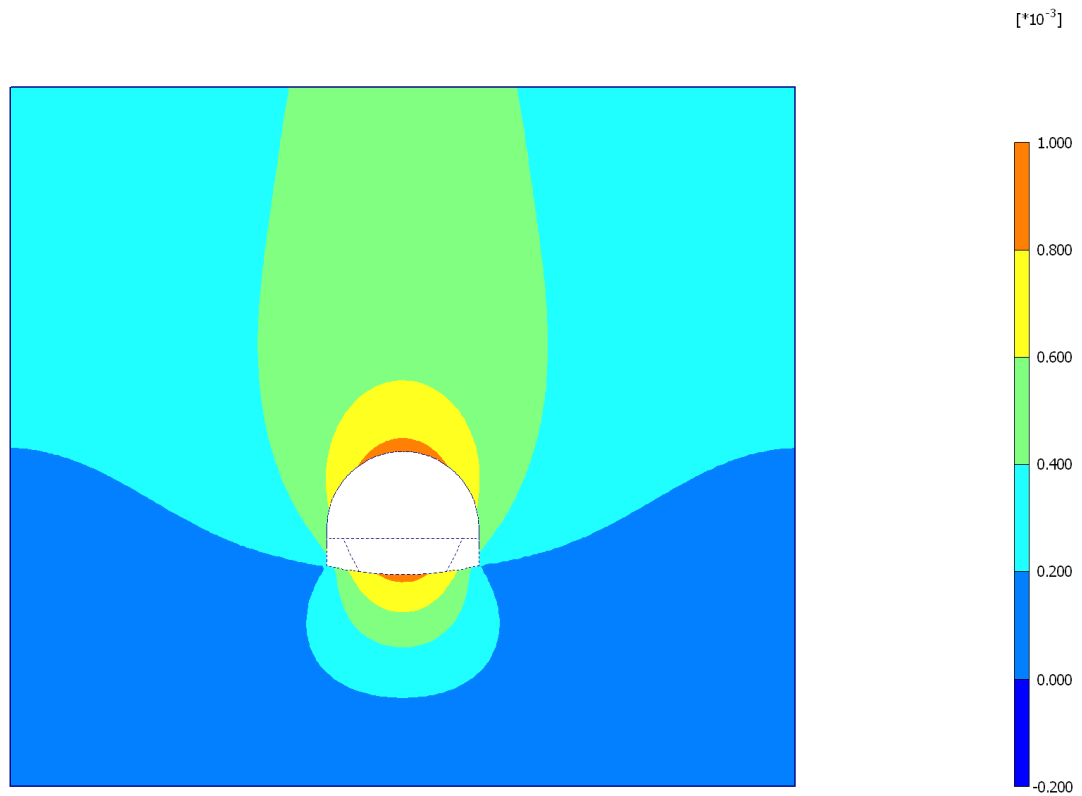


Fig. 32 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 32 - (Phase: 7)

12.2 Stresses

12.2.1 Plot of total stresses

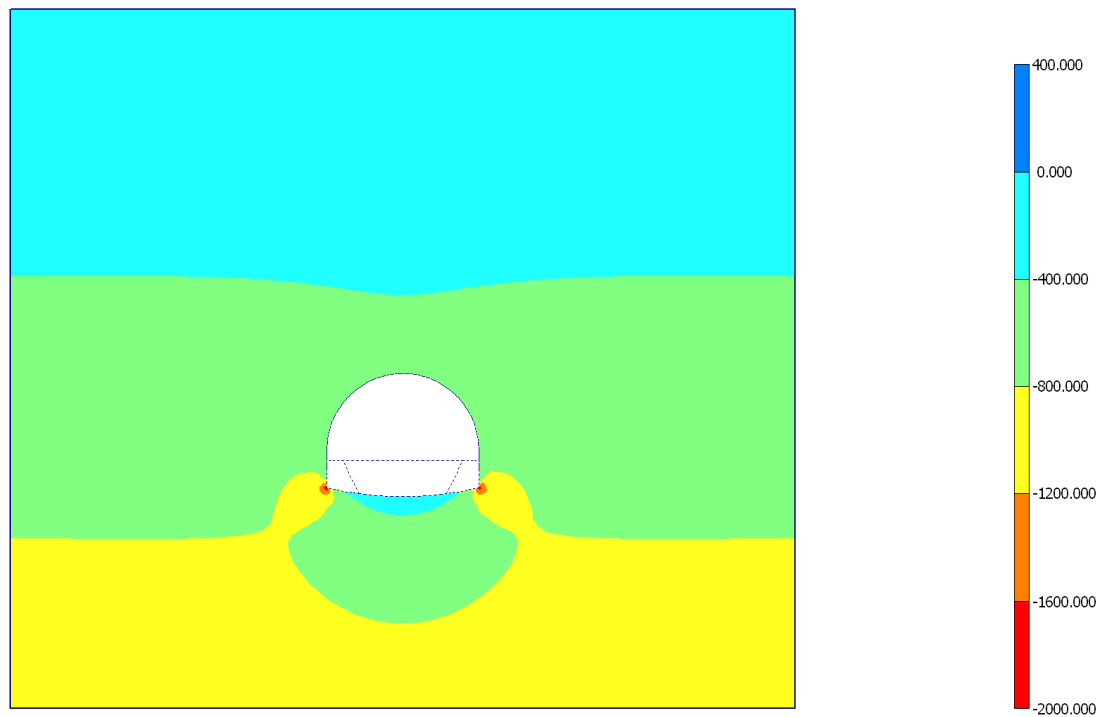


Fig. 33 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 32 - (Phase: 7)

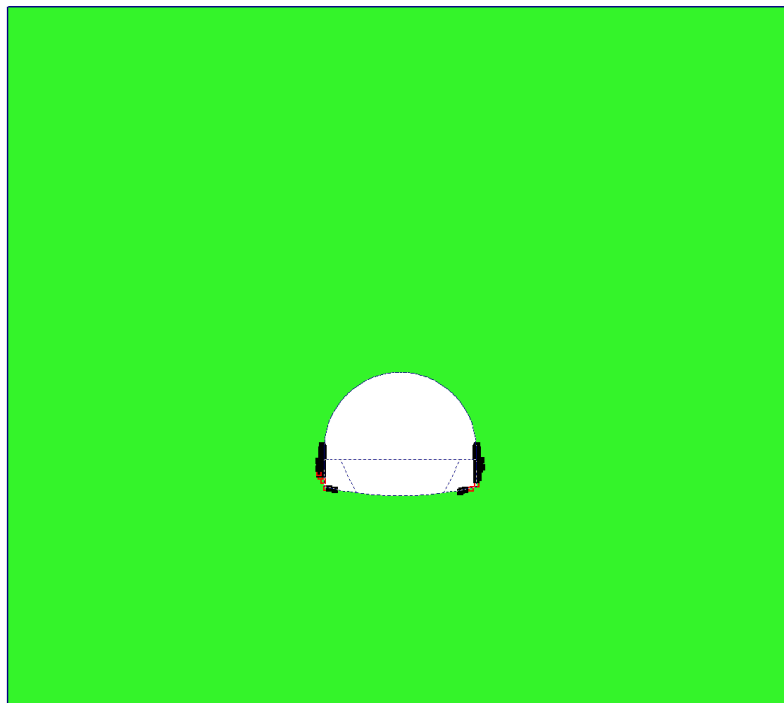


Fig. 34 Plot of plastic points
- Step no: 32 - (Phase: 7)

12.3 Structures

12.3.1 Beams

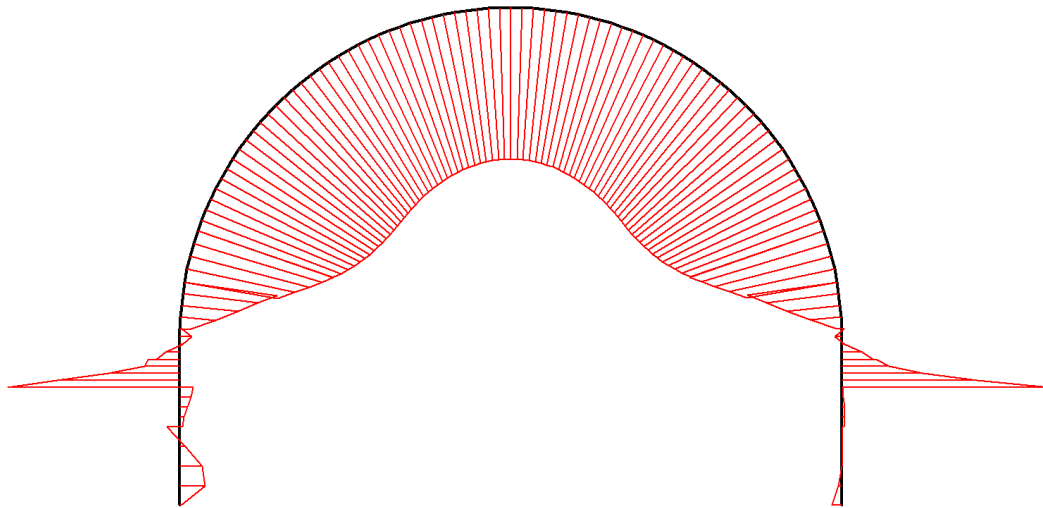


Fig. 35 Axial forces in beam
Extreme value 84,04 kN/m (Phase: 7)

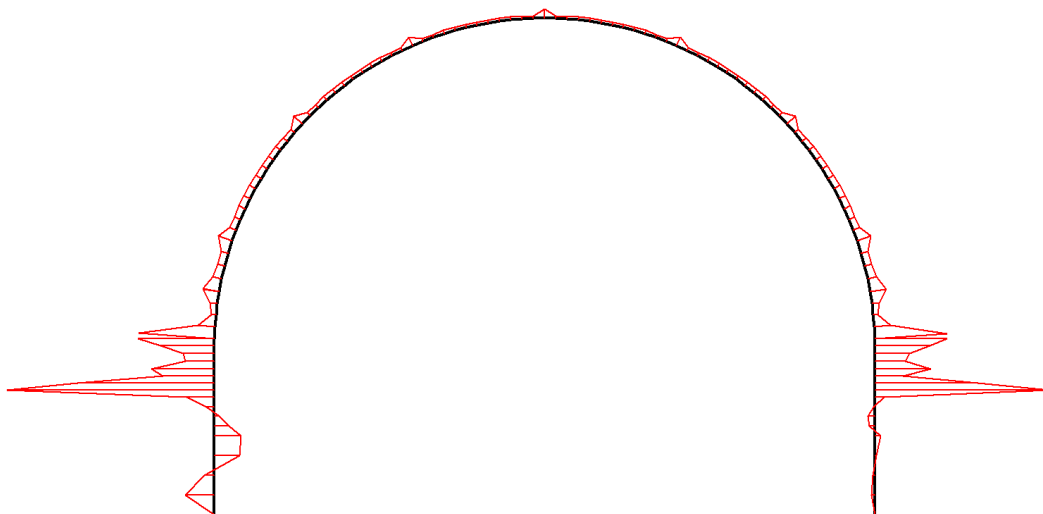


Fig. 36 Bending moments in beam
Extreme value $-805,77 \cdot 10^{-3}$ kNm/m (Phase: 7)

Table [14] Anchors phase no: 7

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	2555	-8,800	2,682	5,166	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2389	-4,799	3,046						
2	3977	-8,350	6,112	2,811	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3627	-4,536	4,911						
3	5099	-6,510	9,262	2,398	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4729	-3,519	6,606						
4	7327	-3,560	11,392	2,347	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6089	-1,917	7,742						
5	9187	3,560	11,392	2,347	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7567	1,917	7,742						
6	9093	6,510	9,262	2,400	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7509	3,519	6,606						
7	8583	8,350	6,112	2,818	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7195	4,536	4,911						
8	7929	8,800	2,682	5,168	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	6193	4,799	3,046						
9	8369	0,000	12,142	2,349	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7117	0,000	8,142						

REPORT

07/15/2021

User: EPTISA

Title: ST-III, CU-1 Limolitas. TRAMO SARRATU – APERRIBAI LINEA 5 FMB

1. General Information

Table [1] units

Type	Unit
Length	m
Force	kN
Time	day

Table [2] Model dimensions

	min.	max.
X	-24,800	24,800
Y	-13,000	31,142

Table [3] Model

Model	Plane Strain
Element	15-Noded

2. Structures

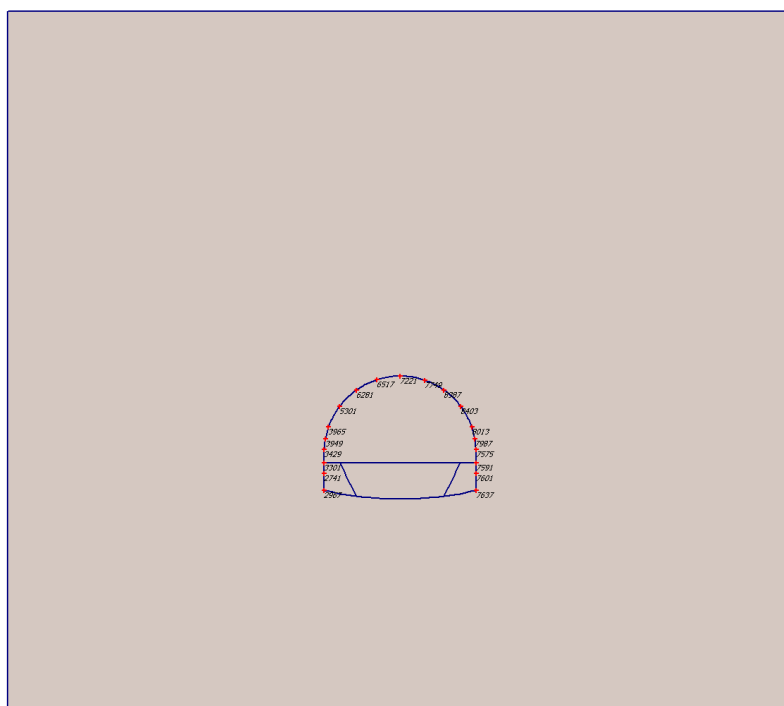


Fig. 1 Plot of geometry model with structures

3. Mesh data

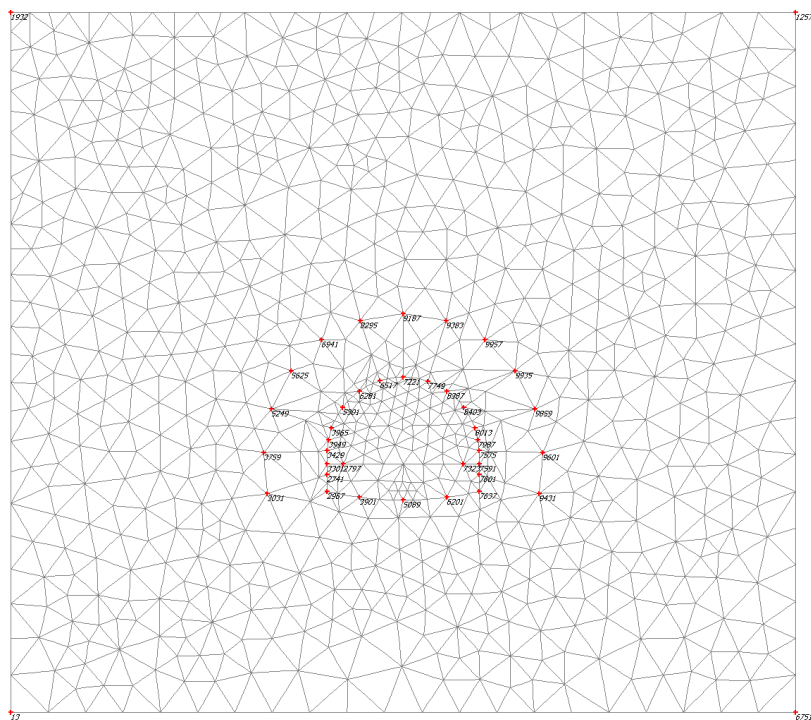


Fig. 2 Plot of the mesh with significant nodes

4. Material data

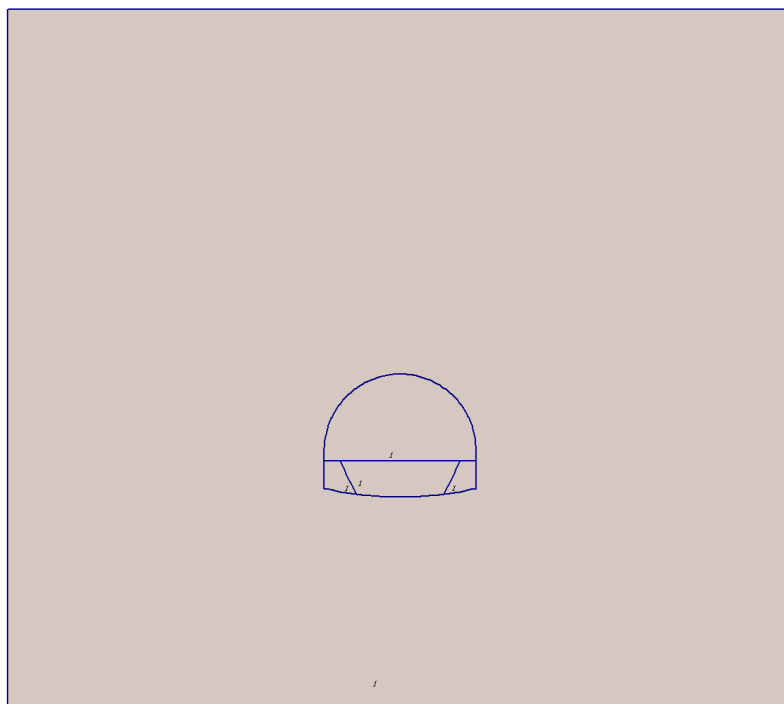


Fig. 3 Plot of geometry with material data sets

Table [4] Soil data sets parameters

Mohr-Coulomb		1
		Limolitas RMR_45
Type		Drained
γ_{unsat}	[kN/m ³]	27,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	27,00
k_x	[m/day]	0,000
k_y	[m/day]	0,000
e_{init}	[-]	0,500
c_k	[-]	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	3500000,000
ν	[-]	0,300
G_{ref}	[kN/m ²]	1346153,846
E_{oed}	[kN/m ²]	4711538,462
c_{ref}	[kN/m ²]	185,00
ϕ	[°]	44,50
ψ	[°]	0,00
E_{inc}	[kN/m ² /m]	0,00
y_{ref}	[m]	0,000
$c_{incement}$	[kN/m ² /m]	0,00
$T_{str.}$	[kN/m ²]	0,00
$R_{inter.}$	[-]	1,00
Interface permeability		Neutral

Table [5] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA	EI	w	v	Mp	Np
		[kN/m]	[kNm ² /m]	[kN/m/m]	[-]	[kNm/m]	[kN/m]
1	Gunita 0,12	1,74E6	2090,00	3,00	0,20	1E15	1E15

Table [6] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L spacing [m]
1	Bulon f25	103000,00	184,000	184,000	1,50

5. Calculation phases

Table [7] List of phases

Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step
Initial phase	0	0		-	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic analysis	Staged construction	1	3
<Phase 2>	2	1	Plastic analysis	Staged construction	4	6
<Phase 3>	3	2	Plastic analysis	Staged construction	7	23
<Phase 4>	4	3	Plastic analysis	Staged construction	24	27
<Phase 5>	5	4	Plastic analysis	Staged construction	28	32
<Phase 6>	6	5	Plastic analysis	Staged construction	33	36
<Phase 7>	7	6	Plastic analysis	Staged construction	37	39

6. Results for phase 1

6.1 Deformations

6.1.1 Plot of total displacements

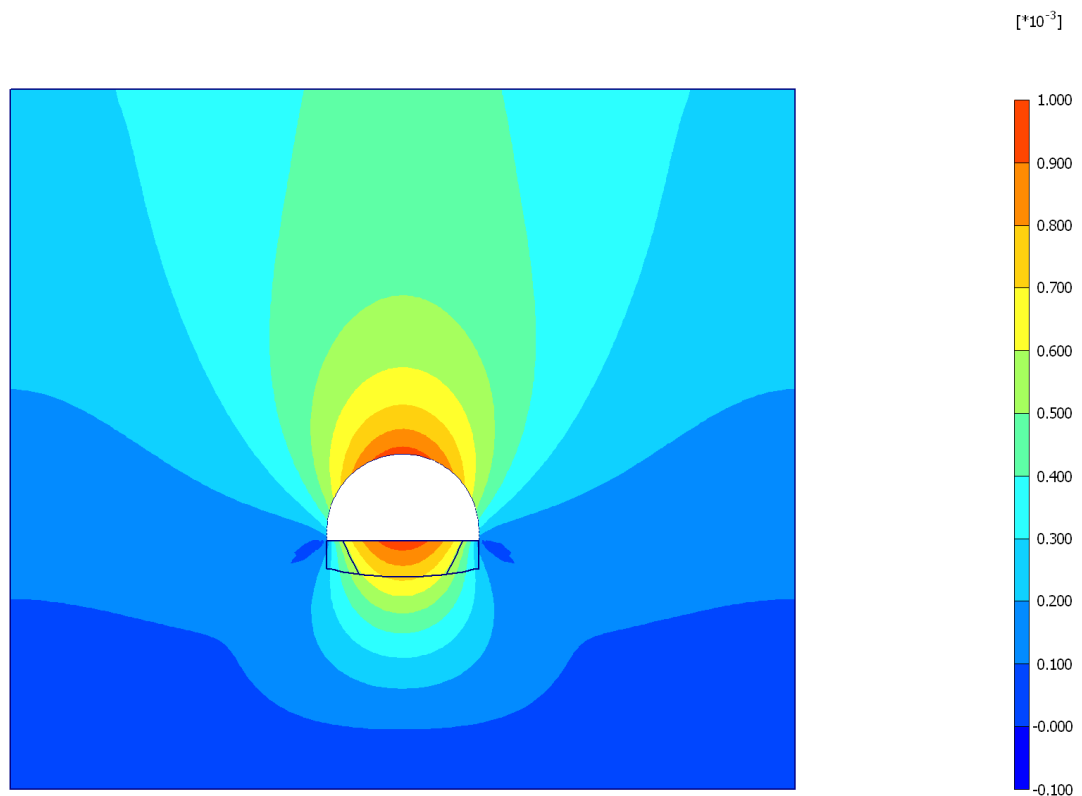


Fig. 4 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 3 - (Phase: 1)

6.2 Stresses

6.2.1 Plot of total stresses

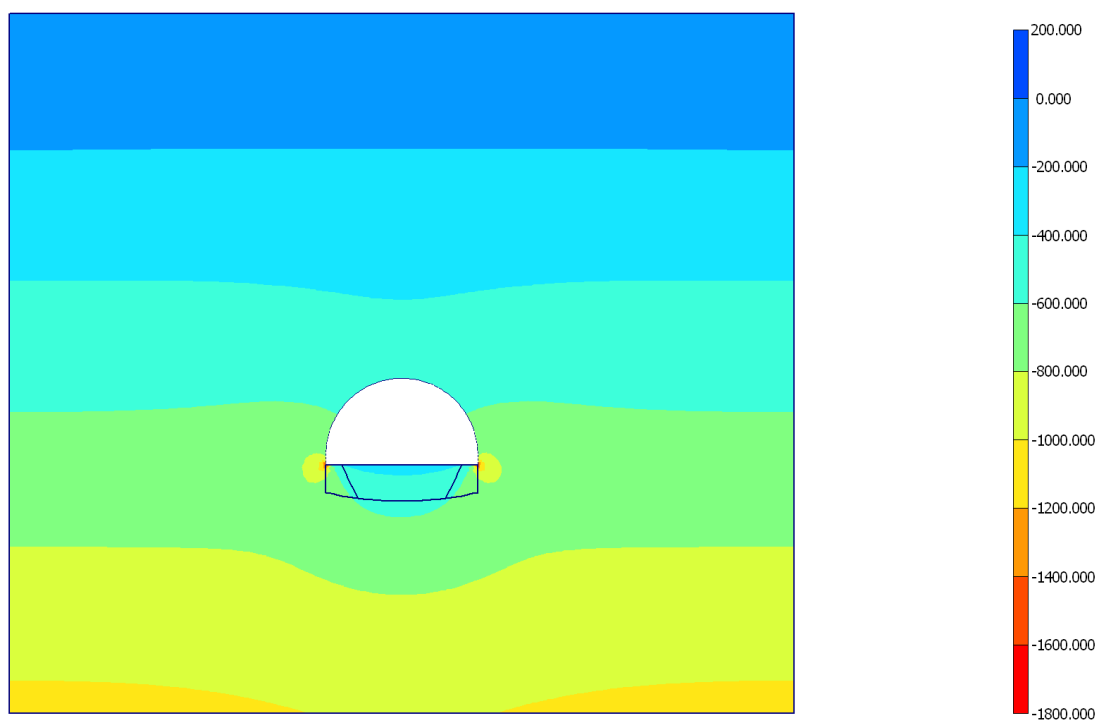


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 3 - (Phase: 1)

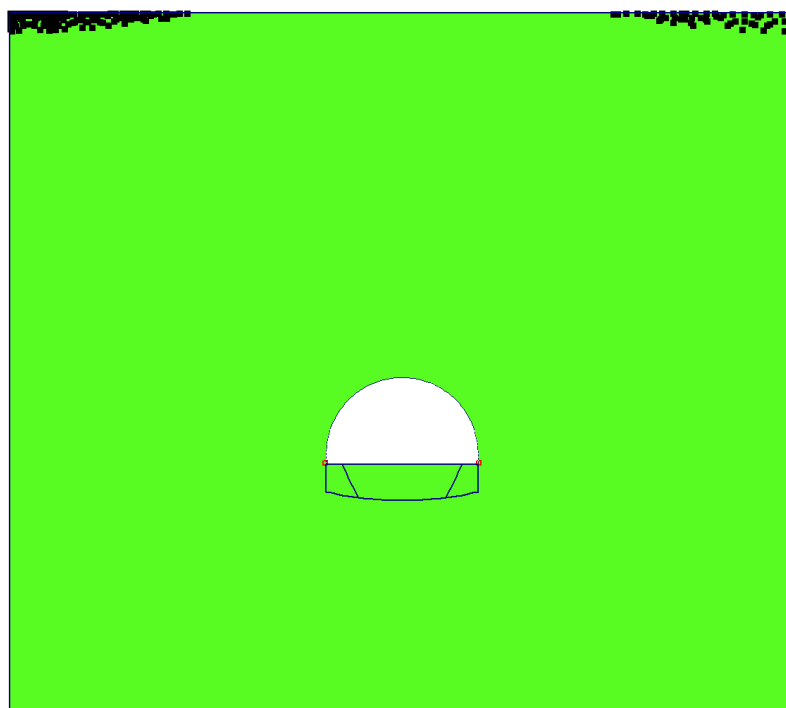


Fig. 6 Plot of plastic points
- Step no: 3 - (Phase: 1)

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	3031	-8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2741	-4,799	1,992						
2	3759	-8,800	3,382	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3429	-4,799	3,492						
3	5249	-8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3965	-4,536	4,911						
4	5625	-7,090	8,552	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5301	-3,837	6,226						
5	6941	-5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6281	-2,777	7,257						
6	8295	-2,710	11,712	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	6517	-1,460	7,914						
7	9383	2,710	11,712	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7749	1,551	7,884						
8	9957	5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	8387	2,777	7,257						
9	9935	7,090	8,552	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	8403	3,837	6,226						
10	9859	8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	8013	4,536	4,911						
11	9601	8,800	3,382	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	7575	4,799	3,492						
12	9431	8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7601	4,799	1,982						
13	9187	0,000	12,142	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7221	0,000	8,142						

7. Results for phase 2

7.1 Deformations

7.1.1 Plot of total displacements

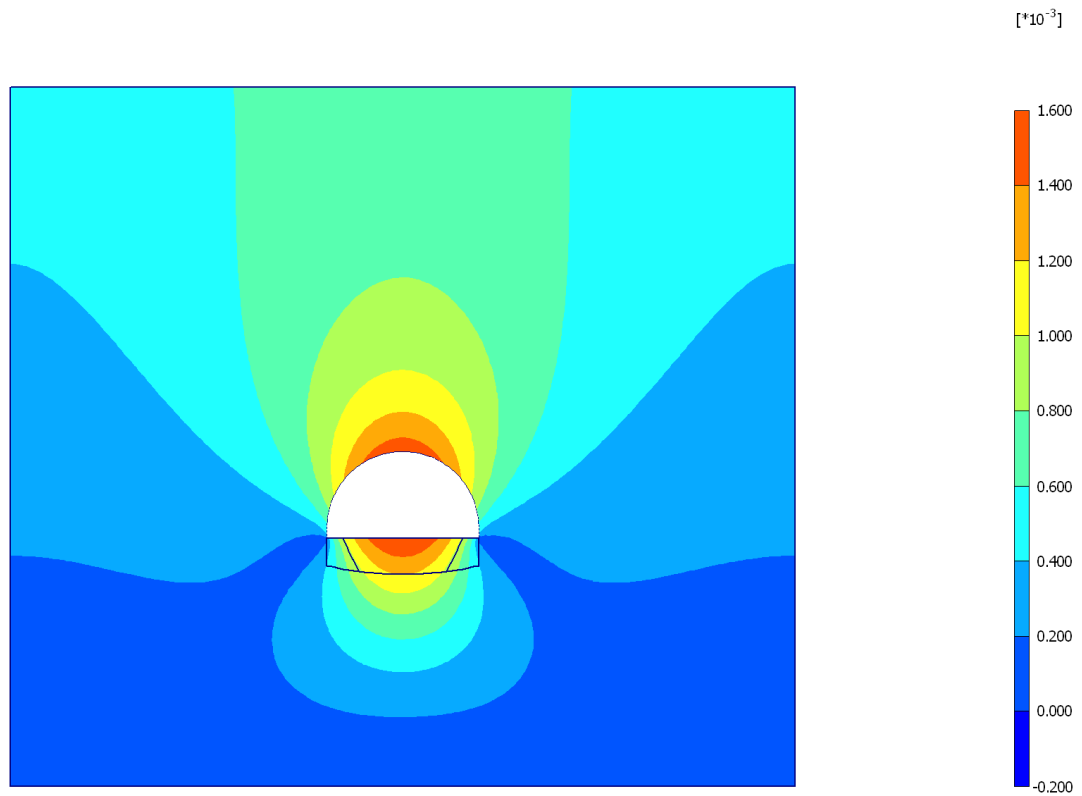


Fig. 7 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 6 - (Phase: 2)

7.2 Stresses

7.2.1 Plot of total stresses

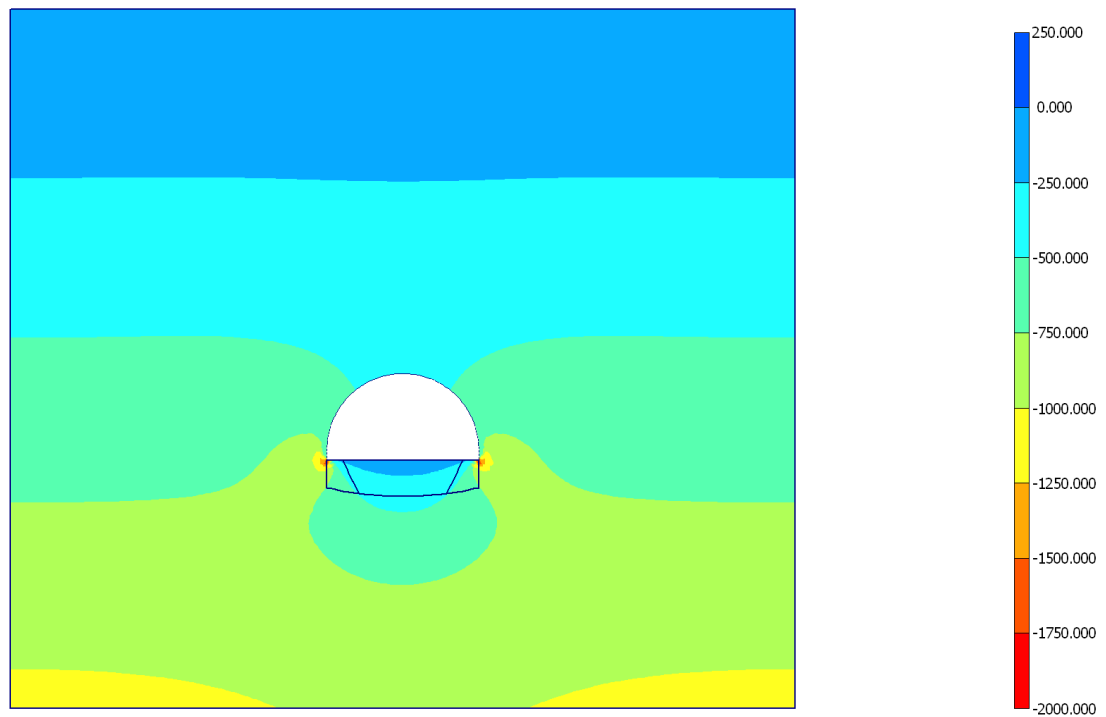


Fig. 8 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 6 - (Phase: 2)

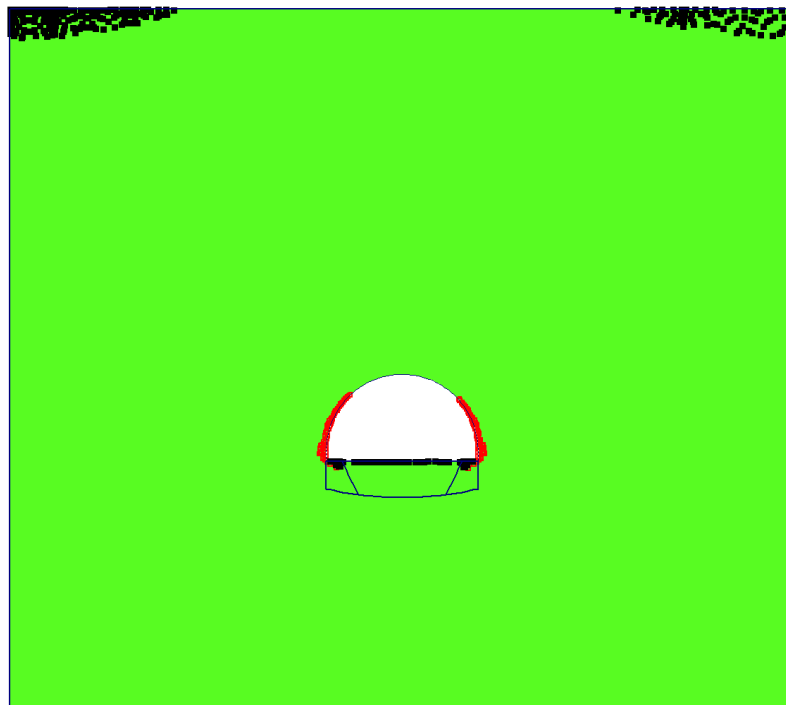


Fig. 9 Plot of plastic points
- Step no: 6 - (Phase: 2)

7.3 Structures

7.3.1 Beams

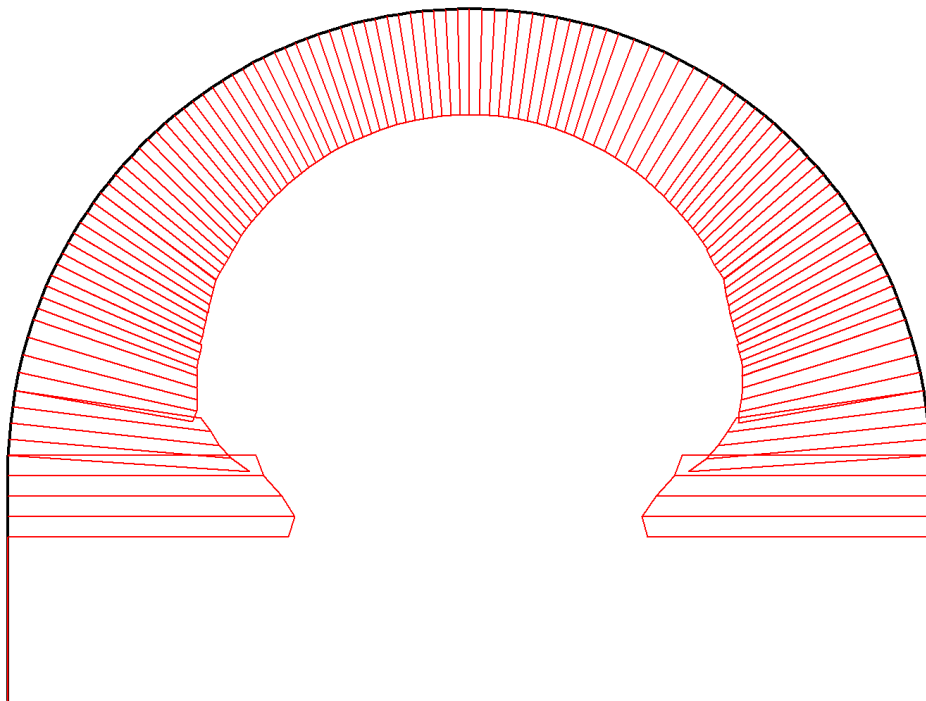


Fig. 10 Axial forces in beam
Extreme value -265,97 kN/m (Phase: 2)

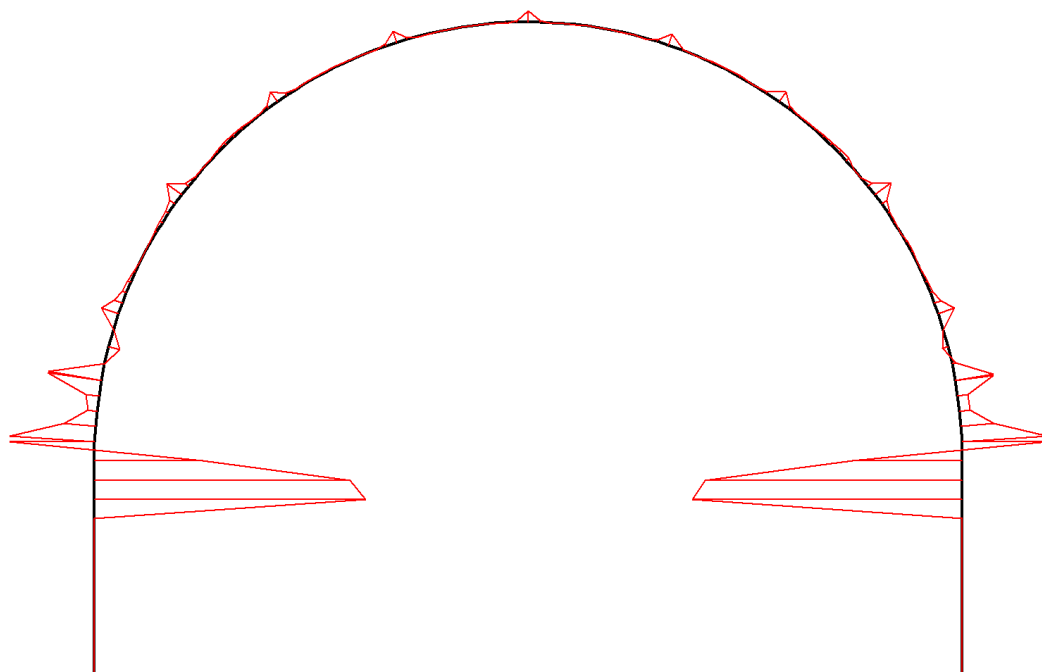


Fig. 11 Bending moments in beam
Extreme value 2,59 kNm/m (Phase: 2)

Table [9] Anchors phase no: 2

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	3031	-8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2741	-4,799	1,992						
2	3759	-8,800	3,382	4,112	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3429	-4,799	3,492						
3	5249	-8,350	6,112	4,188	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3965	-4,536	4,911						
4	5625	-7,090	8,552	4,322	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5301	-3,837	6,226						
5	6941	-5,150	10,482	4,457	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6281	-2,777	7,257						
6	8295	-2,710	11,712	4,552	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	6517	-1,460	7,914						
7	9383	2,710	11,712	4,534	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7749	1,551	7,884						
8	9957	5,150	10,482	4,458	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	8387	2,777	7,257						
9	9935	7,090	8,552	4,321	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	8403	3,837	6,226						
10	9859	8,350	6,112	4,181	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	8013	4,536	4,911						
11	9601	8,800	3,382	4,123	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	7575	4,799	3,492						
12	9431	8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7601	4,799	1,982						
13	9187	0,000	12,142	4,583	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7221	0,000	8,142						

8. Results for phase 3

8.1 Deformations

8.1.1 Plot of total displacements

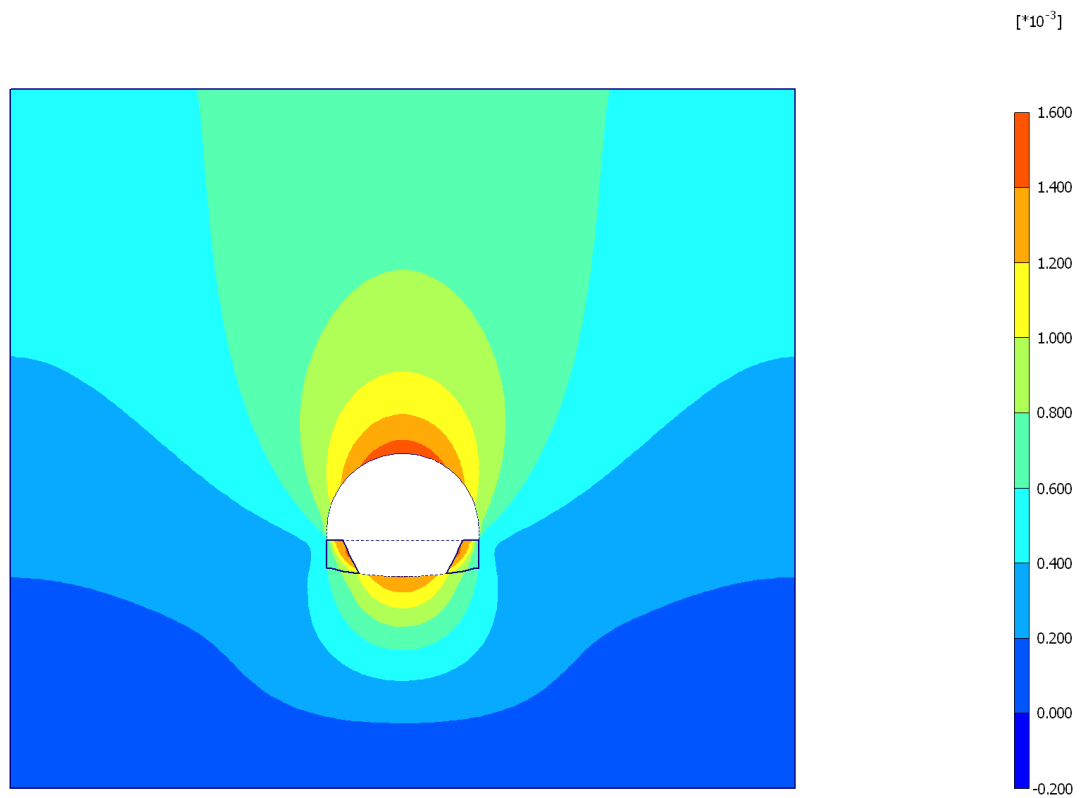


Fig. 12 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 23 - (Phase: 3)

8.2 Stresses

8.2.1 Plot of total stresses

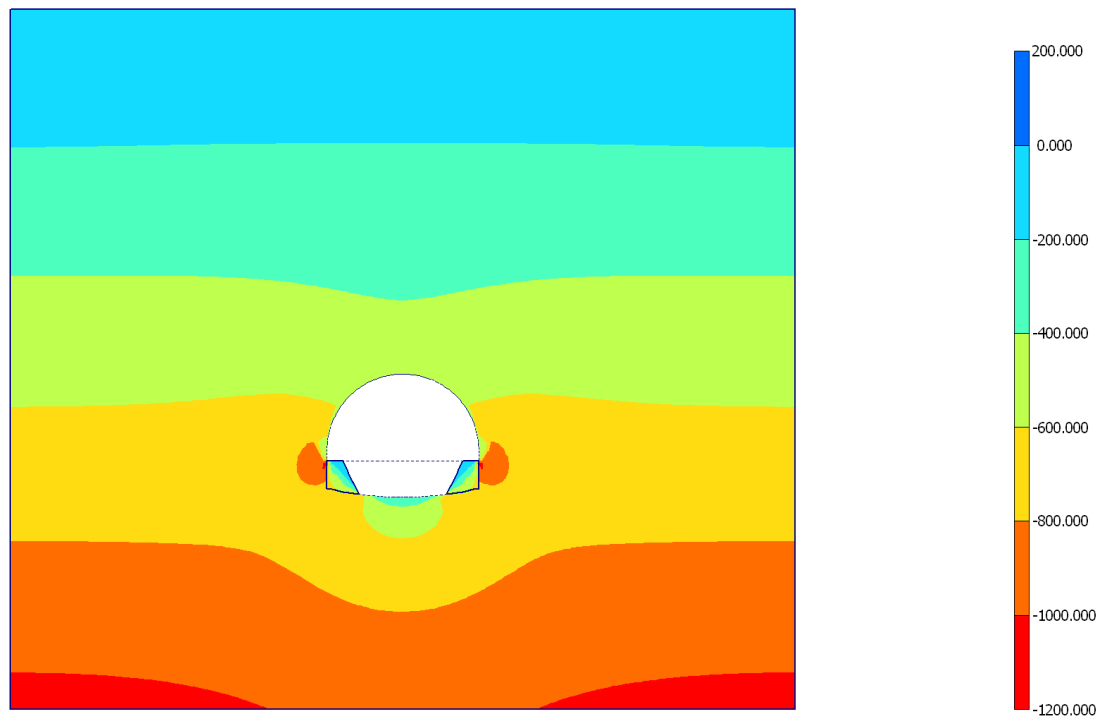


Fig. 13 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 23 - (Phase: 3)

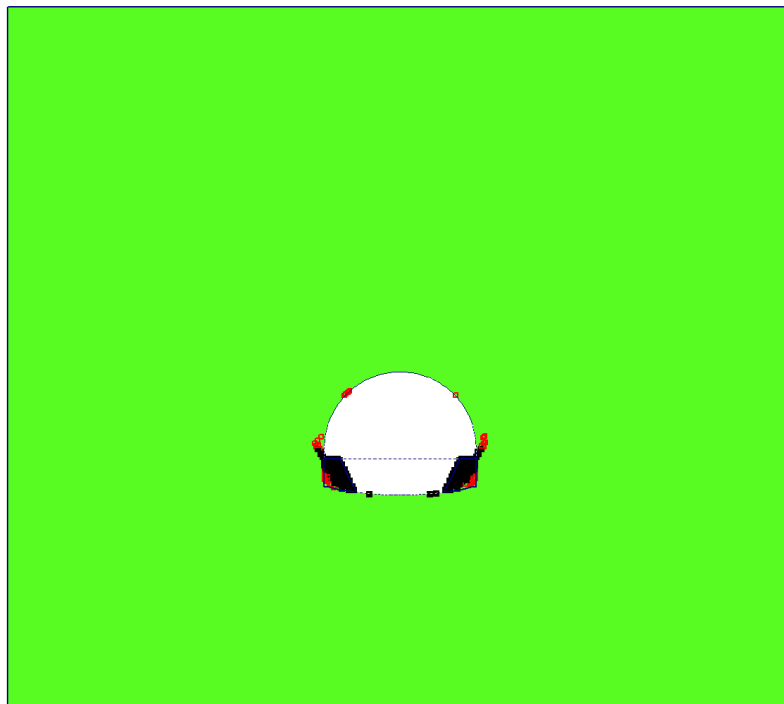


Fig. 14 Plot of plastic points
- Step no: 23 - (Phase: 3)

8.3 Structures

8.3.1 Beams

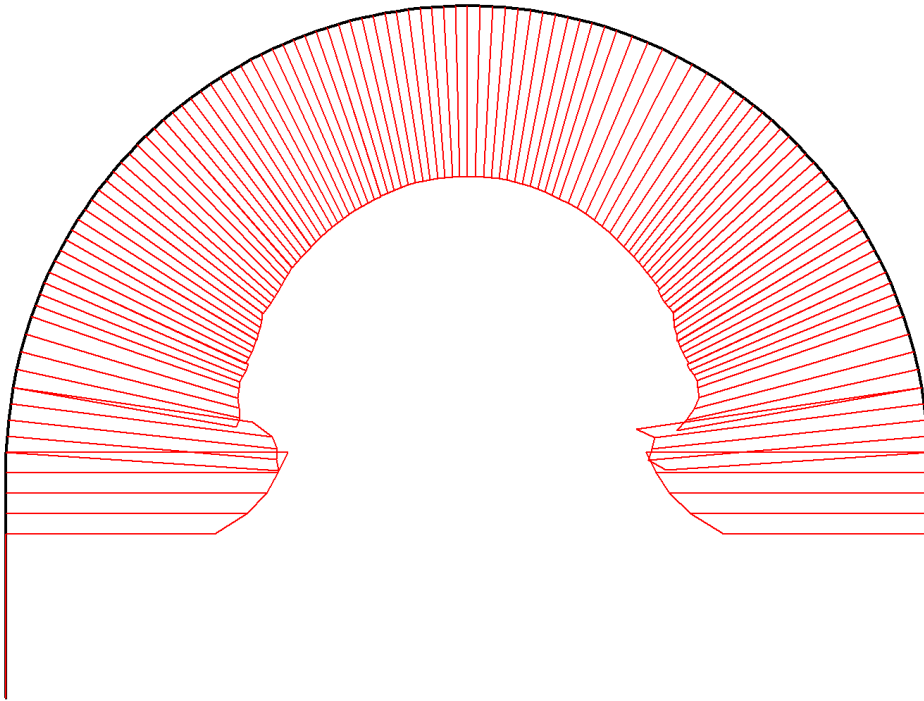


Fig. 15 Axial forces in beam
Extreme value -209,36 kN/m (Phase: 3)

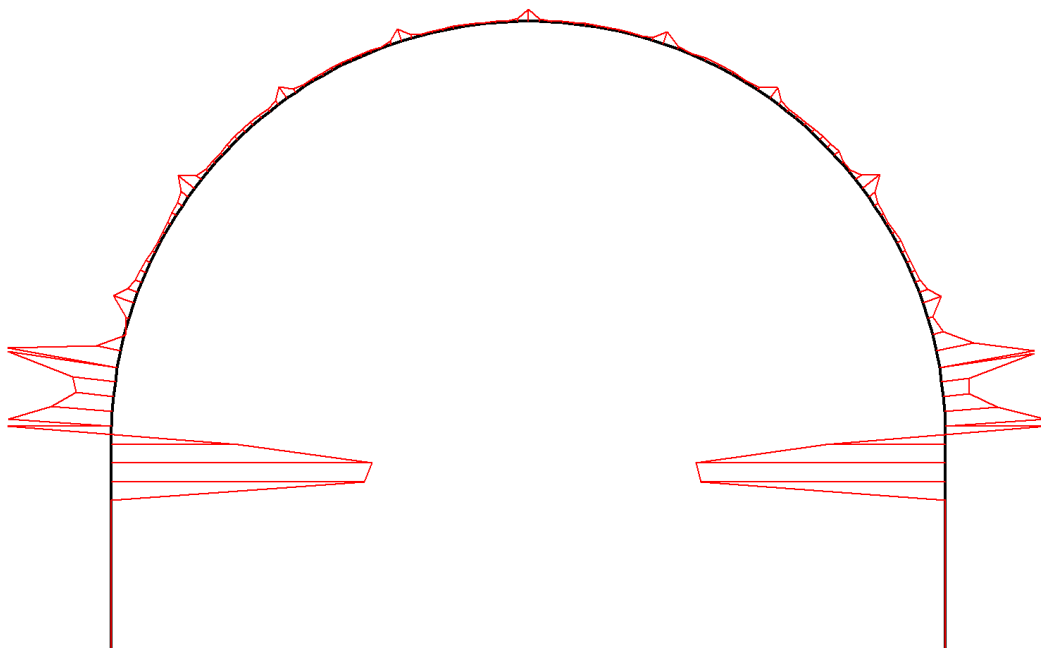


Fig. 16 Bending moments in beam
Extreme value 2,67 kNm/m (Phase: 3)

Table [10] Anchors phase no: 3

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	3031	-8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2741	-4,799	1,992						
2	3759	-8,800	3,382	7,903	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3429	-4,799	3,492						
3	5249	-8,350	6,112	4,995	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3965	-4,536	4,911						
4	5625	-7,090	8,552	4,611	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5301	-3,837	6,226						
5	6941	-5,150	10,482	4,546	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6281	-2,777	7,257						
6	8295	-2,710	11,712	4,571	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	6517	-1,460	7,914						
7	9383	2,710	11,712	4,561	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7749	1,551	7,884						
8	9957	5,150	10,482	4,550	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	8387	2,777	7,257						
9	9935	7,090	8,552	4,617	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	8403	3,837	6,226						
10	9859	8,350	6,112	5,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	8013	4,536	4,911						
11	9601	8,800	3,382	8,029	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	7575	4,799	3,492						
12	9431	8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7601	4,799	1,982						
13	9187	0,000	12,142	4,586	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7221	0,000	8,142						

9. Results for phase 4

9.1 Deformations

9.1.1 Plot of total displacements

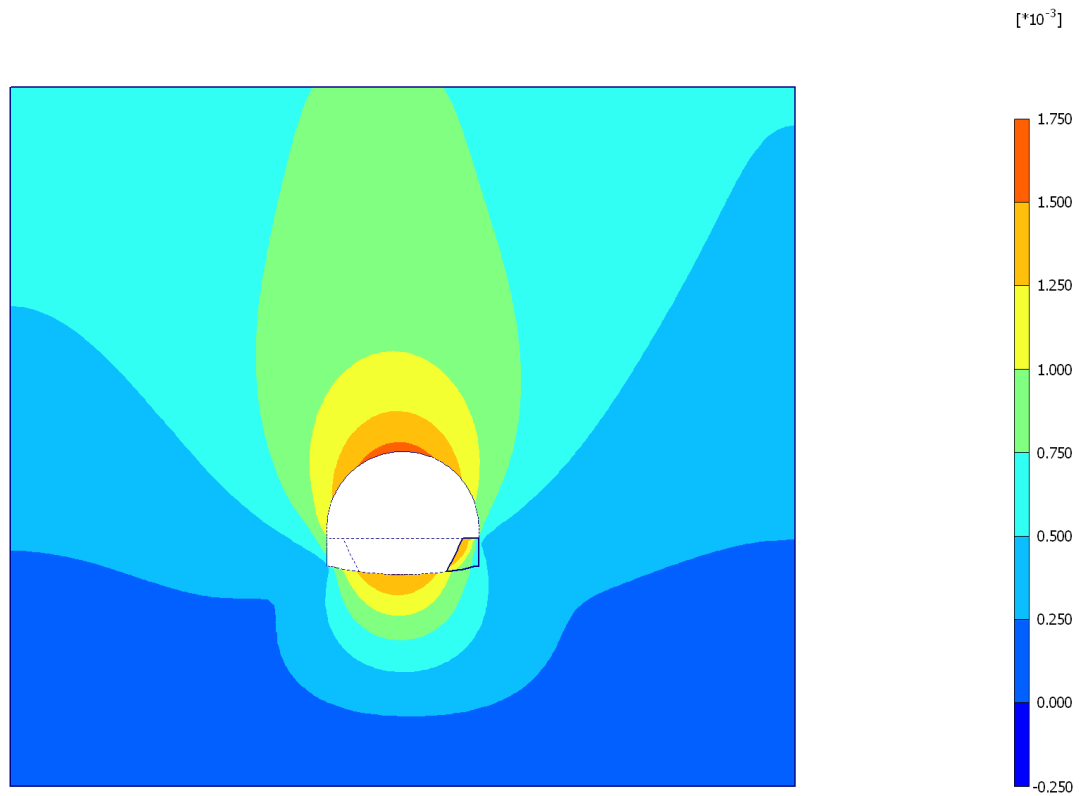


Fig. 17 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 27 - (Phase: 4)

9.2 Stresses

9.2.1 Plot of total stresses

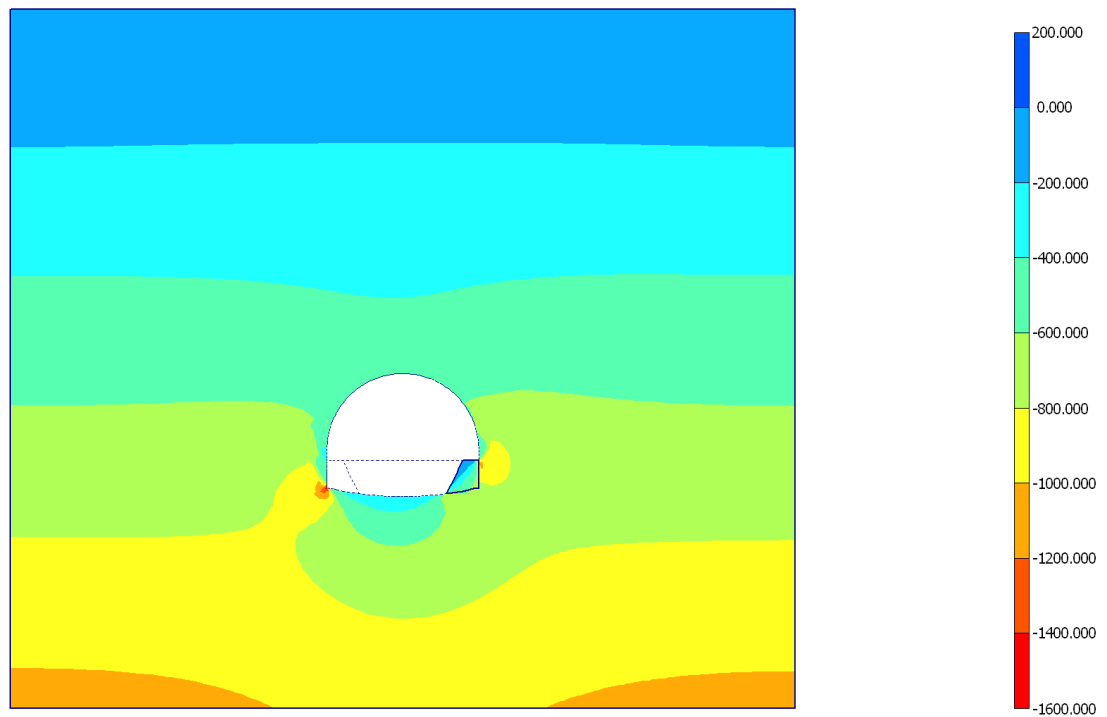


Fig. 18 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 27 - (Phase: 4)

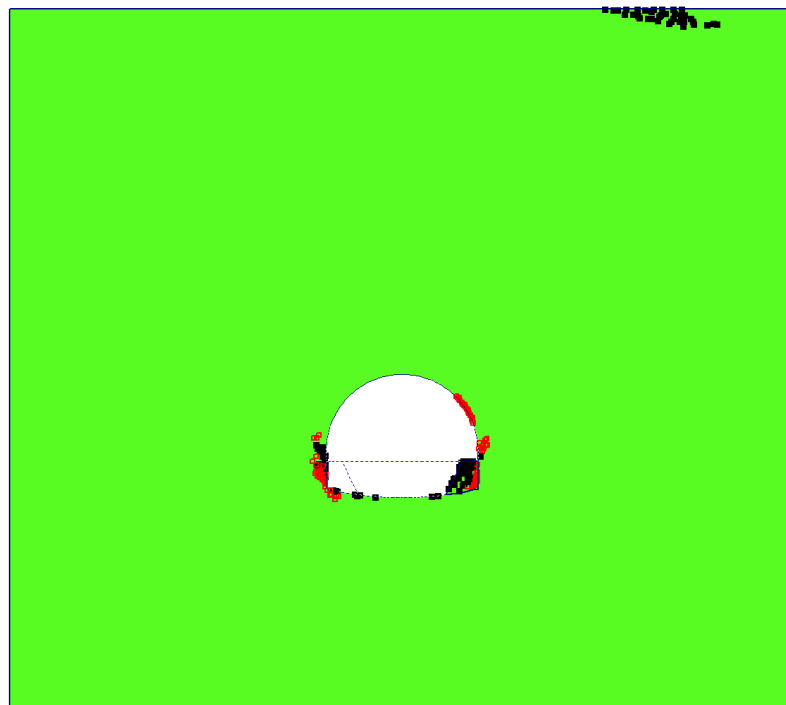


Fig. 19 Plot of plastic points
- Step no: 27 - (Phase: 4)

9.3 Structures

9.3.1 Beams

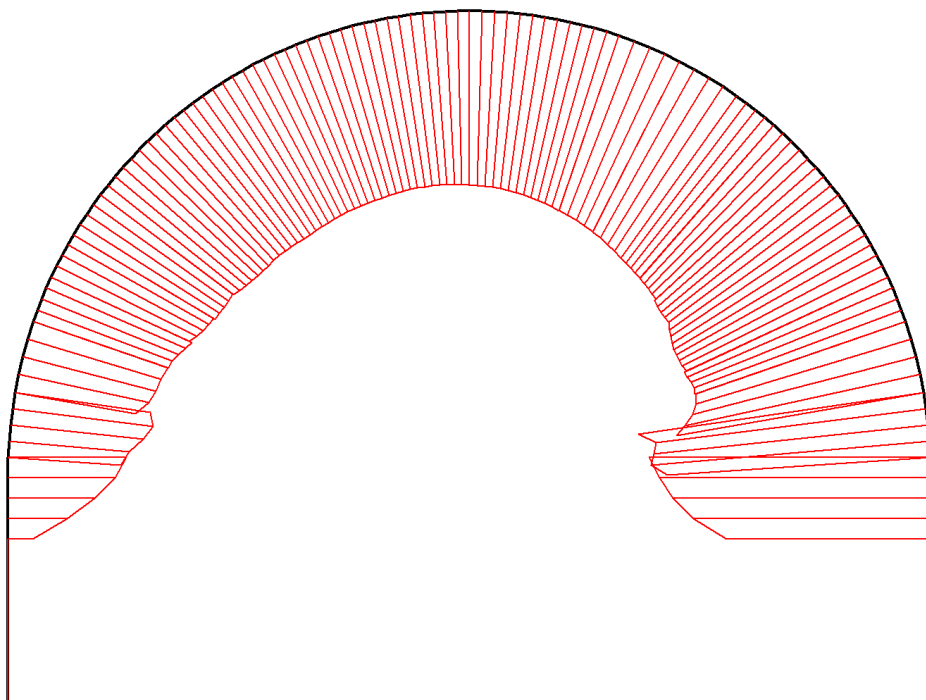


Fig. 20 Axial forces in beam
Extreme value -221,07 kN/m (Phase: 4)

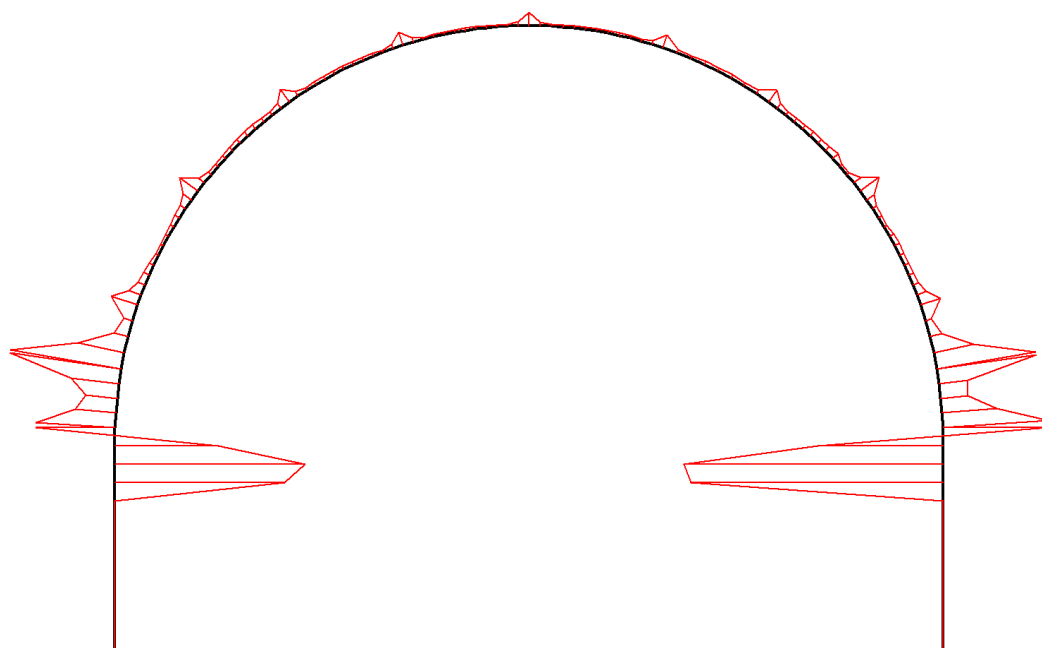


Fig. 21 Bending moments in beam
Extreme value 2,59 kNm/m (Phase: 4)

10. Results for phase 5

10.1 Deformations

10.1.1 Plot of total displacements

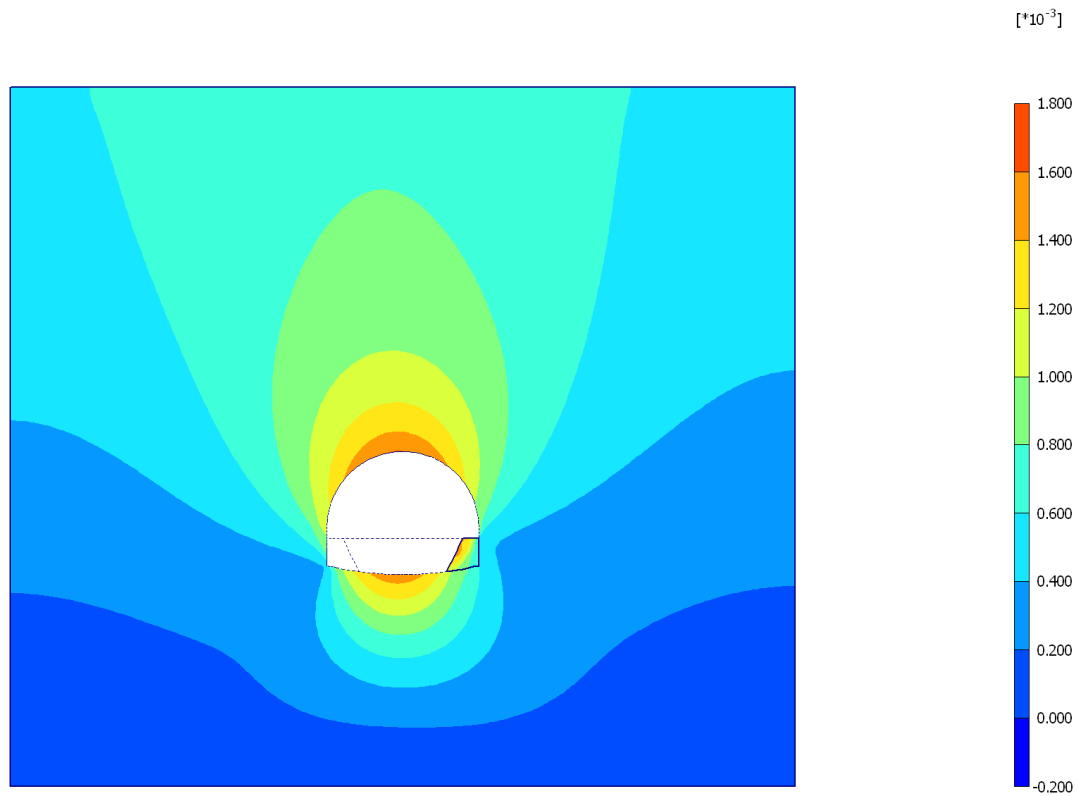


Fig. 22 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 32 - (Phase: 5)

10.2 Stresses

10.2.1 Plot of total stresses

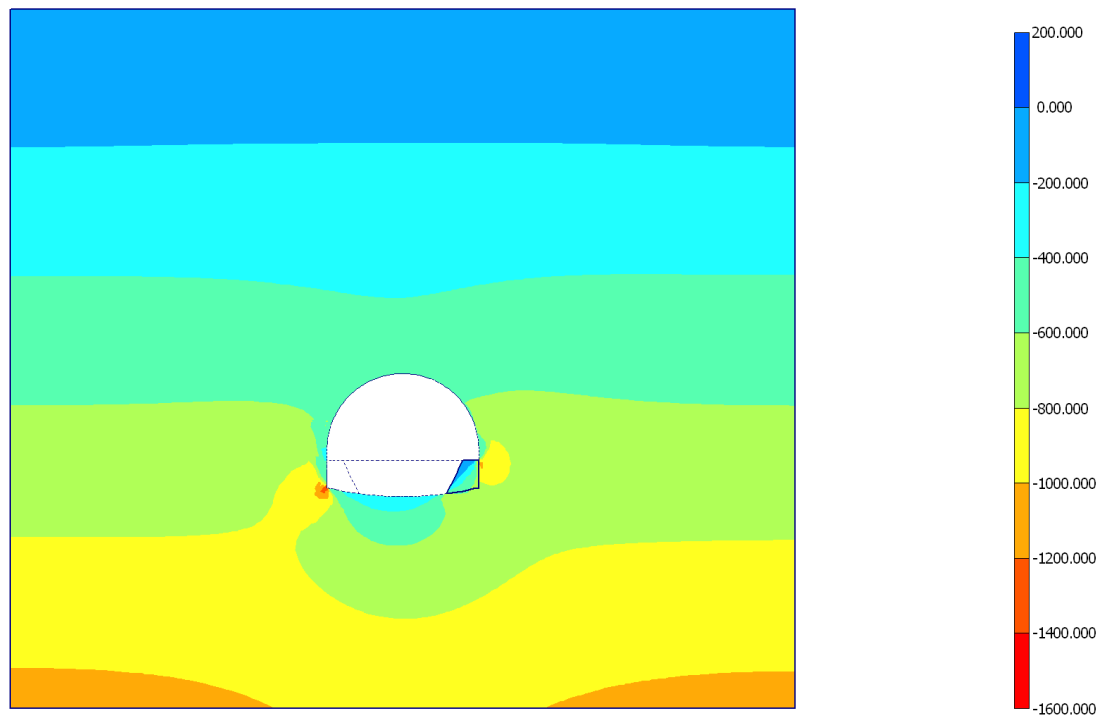


Fig. 23 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 32 - (Phase: 5)

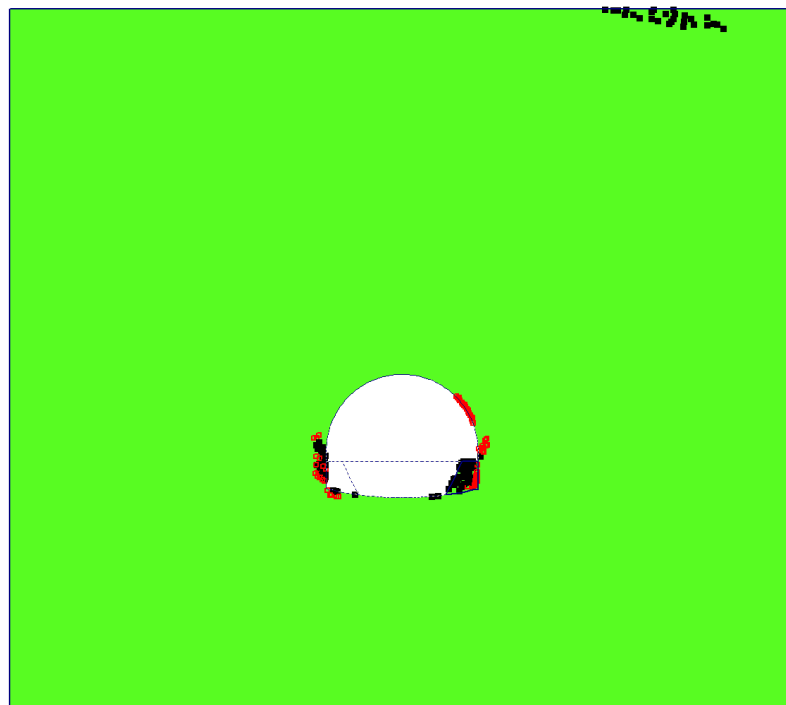


Fig. 24 Plot of plastic points
- Step no: 32 - (Phase: 5)

10.3 Structures

10.3.1 Beams

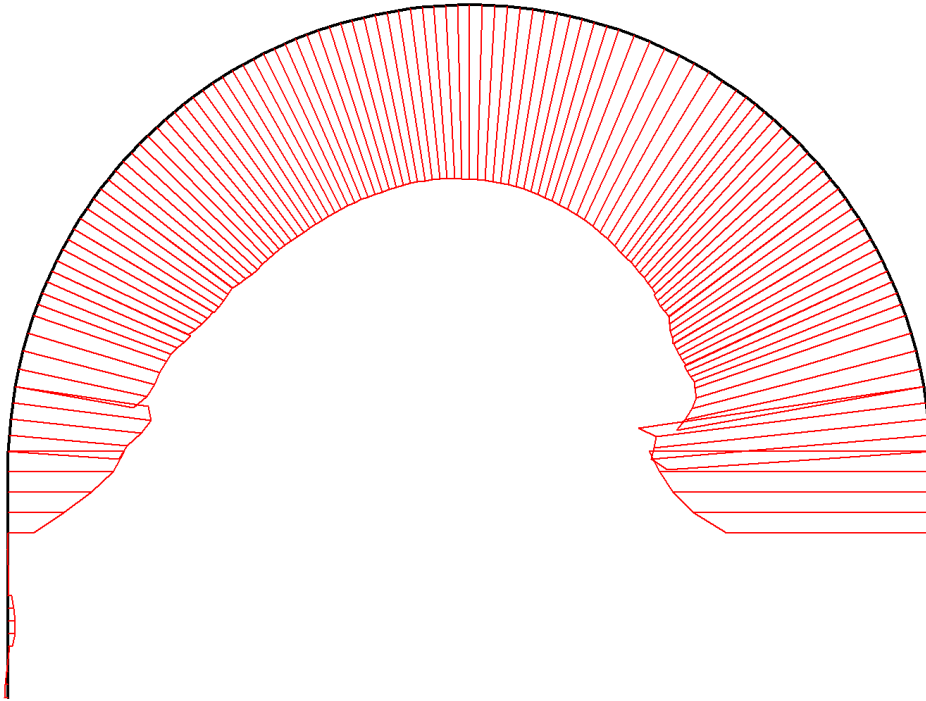


Fig. 25 Axial forces in beam
Extreme value -221,26 kN/m (Phase: 5)

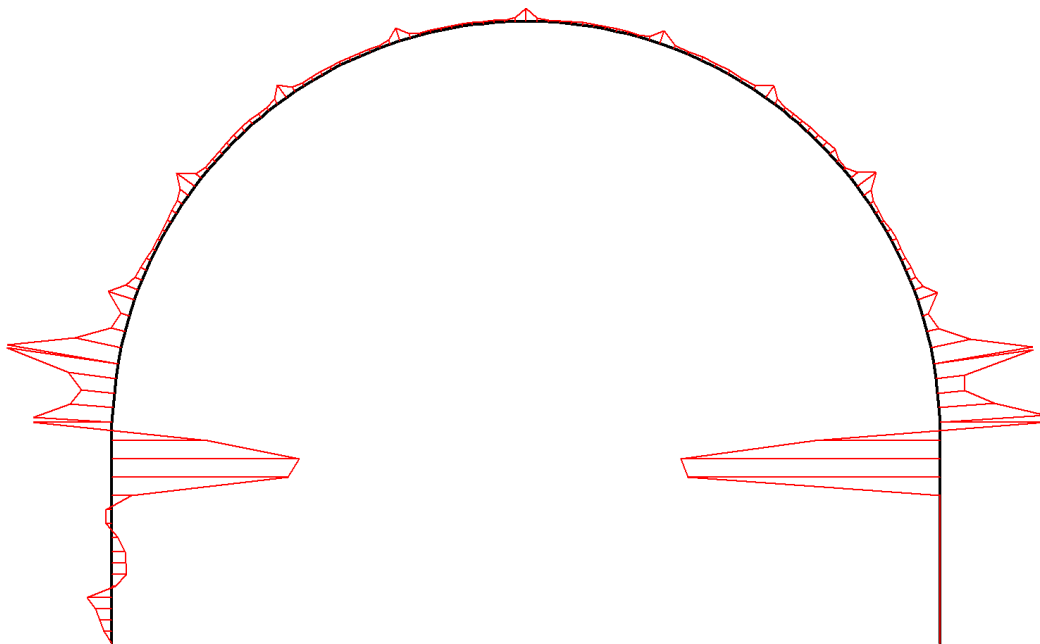


Fig. 26 Bending moments in beam
Extreme value 2,59 kNm/m (Phase: 5)

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	3031	-8,617	0,789	0,316	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2741	-4,799	1,992						
2	3759	-8,800	3,382	11,101	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3429	-4,799	3,492						
3	5249	-8,350	6,112	5,987	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3965	-4,536	4,911						
4	5625	-7,090	8,552	5,071	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5301	-3,837	6,226						
5	6941	-5,150	10,482	4,759	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6281	-2,777	7,257						
6	8295	-2,710	11,712	4,667	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	6517	-1,460	7,914						
7	9383	2,710	11,712	4,591	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7749	1,551	7,884						
8	9957	5,150	10,482	4,581	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	8387	2,777	7,257						
9	9935	7,090	8,552	4,643	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	8403	3,837	6,226						
10	9859	8,350	6,112	5,015	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	8013	4,536	4,911						
11	9601	8,800	3,382	8,054	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	7575	4,799	3,492						
12	9431	8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7601	4,799	1,982						
13	9187	0,000	12,142	4,636	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7221	0,000	8,142						

11. Results for phase 6

11.1 Deformations

11.1.1 Plot of total displacements

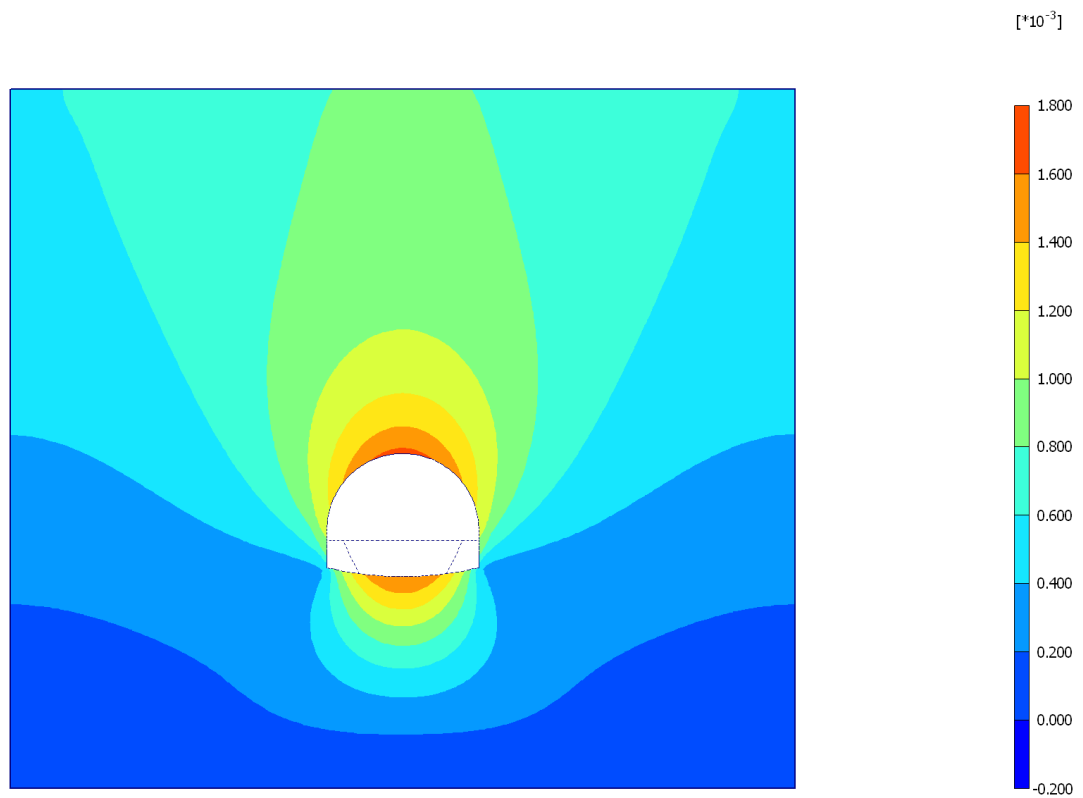


Fig. 27 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 36 - (Phase: 6)

11.2 Stresses

11.2.1 Plot of total stresses

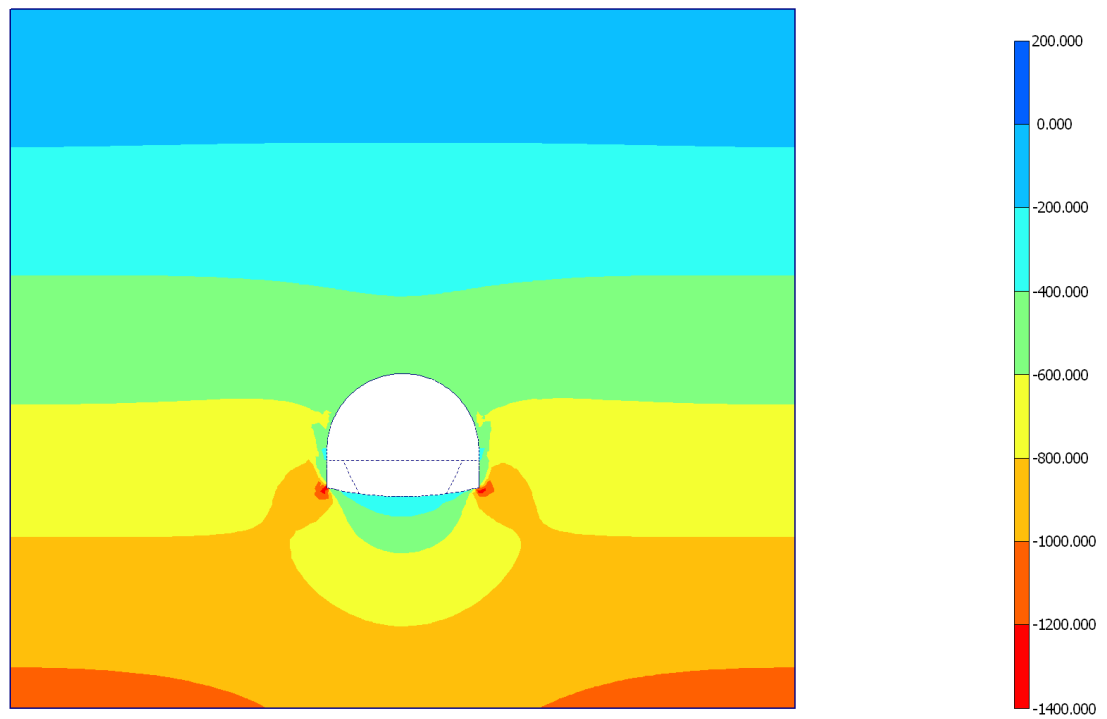


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 36 - (Phase: 6)

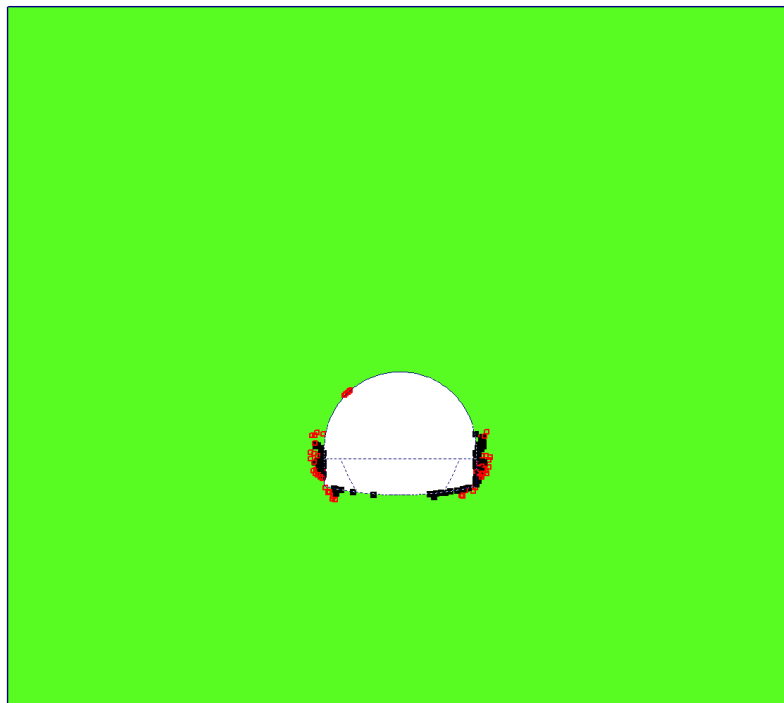


Fig. 29 Plot of plastic points
- Step no: 36 - (Phase: 6)

11.3 Structures

11.3.1 Beams

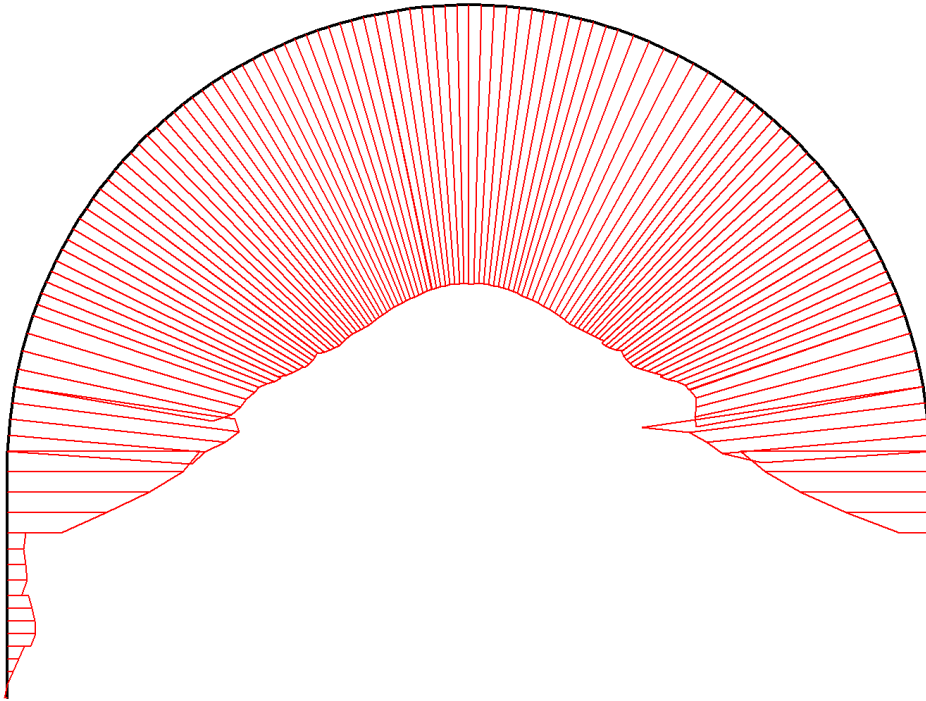


Fig. 30 Axial forces in beam
Extreme value -148,14 kN/m (Phase: 6)

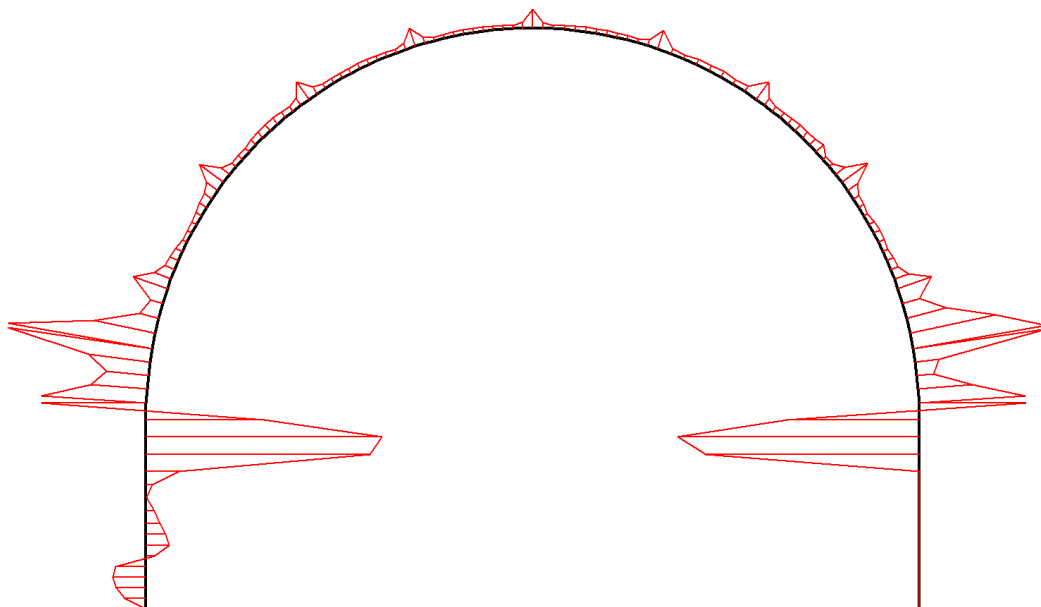


Fig. 31 Bending moments in beam
Extreme value 1,88 kNm/m (Phase: 6)

12.Results for phase 7

12.1 Deformations

12.1.1 Plot of total displacements

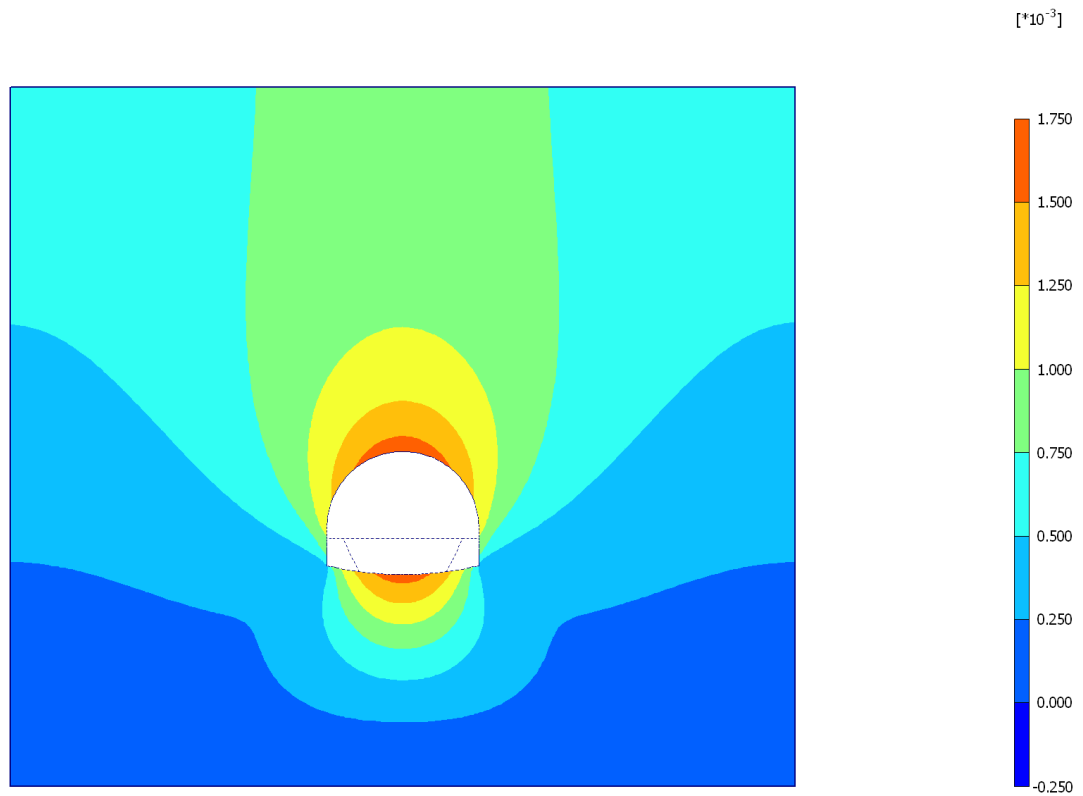


Fig. 32 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 39 - (Phase: 7)

12.2 Stresses

12.2.1 Plot of total stresses

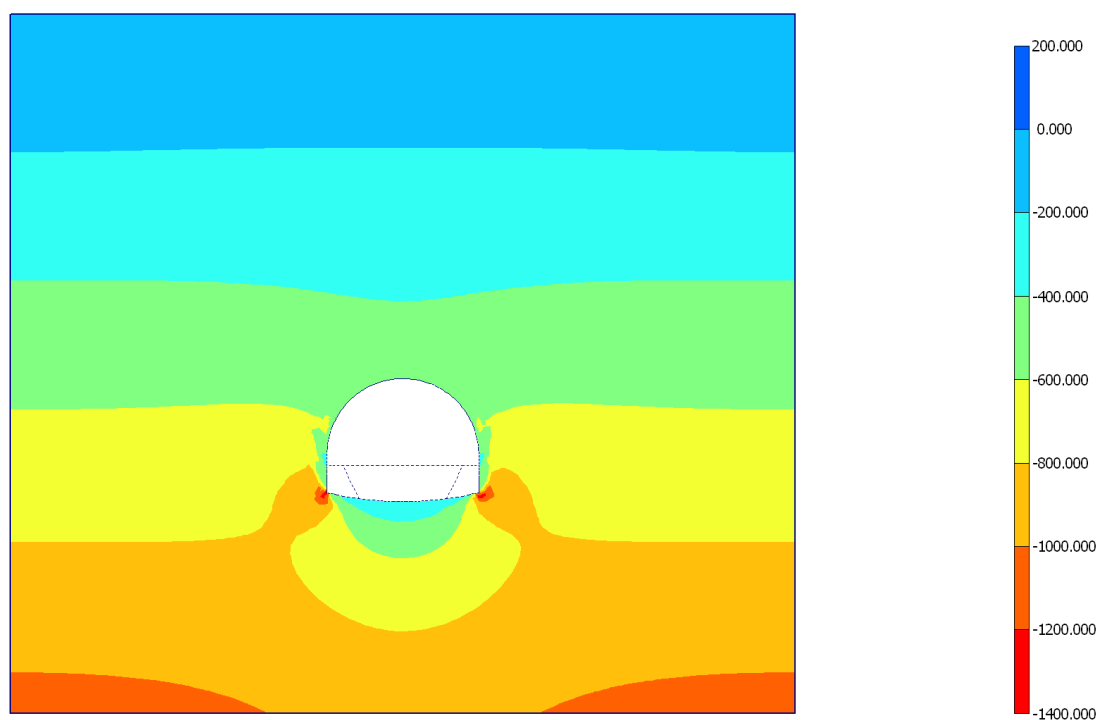


Fig. 33 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 39 - (Phase: 7)

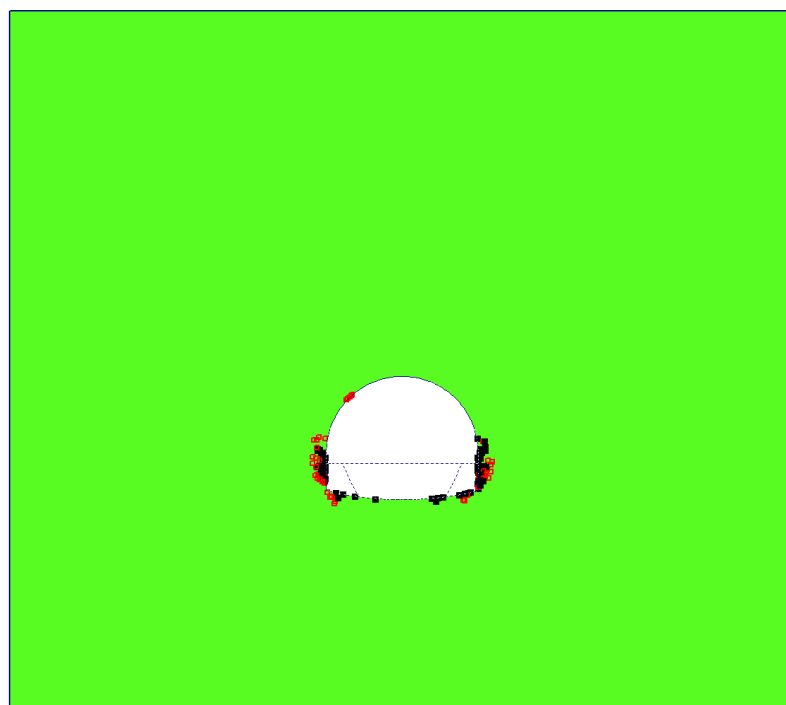


Fig. 34 Plot of plastic points
- Step no: 39 - (Phase: 7)

12.3 Structures

12.3.1 Beams

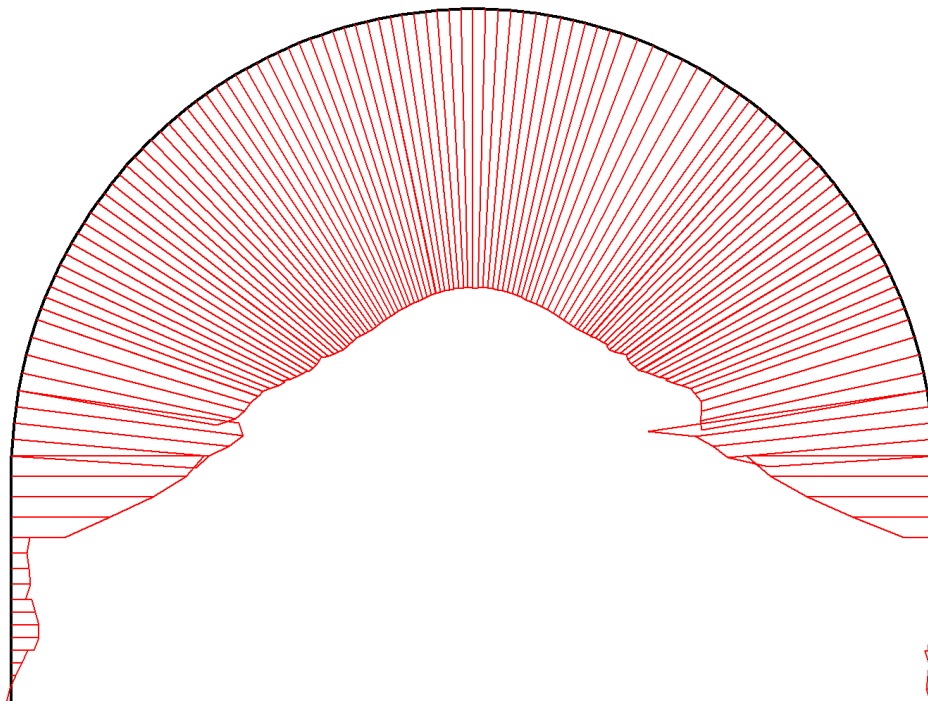


Fig. 35 Axial forces in beam
Extreme value -148,24 kN/m (Phase: 7)

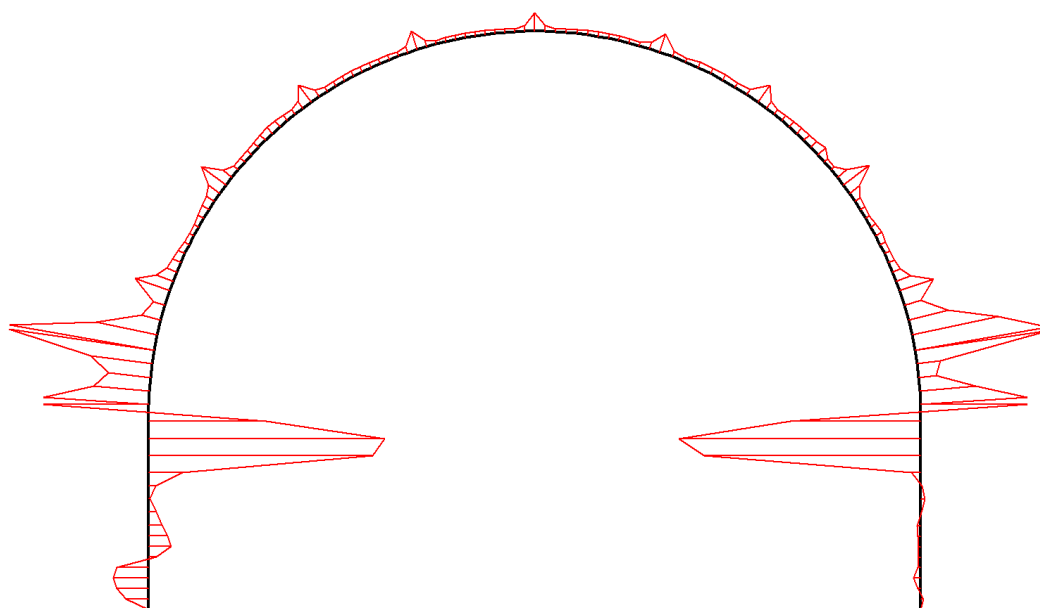


Fig. 36 Bending moments in beam
Extreme value 1,87 kNm/m (Phase: 7)

Table [14] Anchors phase no: 7

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	3031	-8,617	0,789	0,562	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2741	-4,799	1,992						
2	3759	-8,800	3,382	11,151	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3429	-4,799	3,492						
3	5249	-8,350	6,112	6,016	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3965	-4,536	4,911						
4	5625	-7,090	8,552	5,101	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5301	-3,837	6,226						
5	6941	-5,150	10,482	4,794	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6281	-2,777	7,257						
6	8295	-2,710	11,712	4,708	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	6517	-1,460	7,914						
7	9383	2,710	11,712	4,719	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7749	1,551	7,884						
8	9957	5,150	10,482	4,805	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	8387	2,777	7,257						
9	9935	7,090	8,552	5,125	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	8403	3,837	6,226						
10	9859	8,350	6,112	6,026	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	8013	4,536	4,911						
11	9601	8,800	3,382	11,464	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	7575	4,799	3,492						
12	9431	8,617	0,789	0,093	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7601	4,799	1,982						
13	9187	0,000	12,142	4,690	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7221	0,000	8,142						

REPORT

07/15/2021

User: EPTISA

Title: ST-IV, CU-1 Limolitas. TRAMO SARRATU-APERRIBAI LINEA 5 FMB

1. General Information

Table [1] units

Type	Unit
Length	m
Force	kN
Time	day

Table [2] Model dimensions

	min.	max.
X	-24,800	24,800
Y	-13,000	31,142

Table [3] Model

Model	Plane Strain
Element	15-Noded

2. Structures

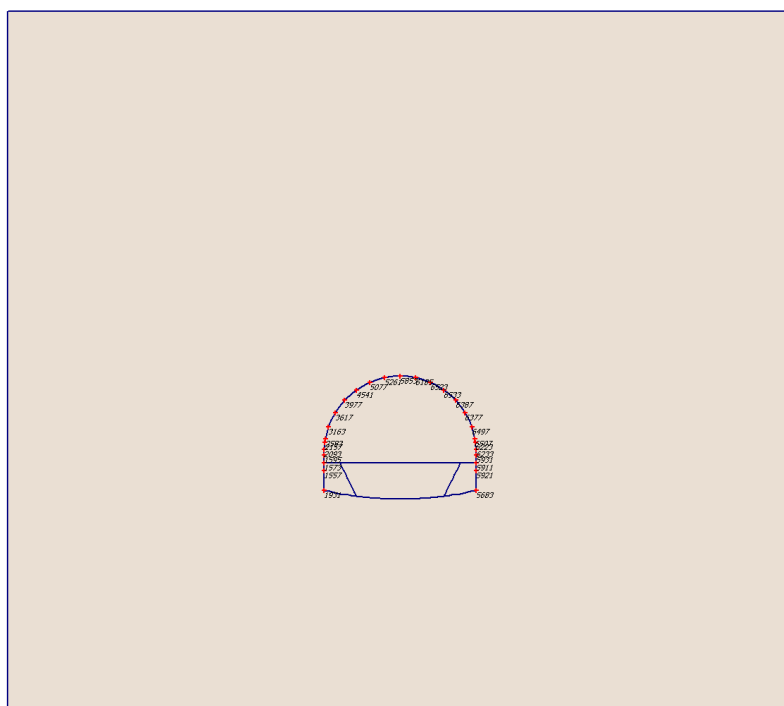


Fig. 1 Plot of geometry model with structures

3. Mesh data

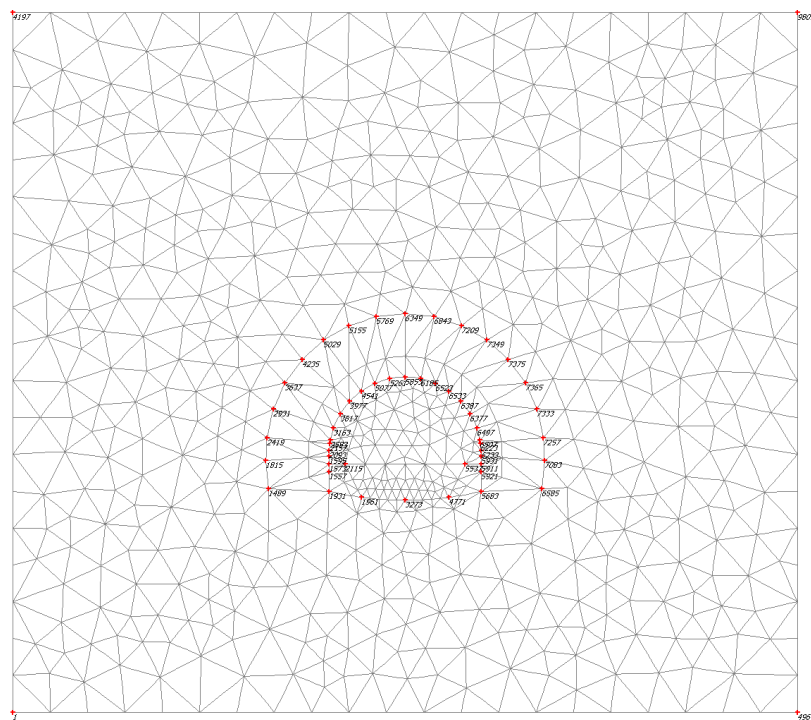


Fig. 2 Plot of the mesh with significant nodes

4. Material data

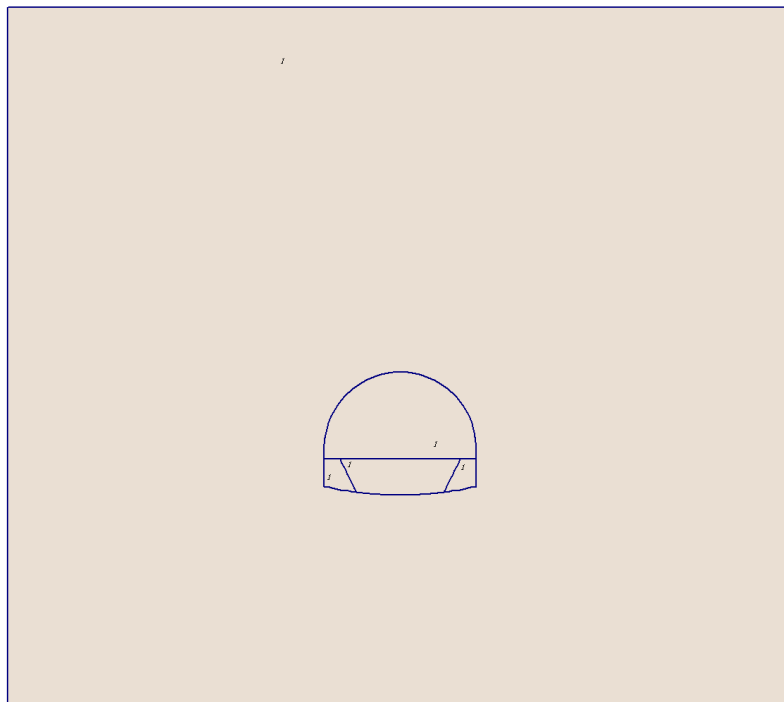


Fig. 3 Plot of geometry with material data sets

Table [4] Soil data sets parameters

Mohr-Coulomb		1
Type		Limolitas RMR_20
γ_{unsat}	[kN/m ³]	27,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	27,00
k_x	[m/day]	0,000
k_y	[m/day]	0,000
e_{init}	[-]	0,500
c_k	[-]	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	730000,000
ν	[-]	0,300
G_{ref}	[kN/m ²]	280769,231
E_{oed}	[kN/m ²]	982692,308
c_{ref}	[kN/m ²]	70,00
ϕ	[°]	36,00
ψ	[°]	0,00
E_{inc}	[kN/m ² /m]	0,00
y_{ref}	[m]	0,000
$c_{incement}$	[kN/m ² /m]	0,00
$T_{str.}$	[kN/m ²]	0,00
$R_{inter.}$	[-]	1,00
Interface permeability		Neutral

Table [5] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA	EI	w	ν	Mp	Np
		[kN/m]	[kNm ² /m]	[kN/m/m]	[-]	[kNm/m]	[kN/m]
1	ST_IV Gunita 0,18 + Cercha TH_21	3,18E6	7760,00	4,70	0,20	1E15	1E15

no.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]	v [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
2	ST_V Gunita 0,30 + Cercha HEB_180	5,72E6	40700,00	7,99	0,20	1E15	1E15

Table [6] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L spacing [m]
1	Bulon f25	103000,00	184,000	184,000	1,00

5. Calculation phases

Table [7] List of phases

Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step
Initial phase	0	0		-	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic analysis	Staged construction	1	3
<Phase 2>	2	1	Plastic analysis	Staged construction	4	16
<Phase 3>	3	2	Plastic analysis	Staged construction	17	46
<Phase 4>	4	3	Plastic analysis	Staged construction	47	56
<Phase 5>	5	4	Plastic analysis	Staged construction	57	58
<Phase 6>	6	5	Plastic analysis	Staged construction	59	66
<Phase 7>	7	6	Plastic analysis	Staged construction	67	69

6. Results for phase 1

6.1 Deformations

6.1.1 Plot of total displacements

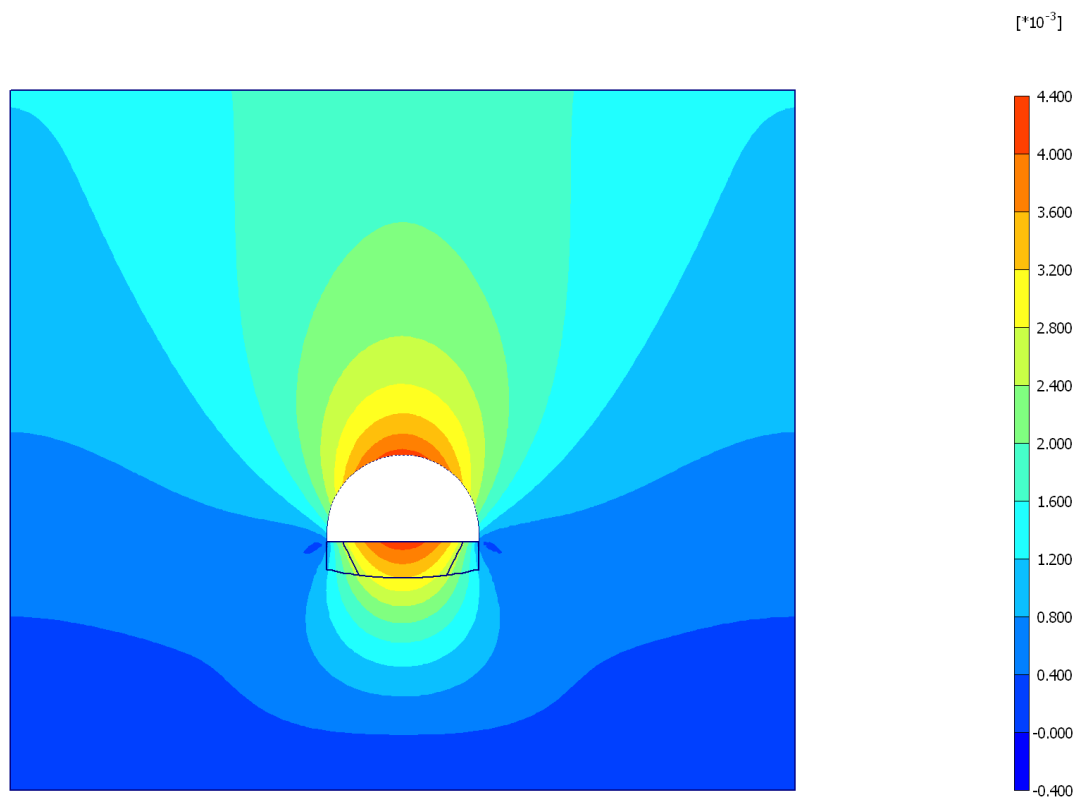


Fig. 4 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 3 - (Phase: 1)

6.2 Stresses

6.2.1 Plot of total stresses

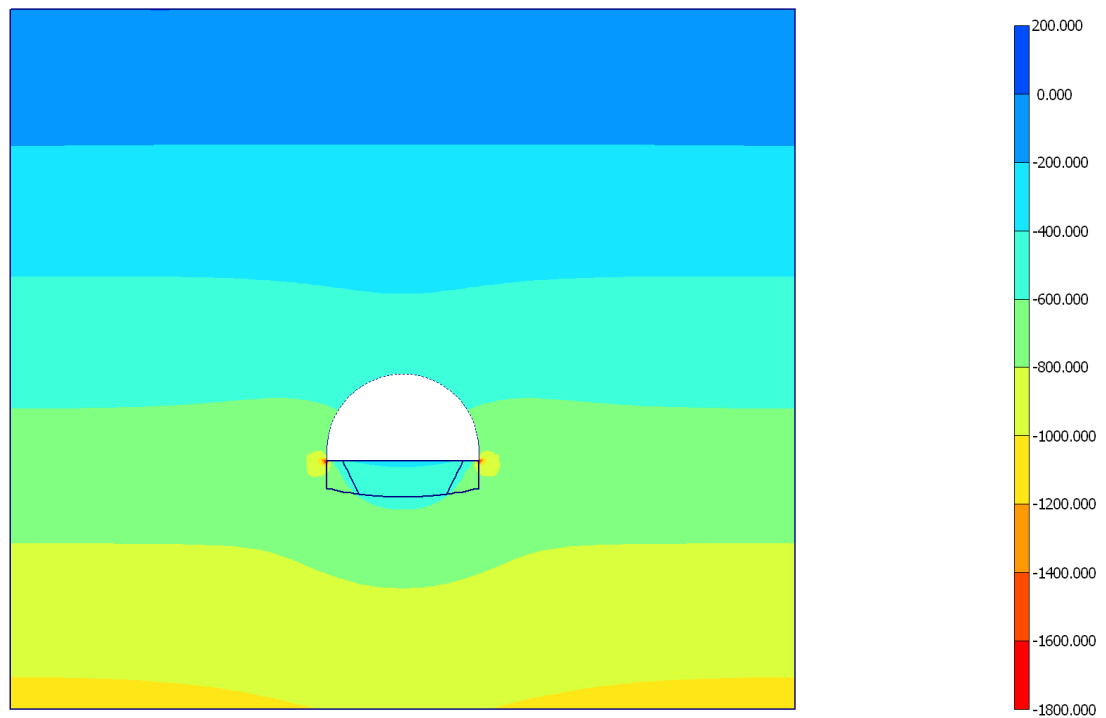


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 3 - (Phase: 1)

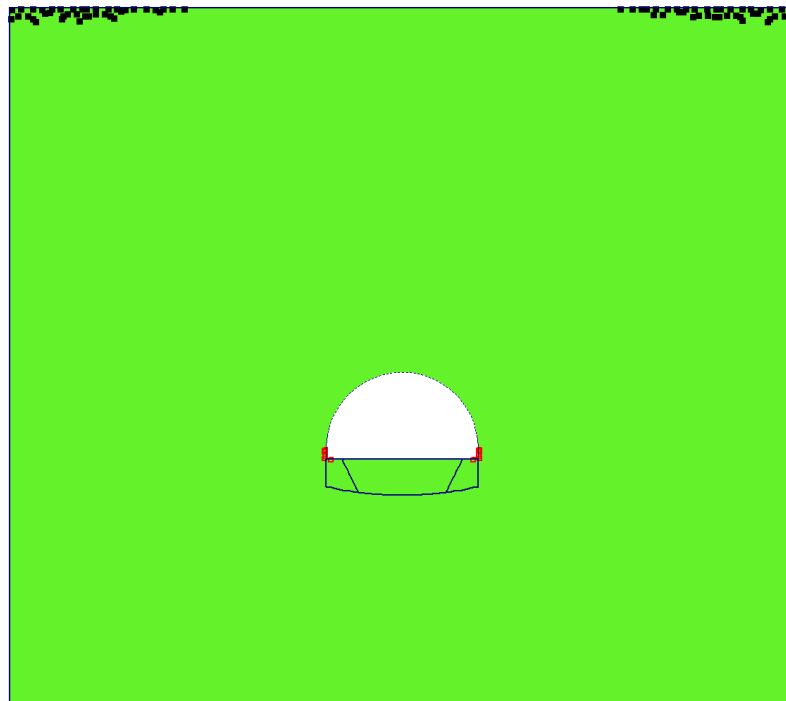


Fig. 6 Plot of plastic points
- Step no: 3 - (Phase: 1)

6.3.1 Anchors

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1489	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1557	-4,799	2,155						
2	1815	-8,800	2,882	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1595	-4,799	3,155						
3	2419	-8,740	4,322	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2157	-4,758	3,939						
4	2931	-8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3163	-4,536	4,911						
5	3637	-7,600	7,782	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3617	-4,116	5,811						
6	4235	-6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3977	-3,519	6,606						
7	5029	-5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4541	-2,777	7,257						
8	5769	-1,820	11,952	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5261	-0,980	8,041						
9	6843	1,820	11,952	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6185	0,980	8,041						
10	7209	3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6523	1,917	7,742						
11	7349	5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6533	2,777	7,257						
12	7375	6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6387	3,519	6,606						
13	6497	4,536	4,911	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7333	8,350	6,112						
14	7365	7,600	7,782	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6377	4,116	5,811						
15	6223	4,758	3,939	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7257	8,740	4,322						
16	7083	8,800	2,882	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5931	4,799	3,155						
17	6585	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5921	4,799	2,155						
18	5155	-3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	5077	-1,917	7,742						
19	6349	0,000	12,142	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5853	0,000	8,142						

7. Results for phase 2

7.1 Deformations

7.1.1 Plot of total displacements

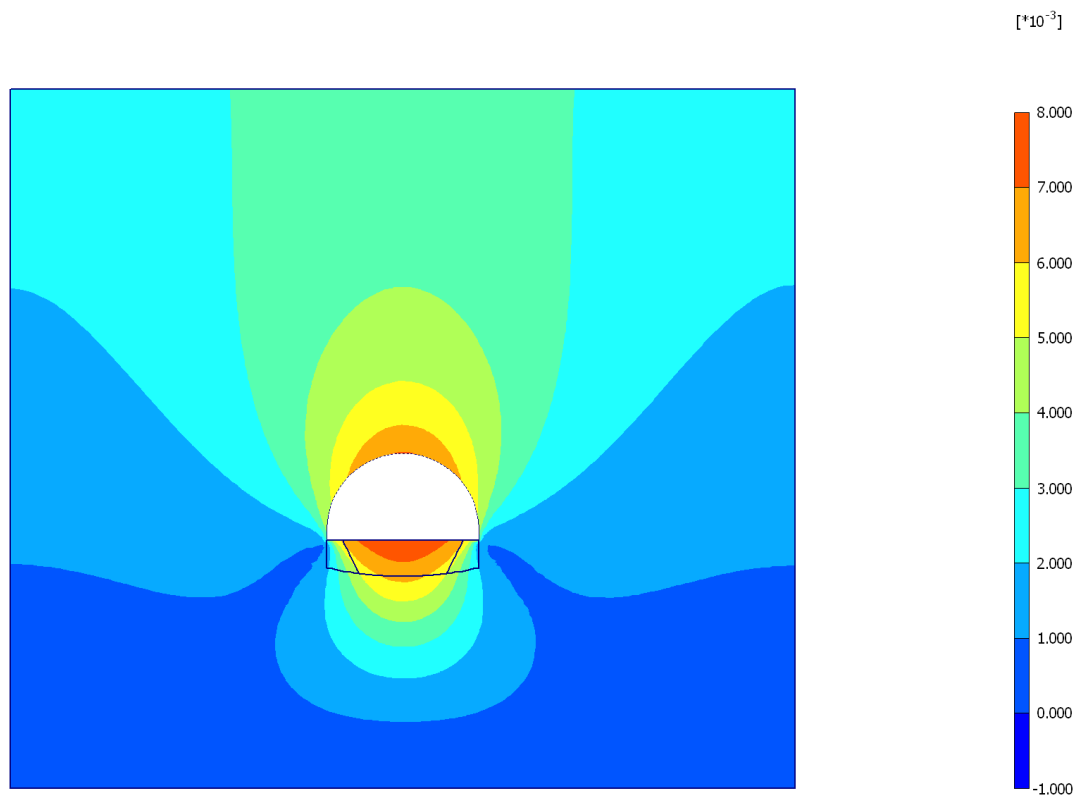


Fig. 7 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 16 - (Phase: 2)

7.2 Stresses

7.2.1 Plot of total stresses

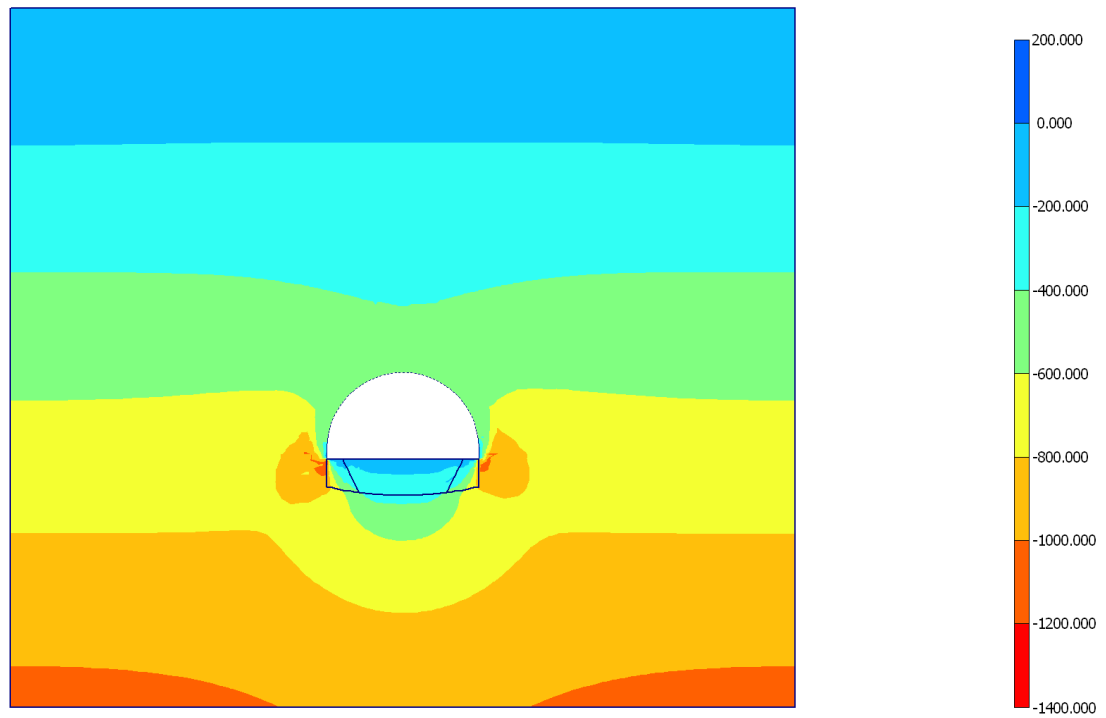


Fig. 8 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 16 - (Phase: 2)

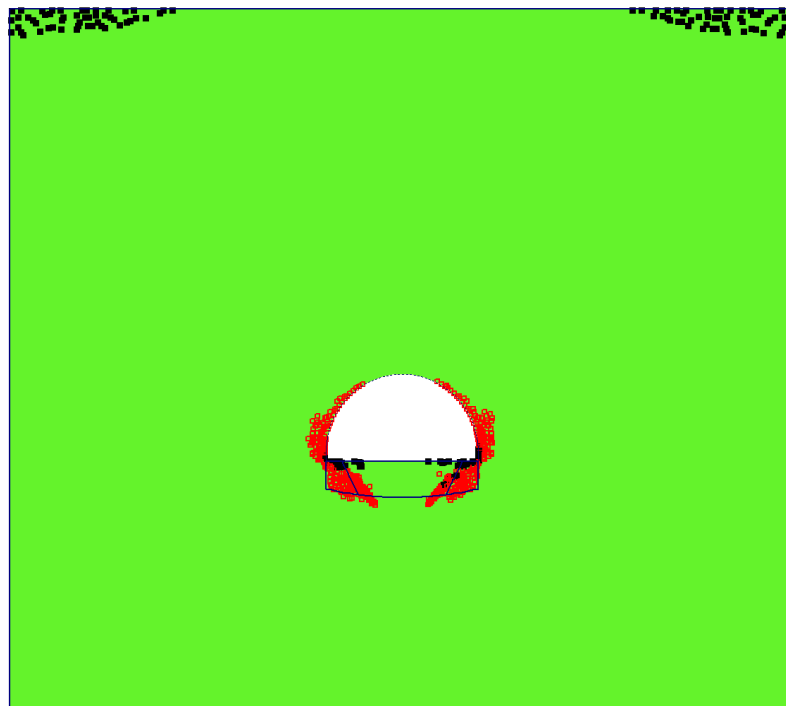


Fig. 9 Plot of plastic points
- Step no: 16 - (Phase: 2)

7.3 Structures

7.3.1 Beams

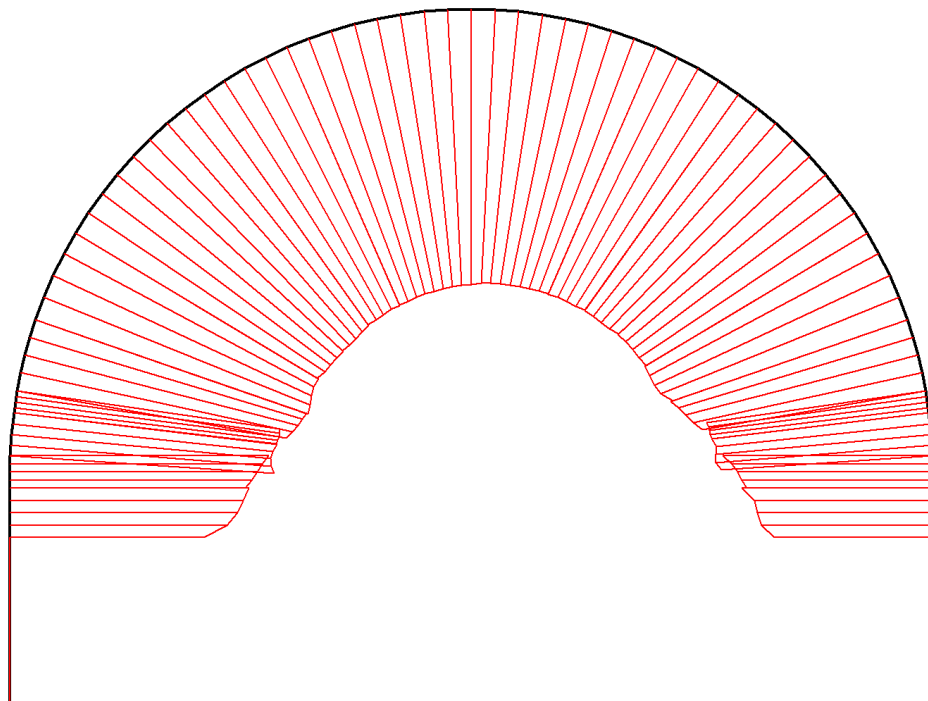


Fig. 10 Axial forces in beam
Extreme value -608,65 kN/m (Phase: 2)

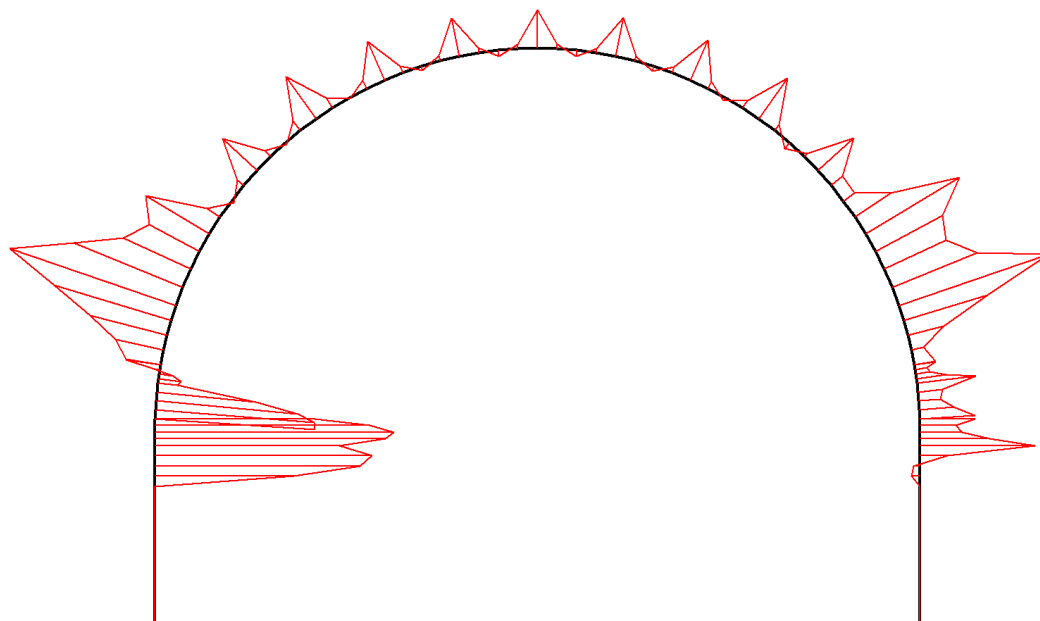


Fig. 11 Bending moments in beam
Extreme value 8,38 kNm/m (Phase: 2)

7.3.2 Anchors

Table [9] Anchors phase no: 2

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1489	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1557	-4,799	2,155						
2	1815	-8,800	2,882	41,866	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1595	-4,799	3,155						
3	2419	-8,740	4,322	36,816	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2157	-4,758	3,939						
4	2931	-8,350	6,112	22,658	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3163	-4,536	4,911						
5	3637	-7,600	7,782	17,488	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3617	-4,116	5,811						
6	4235	-6,510	9,262	16,368	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3977	-3,519	6,606						
7	5029	-5,150	10,482	15,600	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4541	-2,777	7,257						
8	5769	-1,820	11,952	15,340	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5261	-0,980	8,041						
9	6843	1,820	11,952	15,601	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6185	0,980	8,041						
10	7209	3,560	11,392	15,884	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6523	1,917	7,742						
11	7349	5,150	10,482	16,469	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6533	2,777	7,257						
12	7375	6,510	9,262	17,491	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6387	3,519	6,606						
13	6497	4,536	4,911	27,659	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7333	8,350	6,112						
14	7365	7,600	7,782	19,661	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6377	4,116	5,811						
15	6223	4,758	3,939	40,922	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7257	8,740	4,322						
16	7083	8,800	2,882	49,551	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5931	4,799	3,155						
17	6585	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5921	4,799	2,155						
18	5155	-3,560	11,392	15,362	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	5077	-1,917	7,742						
19	6349	0,000	12,142	15,423	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5853	0,000	8,142						

8. Results for phase 3

8.1 Deformations

8.1.1 Plot of total displacements

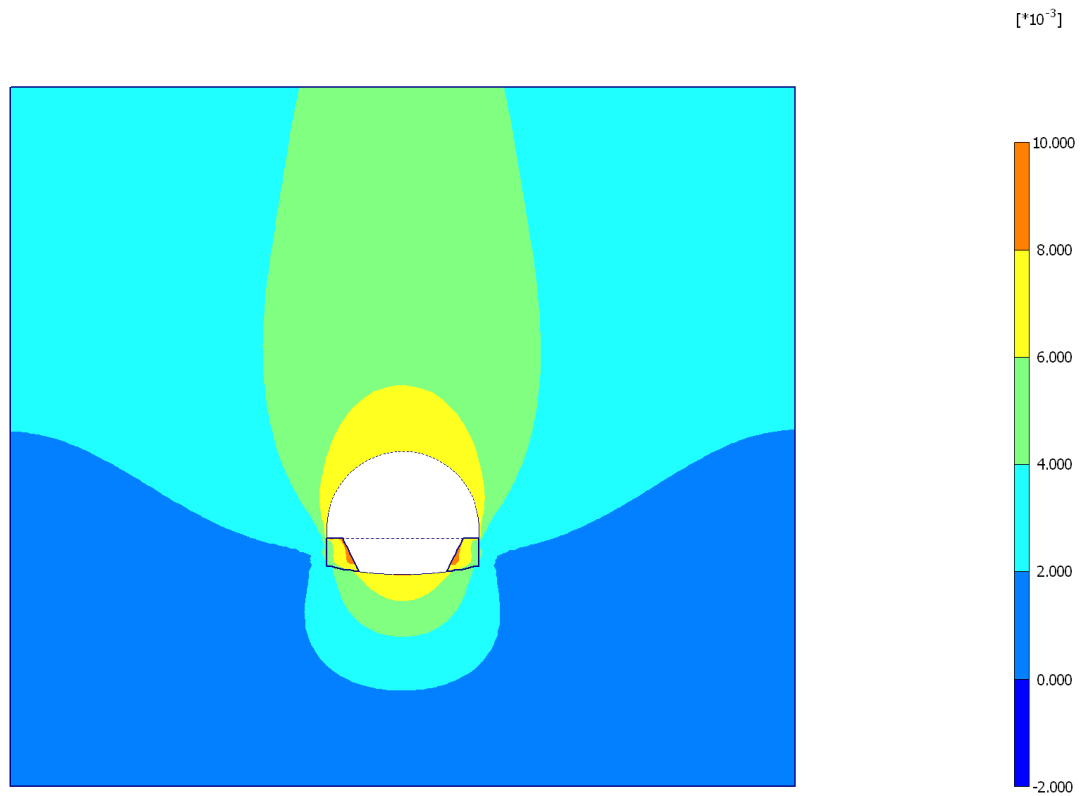


Fig. 12 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 46 - (Phase: 3)

8.2 Stresses

8.2.1 Plot of total stresses

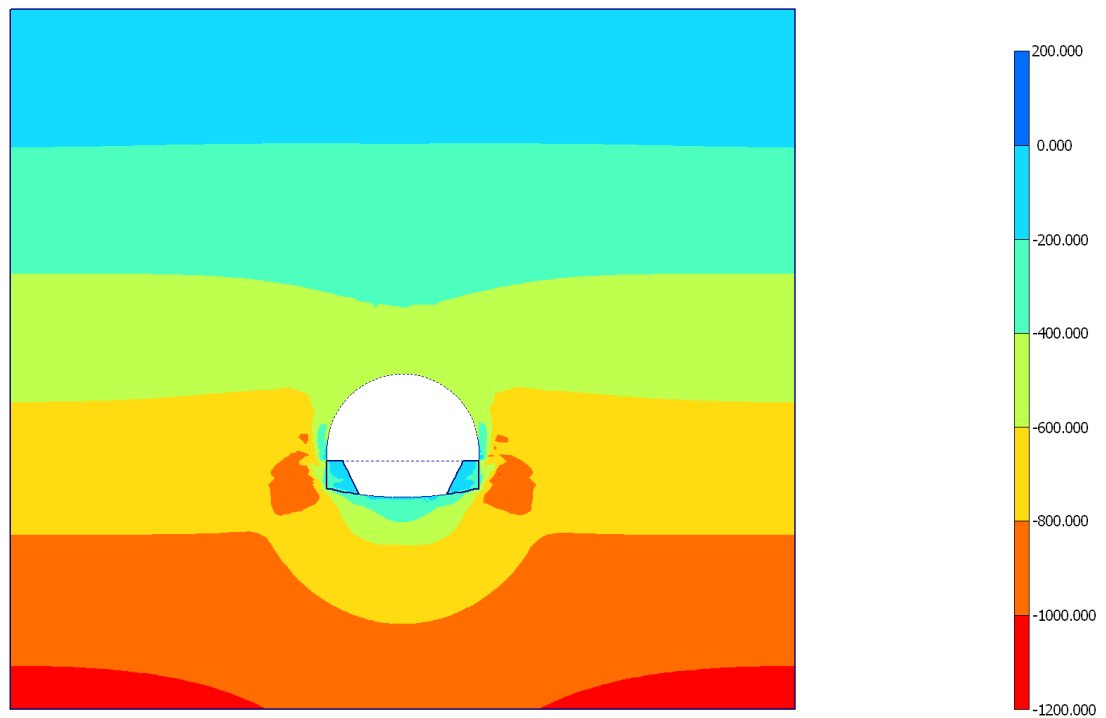


Fig. 13 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 46 - (Phase: 3)

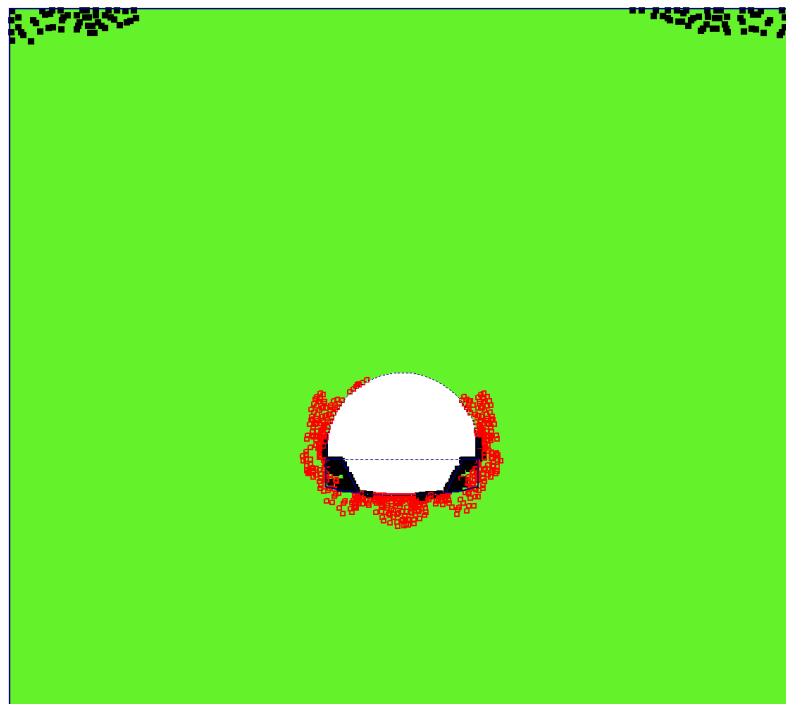


Fig. 14 Plot of plastic points
- Step no: 46 - (Phase: 3)

8.3 Structures

8.3.1 Beams

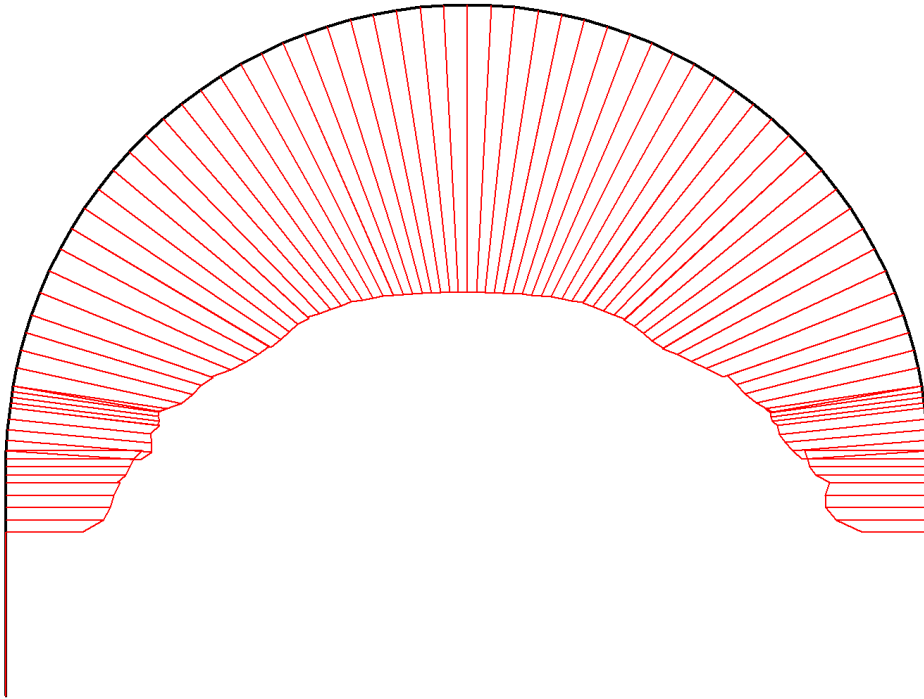


Fig. 15 Axial forces in beam
Extreme value -621,77 kN/m (Phase: 3)

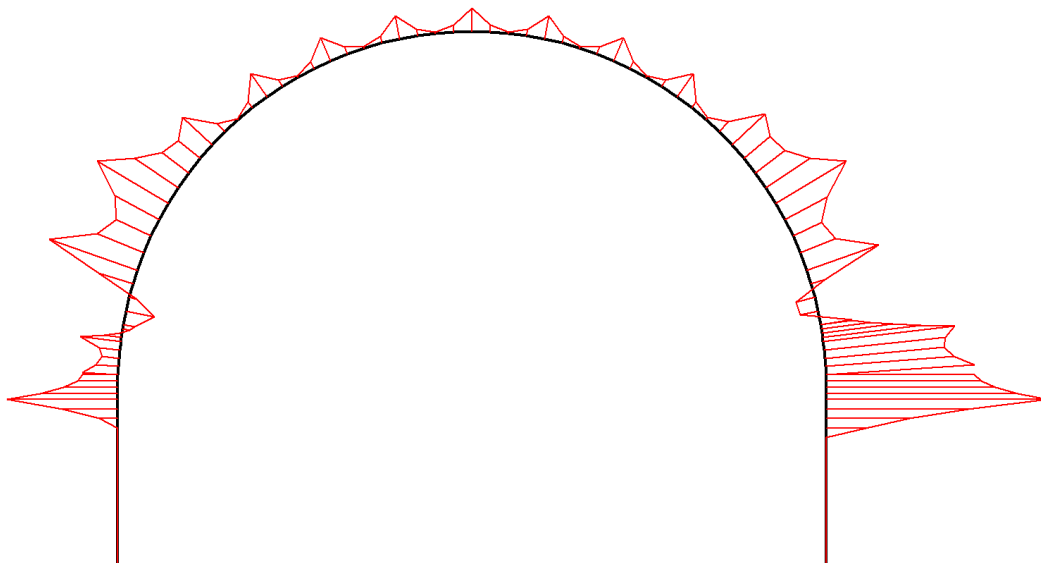


Fig. 16 Bending moments in beam
Extreme value -17,20 kNm/m (Phase: 3)

8.3.2 Anchors

Table [10] Anchors phase no: 3

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	1489	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1557	-4,799	2,155						
2	1815	-8,800	2,882	74,062	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1595	-4,799	3,155						
3	2419	-8,740	4,322	61,846	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2157	-4,758	3,939						
4	2931	-8,350	6,112	43,368	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3163	-4,536	4,911						
5	3637	-7,600	7,782	27,610	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3617	-4,116	5,811						
6	4235	-6,510	9,262	20,913	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3977	-3,519	6,606						
7	5029	-5,150	10,482	18,699	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4541	-2,777	7,257						
8	5769	-1,820	11,952	16,854	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5261	-0,980	8,041						
9	6843	1,820	11,952	16,875	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6185	0,980	8,041						
10	7209	3,560	11,392	17,525	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6523	1,917	7,742						
11	7349	5,150	10,482	18,766	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6533	2,777	7,257						
12	7375	6,510	9,262	21,096	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6387	3,519	6,606						
13	6497	4,536	4,911	44,446	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7333	8,350	6,112						
14	7365	7,600	7,782	28,631	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6377	4,116	5,811						
15	6223	4,758	3,939	60,495	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7257	8,740	4,322						
16	7083	8,800	2,882	81,681	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5931	4,799	3,155						
17	6585	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5921	4,799	2,155						
18	5155	-3,560	11,392	17,500	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	5077	-1,917	7,742						
19	6349	0,000	12,142	16,650	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5853	0,000	8,142						

9. Results for phase 4

9.1 Deformations

9.1.1 Plot of total displacements

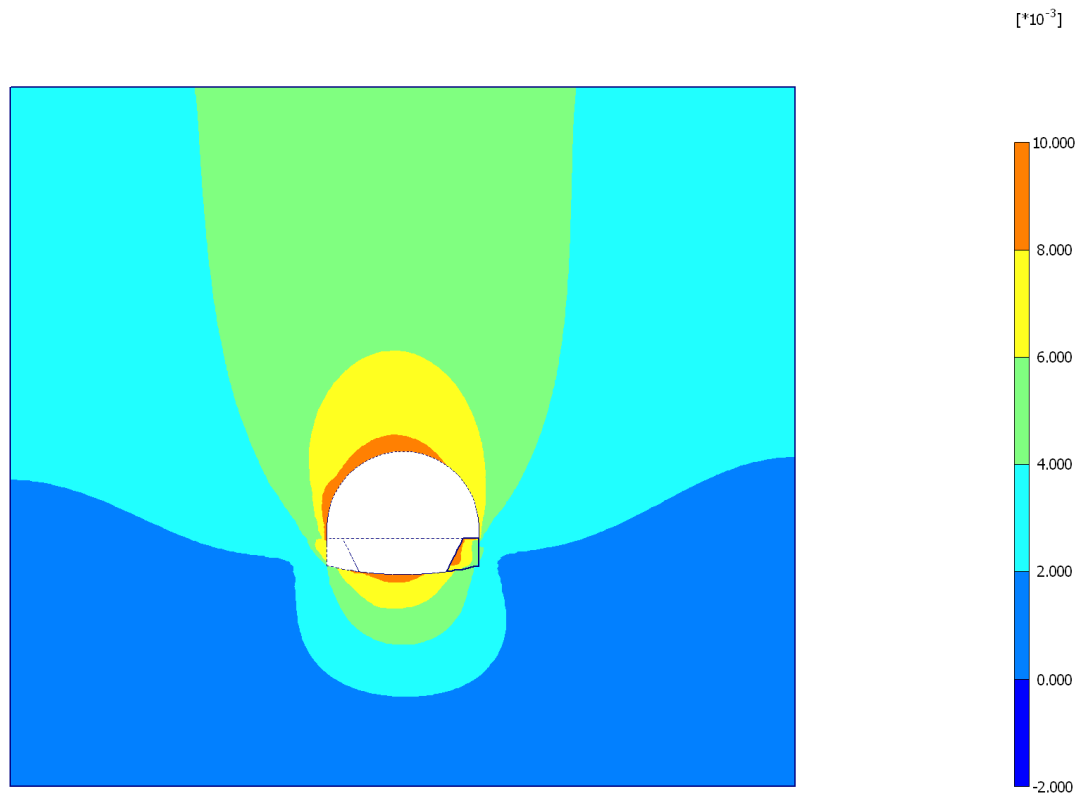


Fig. 17 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 56 - (Phase: 4)

9.2 Stresses

9.2.1 Plot of total stresses

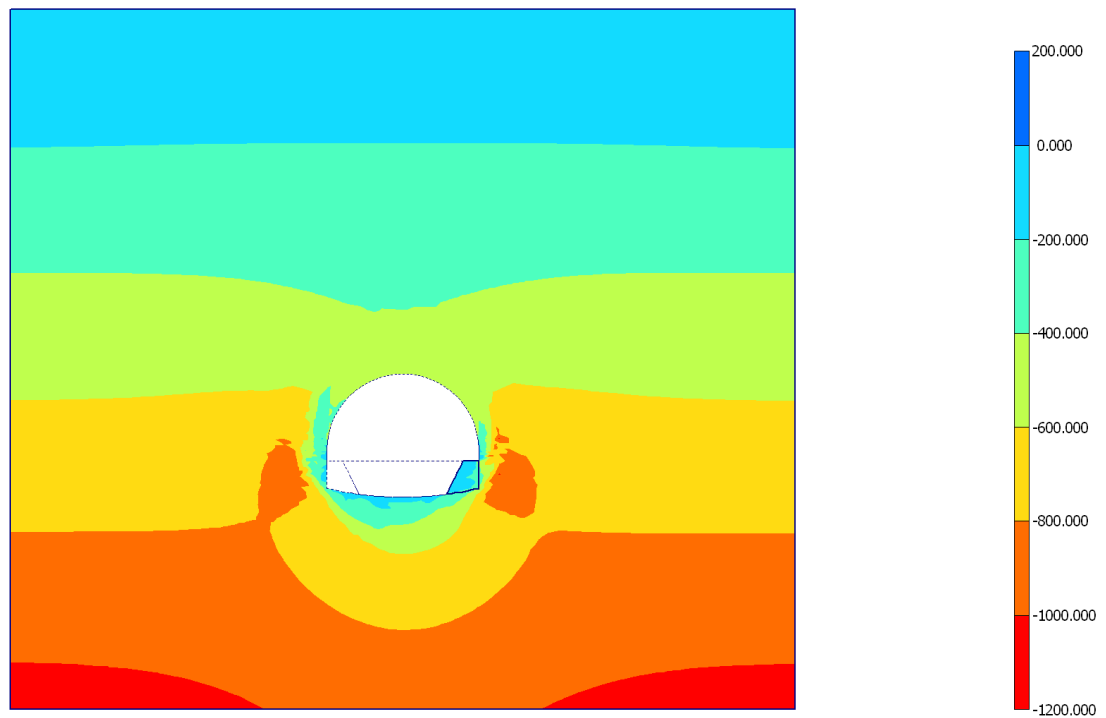


Fig. 18 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 56 - (Phase: 4)

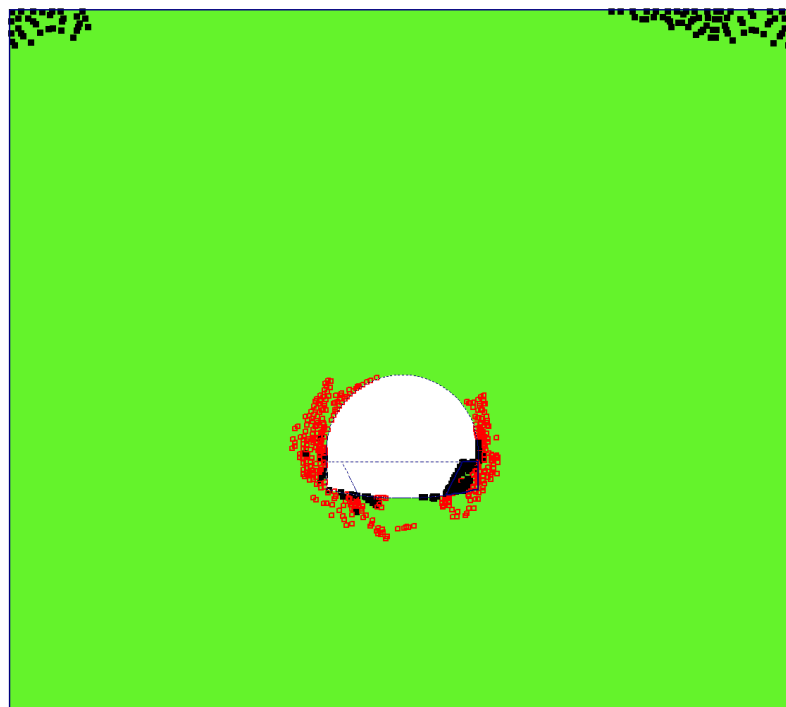


Fig. 19 Plot of plastic points
- Step no: 56 - (Phase: 4)

9.3 Structures

9.3.1 Beams

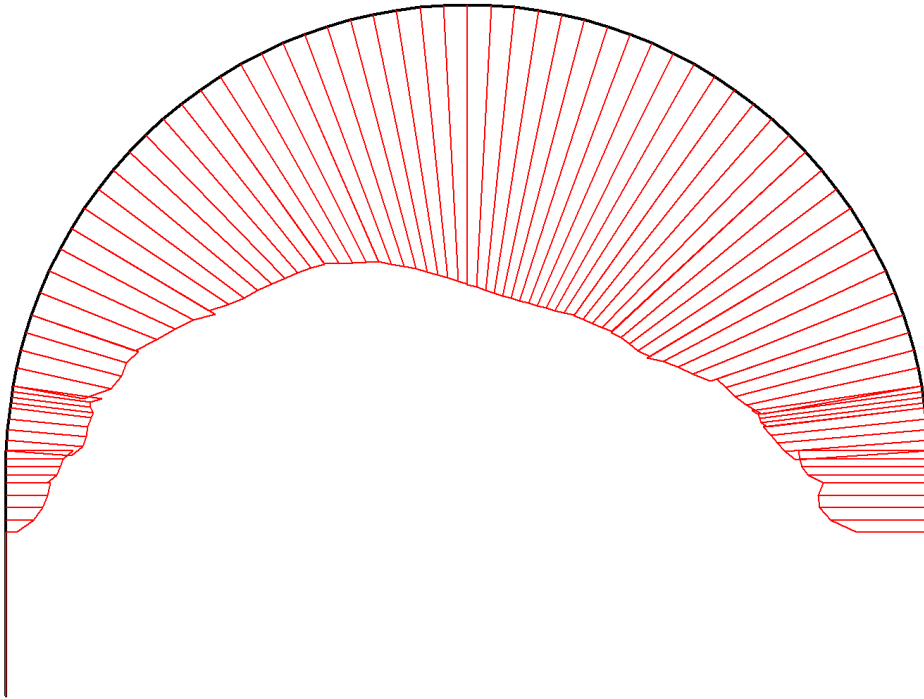


Fig. 20 Axial forces in beam
Extreme value -613,59 kN/m (Phase: 4)

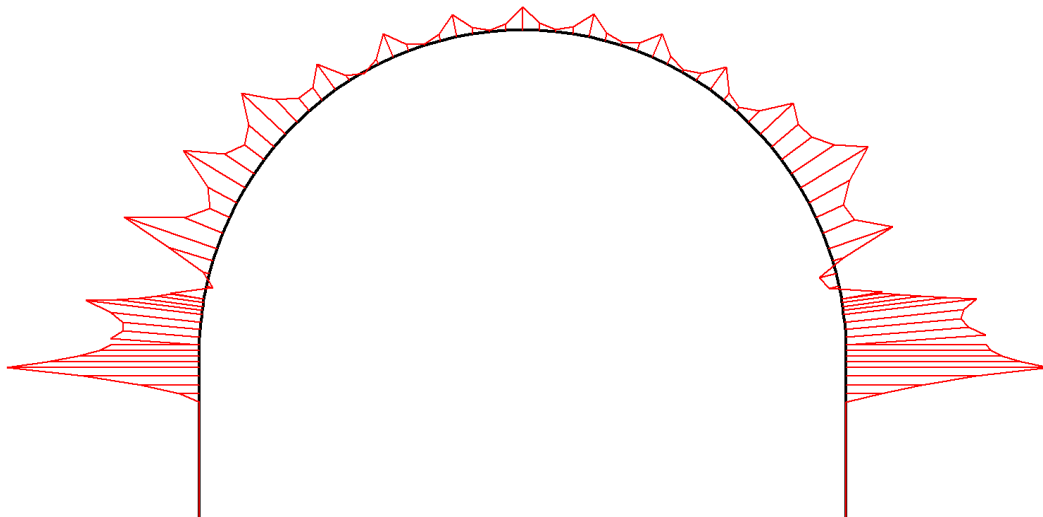


Fig. 21 Bending moments in beam
Extreme value -17,56 kNm/m (Phase: 4)

10. Results for phase 5

10.1 Deformations

10.1.1 Plot of total displacements

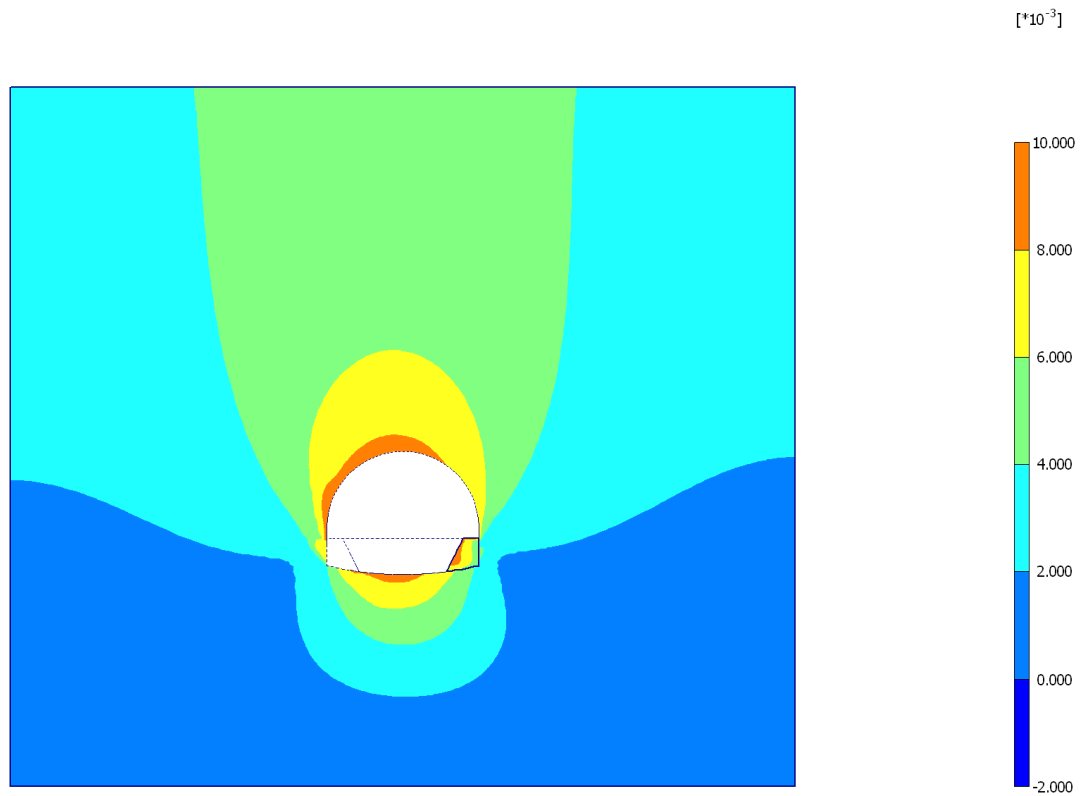


Fig. 22 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 58 - (Phase: 5)

10.2 Stresses

10.2.1 Plot of total stresses

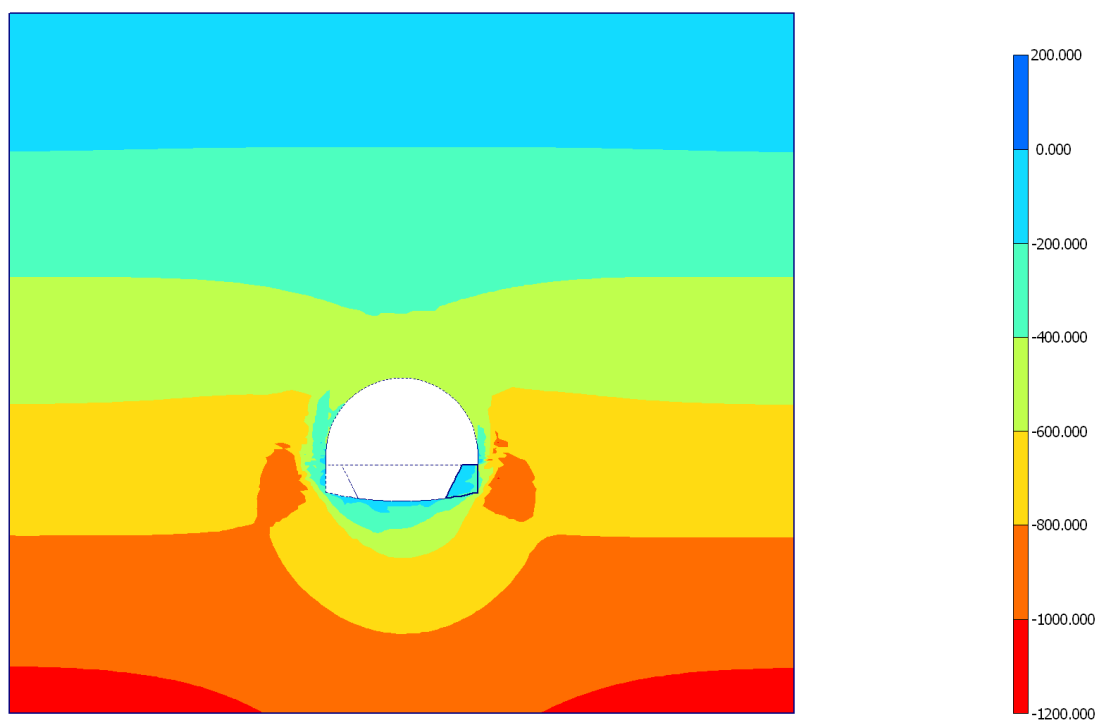


Fig. 23 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 58 - (Phase: 5)

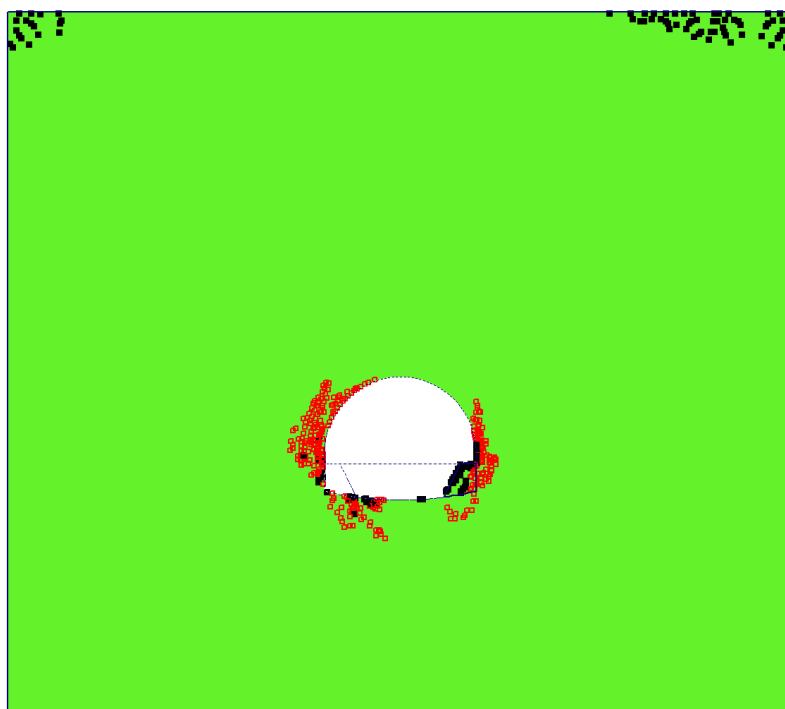


Fig. 24 Plot of plastic points
- Step no: 58 - (Phase: 5)

10.3 Structures

10.3.1 Beams

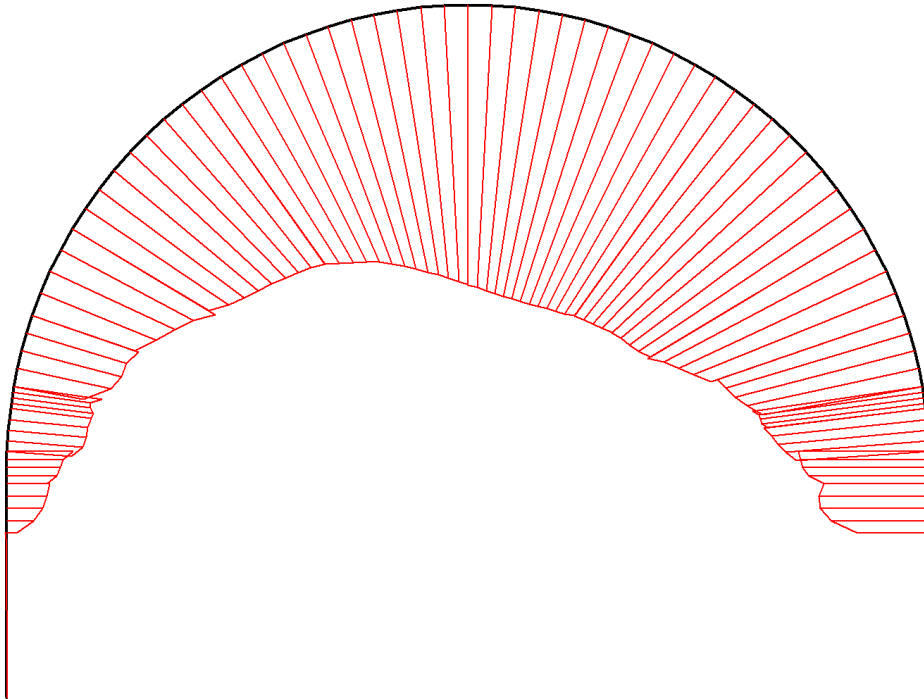


Fig. 25 Axial forces in beam
Extreme value -613,62 kN/m (Phase: 5)

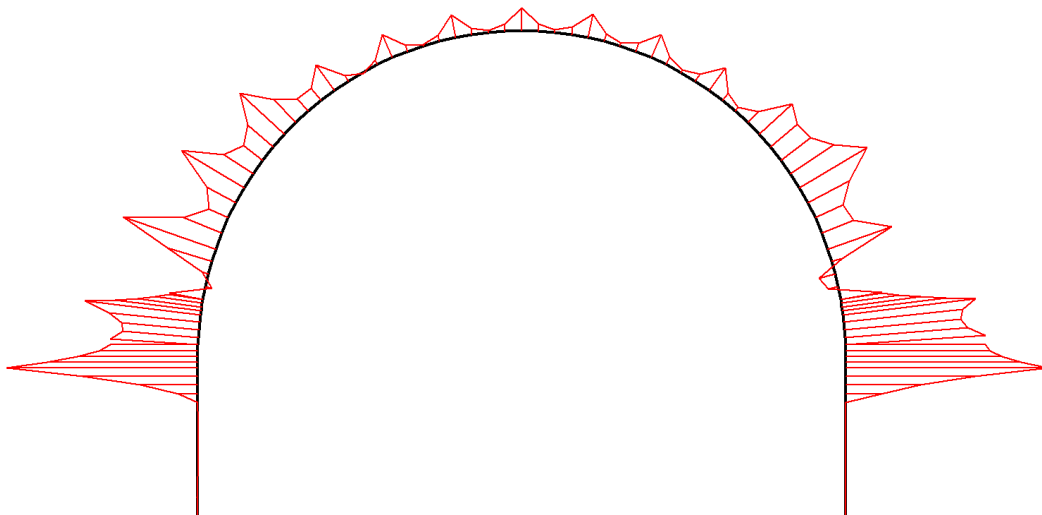


Fig. 26 Bending moments in beam
Extreme value -17,56 kNm/m (Phase: 5)

10.3.2 Anchors

Table [12] Anchors phase no: 5

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1489	-8,654	1,089	0,045	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1557	-4,799	2,155						
2	1815	-8,800	2,882	104,172	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1595	-4,799	3,155						
3	2419	-8,740	4,322	79,501	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2157	-4,758	3,939						
4	2931	-8,350	6,112	56,209	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3163	-4,536	4,911						
5	3637	-7,600	7,782	38,712	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3617	-4,116	5,811						
6	4235	-6,510	9,262	26,690	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3977	-3,519	6,606						
7	5029	-5,150	10,482	21,625	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4541	-2,777	7,257						
8	5769	-1,820	11,952	18,528	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5261	-0,980	8,041						
9	6843	1,820	11,952	17,818	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6185	0,980	8,041						
10	7209	3,560	11,392	18,266	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6523	1,917	7,742						
11	7349	5,150	10,482	19,401	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6533	2,777	7,257						
12	7375	6,510	9,262	21,735	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6387	3,519	6,606						
13	6497	4,536	4,911	45,972	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7333	8,350	6,112						
14	7365	7,600	7,782	29,632	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6377	4,116	5,811						
15	6223	4,758	3,939	62,020	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7257	8,740	4,322						
16	7083	8,800	2,882	84,449	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5931	4,799	3,155						
17	6585	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5921	4,799	2,155						
18	5155	-3,560	11,392	19,683	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	5077	-1,917	7,742						
19	6349	0,000	12,142	17,908	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5853	0,000	8,142						

11. Results for phase 6

11.1 Deformations

11.1.1 Plot of total displacements

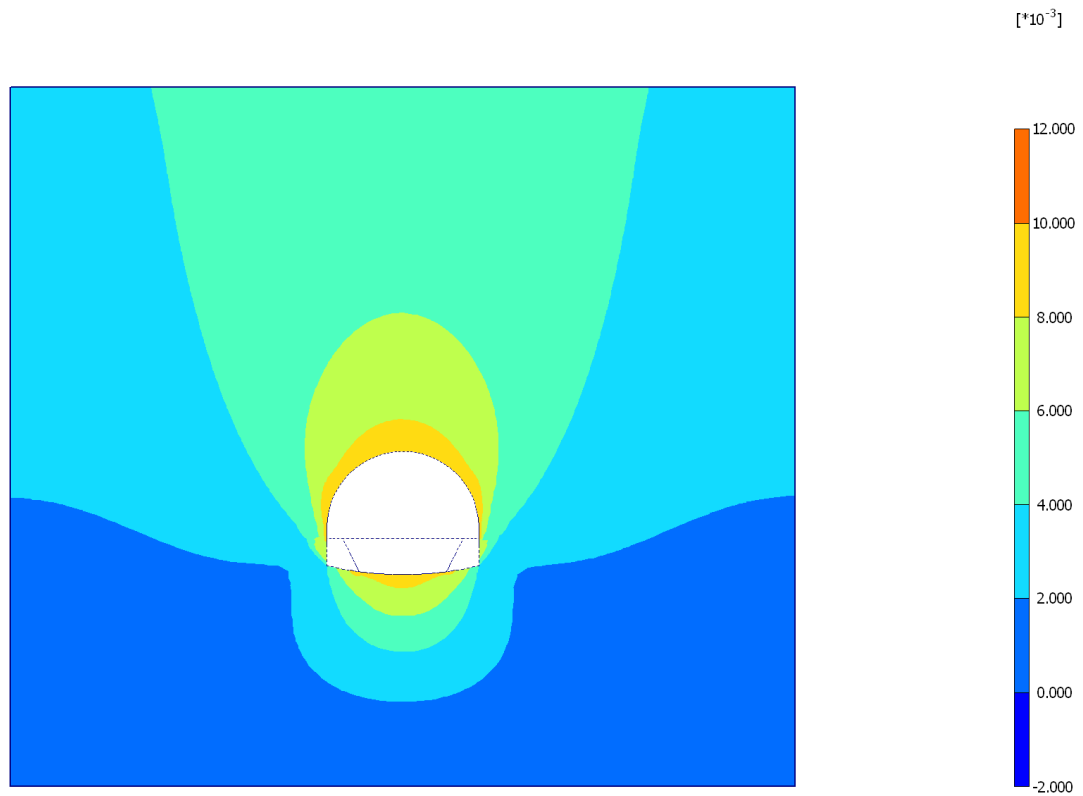


Fig. 27 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 66 - (Phase: 6)

11.2 Stresses

11.2.1 Plot of total stresses

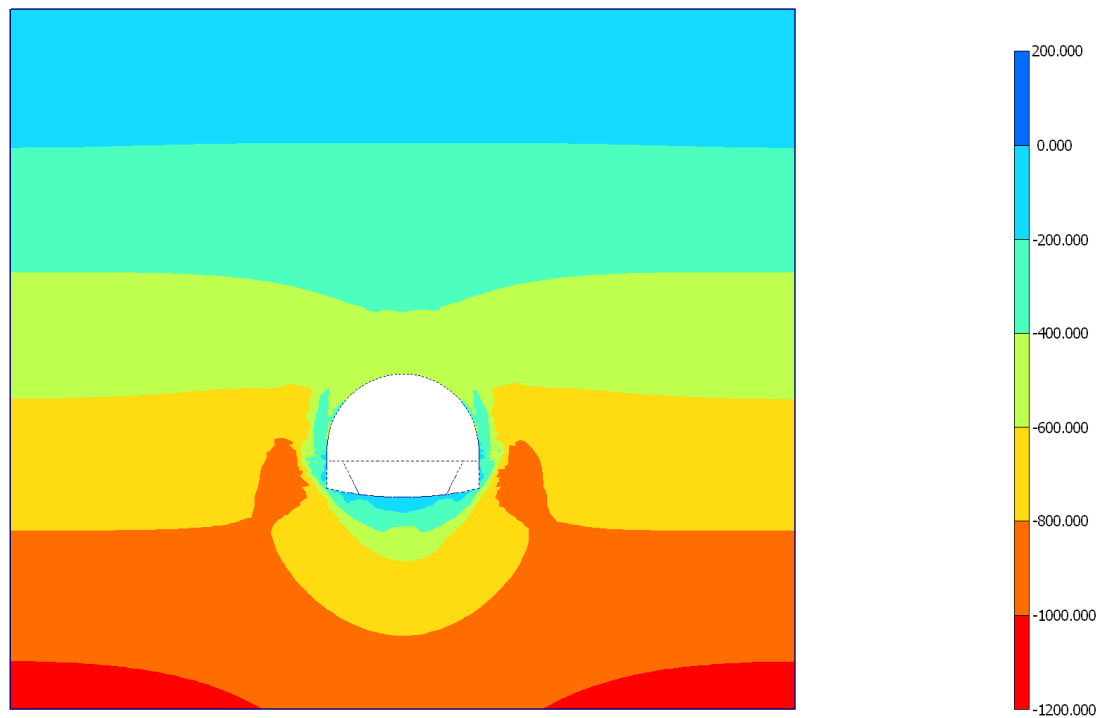


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 66 - (Phase: 6)



Fig. 291 Plot of plastic points
- Step no: 66 - (Phase: 6)

11.3 Structures

11.3.1 Beams

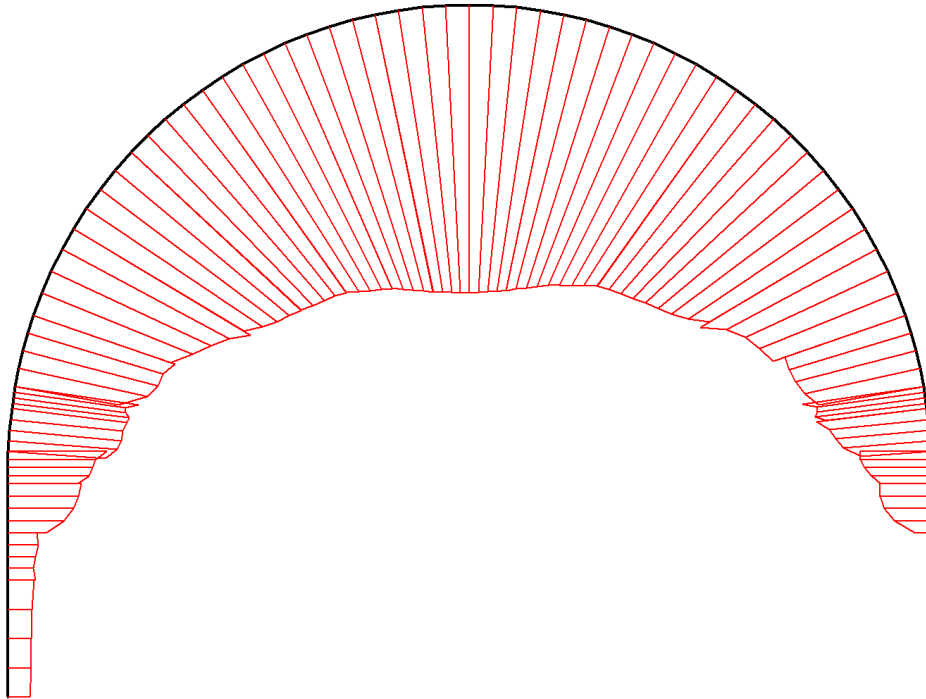


Fig. 30 Axial forces in beam
Extreme value -577,85 kN/m (Phase: 6)

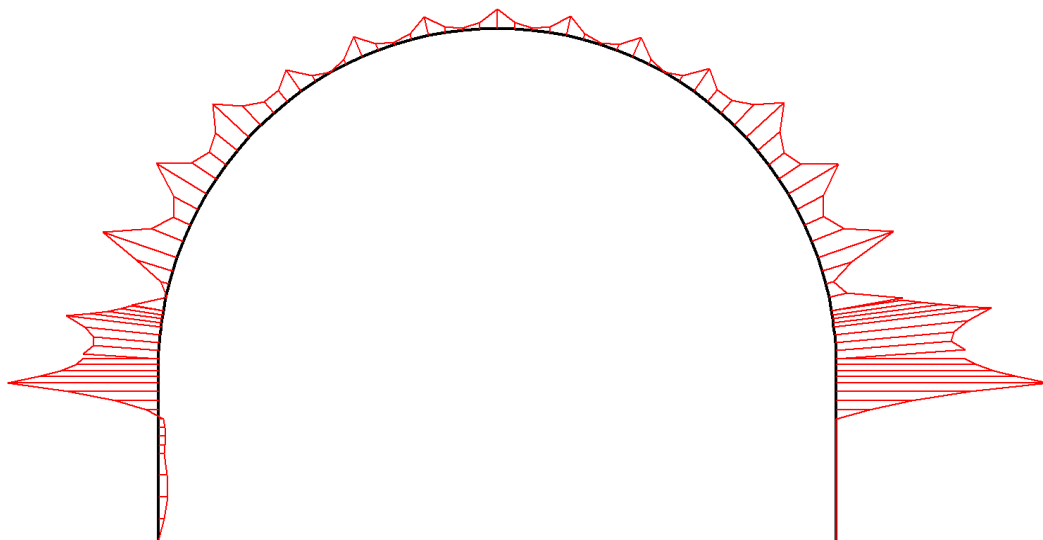


Fig. 31 Bending moments in beam
Extreme value -23,54 kNm/m (Phase: 6)

12.Results for phase 7

12.1 Deformations

12.1.1 Plot of total displacements

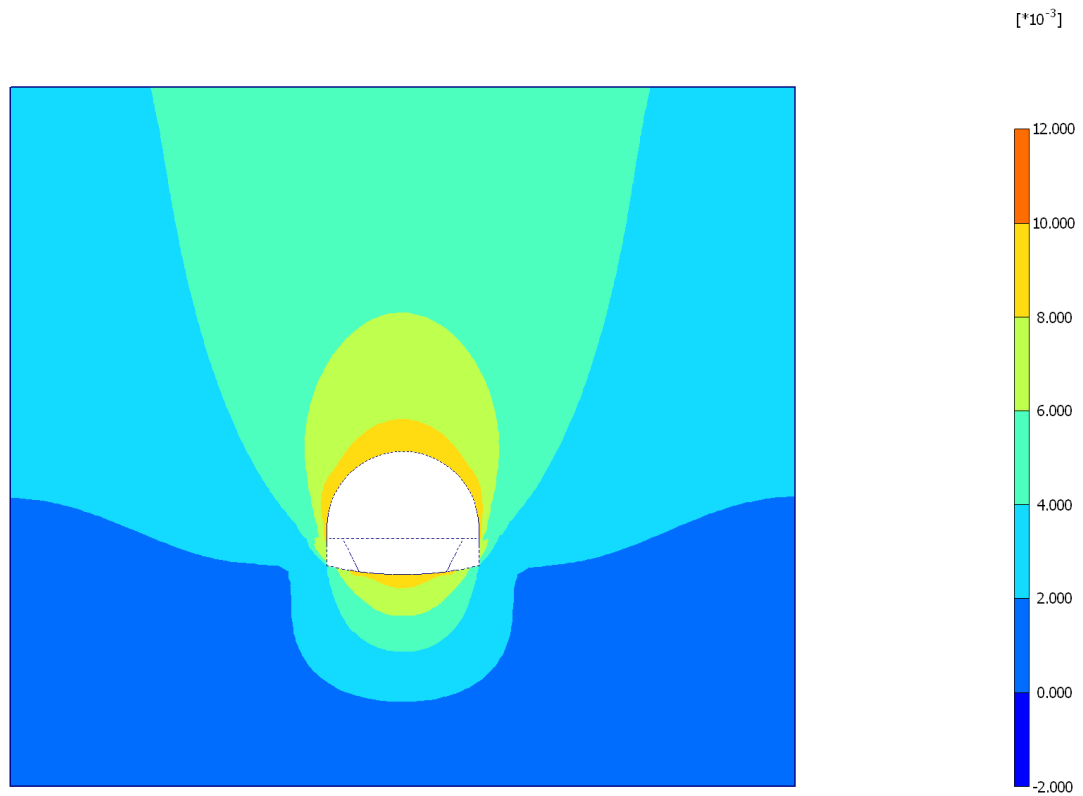


Fig. 32 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 69 - (Phase: 7)

12.2 Stresses

12.2.1 Plot of total stresses

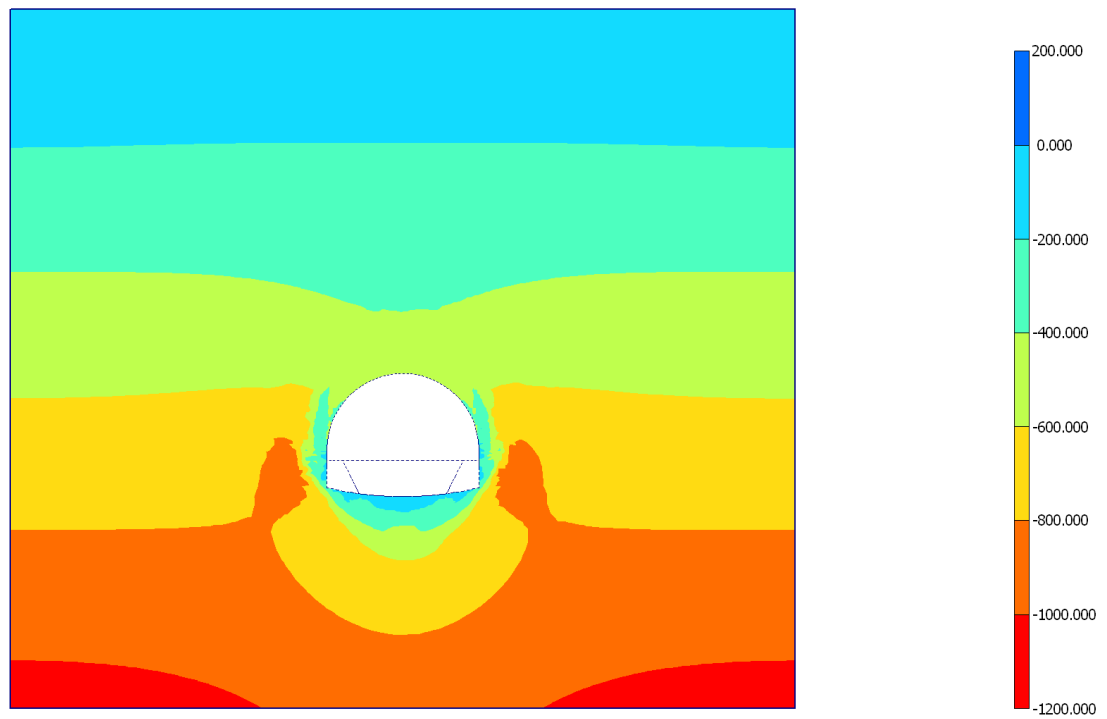


Fig. 33 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 69 - (Phase: 7)



Fig. 34 Plot of plastic points
- Step no: 69 - (Phase: 7)

12.3 Structures

12.3.1 Beams

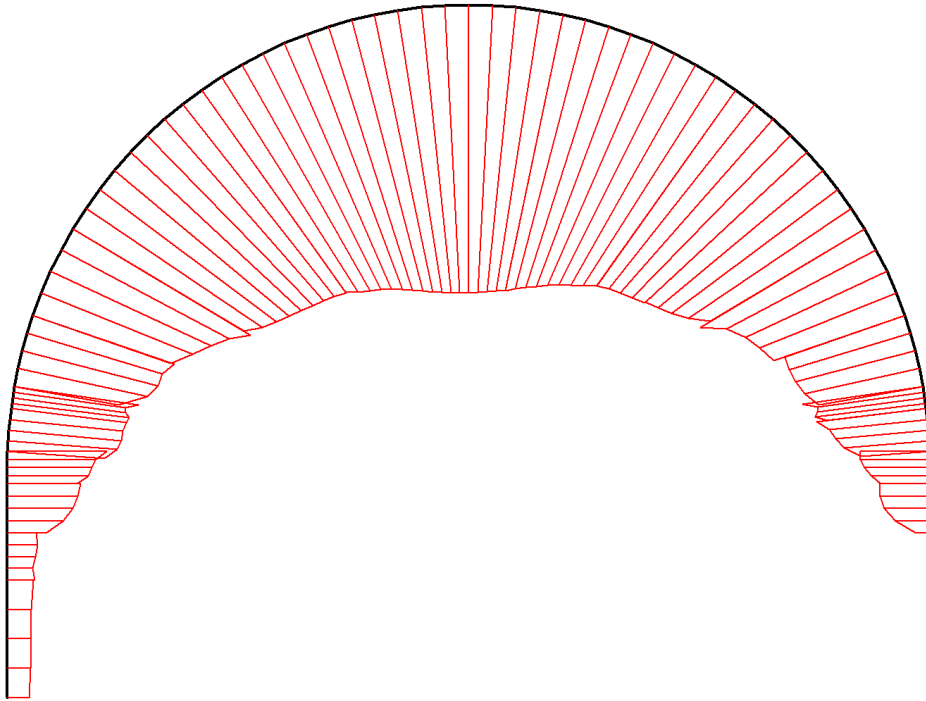


Fig. 35 Axial forces in beam
Extreme value -577,69 kN/m (Phase: 7)

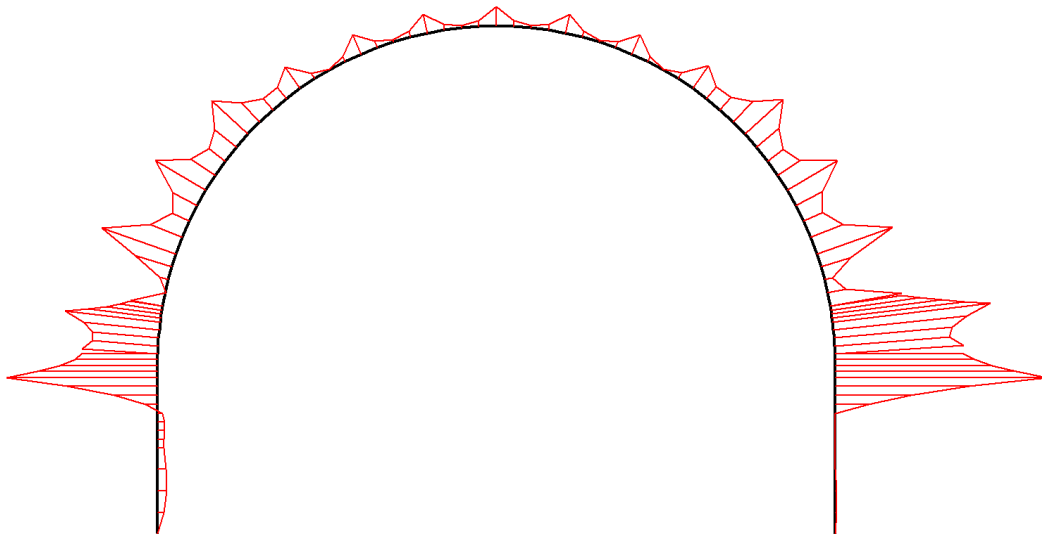


Fig. 36 Bending moments in beam
Extreme value -23,50 kNm/m (Phase: 7)

12.3.2 Anchors

Table [14] Anchors phase no: 7

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1489	-8,654	1,089	1,605	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1557	-4,799	2,155						
2	1815	-8,800	2,882	105,038	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1595	-4,799	3,155						
3	2419	-8,740	4,322	79,520	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2157	-4,758	3,939						
4	2931	-8,350	6,112	55,985	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3163	-4,536	4,911						
5	3637	-7,600	7,782	38,535	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3617	-4,116	5,811						
6	4235	-6,510	9,262	26,637	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3977	-3,519	6,606						
7	5029	-5,150	10,482	21,740	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4541	-2,777	7,257						
8	5769	-1,820	11,952	19,173	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5261	-0,980	8,041						
9	6843	1,820	11,952	19,337	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6185	0,980	8,041						
10	7209	3,560	11,392	20,338	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6523	1,917	7,742						
11	7349	5,150	10,482	22,232	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6533	2,777	7,257						
12	7375	6,510	9,262	27,596	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6387	3,519	6,606						
13	6497	4,536	4,911	57,599	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7333	8,350	6,112						
14	7365	7,600	7,782	40,054	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6377	4,116	5,811						
15	6223	4,758	3,939	81,282	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7257	8,740	4,322						
16	7083	8,800	2,882	116,896	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5931	4,799	3,155						
17	6585	8,654	1,089	0,051	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5921	4,799	2,155						
18	5155	-3,560	11,392	20,027	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	5077	-1,917	7,742						
19	6349	0,000	12,142	18,946	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5853	0,000	8,142						

REPORT

07/15/2021

User: EPTISA

Title: ST-V, CU-1 Limolitas. TRAMO SARRATU – APERRIBAI LINEA 5 FMB

1. General Information

Table [1] units

Type	Unit
Length	m
Force	kN
Time	day

Table [2] Model dimensions

	min.	max.
X	-24,800	24,800
Y	-13,000	31,142

Table [3] Model

Model	Plane Strain
Element	15-Noded

2. Structures

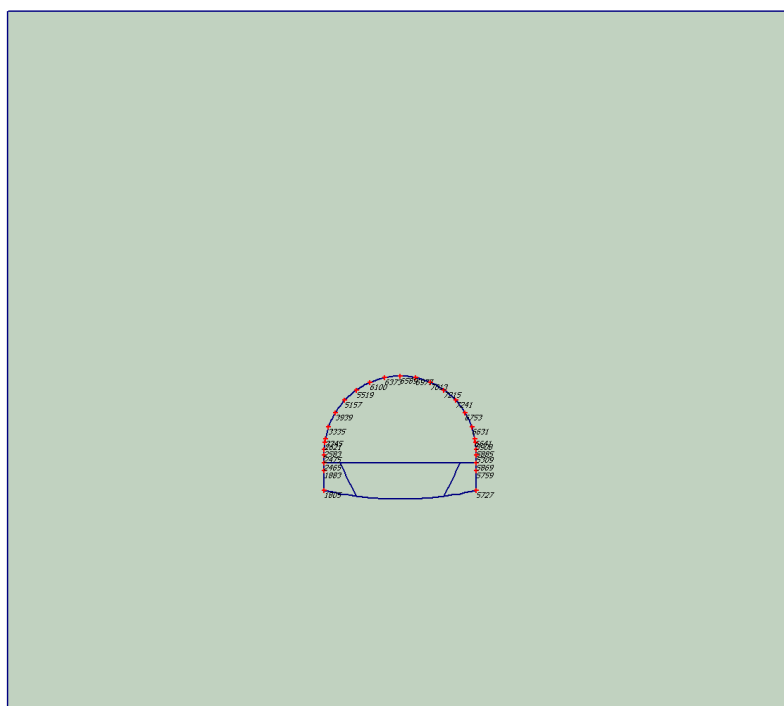


Fig. 1 Plot of geometry model with structures

3. Mesh data

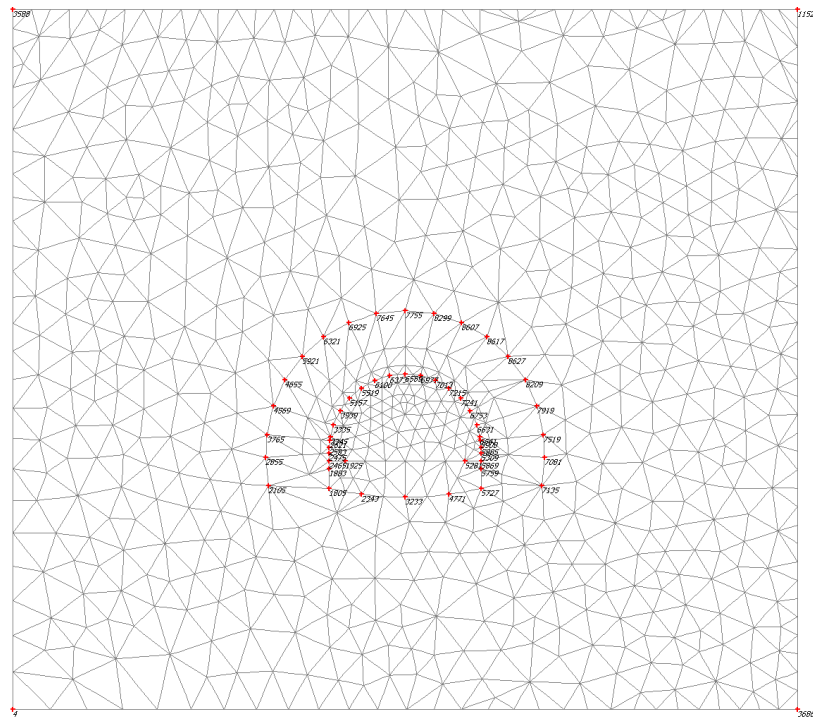


Fig. 2 Plot of the mesh with significant nodes

4. Material data

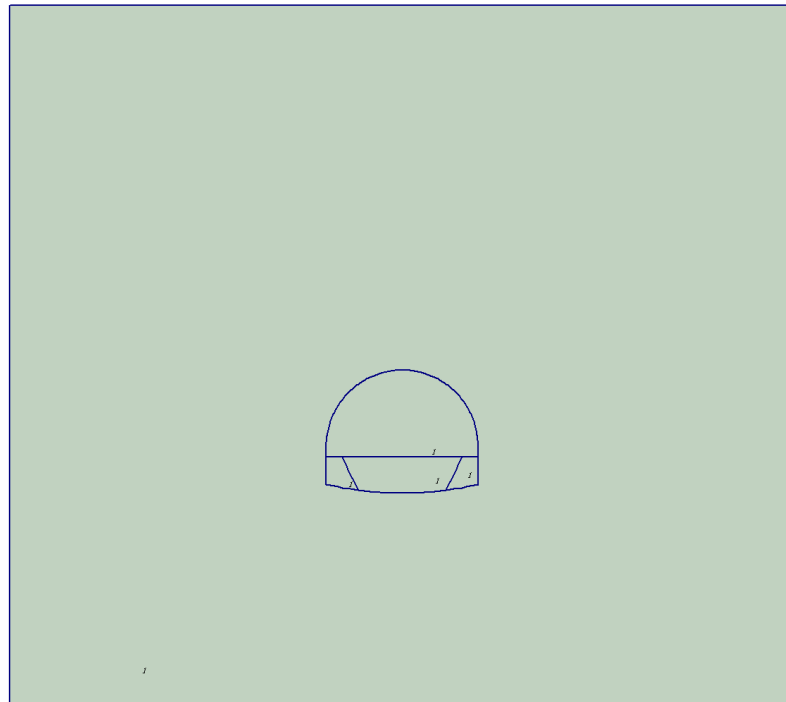


Fig. 3 Plot of geometry with material data sets

Table [4] Soil data sets parameters

Mohr-Coulomb		1
Type		Limolitas RMR_10
γ_{unsat}	[kN/m ³]	27,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	27,00
k_x	[m/day]	0,000
k_y	[m/day]	0,000
e_{init}	[-]	0,500
c_k	[-]	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	490000,000
ν	[-]	0,300
G_{ref}	[kN/m ²]	188461,538
E_{oed}	[kN/m ²]	659615,385
c_{ref}	[kN/m ²]	40,00
ϕ	[°]	29,00
ψ	[°]	0,00
E_{inc}	[kN/m ² /m]	0,00
y_{ref}	[m]	0,000
$c_{\text{increment}}$	[kN/m ² /m]	0,00
$T_{\text{str.}}$	[kN/m ²]	0,00
$R_{\text{inter.}}$	[-]	1,00
Interface permeability		Neutral

Table [5] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA	EI	w	ν	Mp	Np
		[kN/m]	[kNm ² /m]	[kN/m/m]	[-]	[kNm/m]	[kN/m]
1	ST_IV Gunita 0,18 + Cercha TH_21	3,18E6	7760,00	4,70	0,20	1E15	1E15

no.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]	v [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
2	ST_V Gunita 0,30 + Cercha HEB_180	5,72E6	40700,00	7,99	0,20	1E15	1E15

Table [6] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L spacing [m]
1	Bulon f25	103000,00	184,000	184,000	1,00

5. Calculation phases

Table [7] List of phases

Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step
Initial phase	0	0		-	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic analysis	Staged construction	1	4
<Phase 2>	2	1	Plastic analysis	Staged construction	5	36
<Phase 3>	3	2	Plastic analysis	Staged construction	37	83
<Phase 4>	4	3	Plastic analysis	Staged construction	84	99
<Phase 5>	5	4	Plastic analysis	Staged construction	100	101
<Phase 6>	6	5	Plastic analysis	Staged construction	102	122
<Phase 7>	7	6	Plastic analysis	Staged construction	123	124

6. Results for phase 1

6.1 Deformations

6.1.1 Plot of total displacements

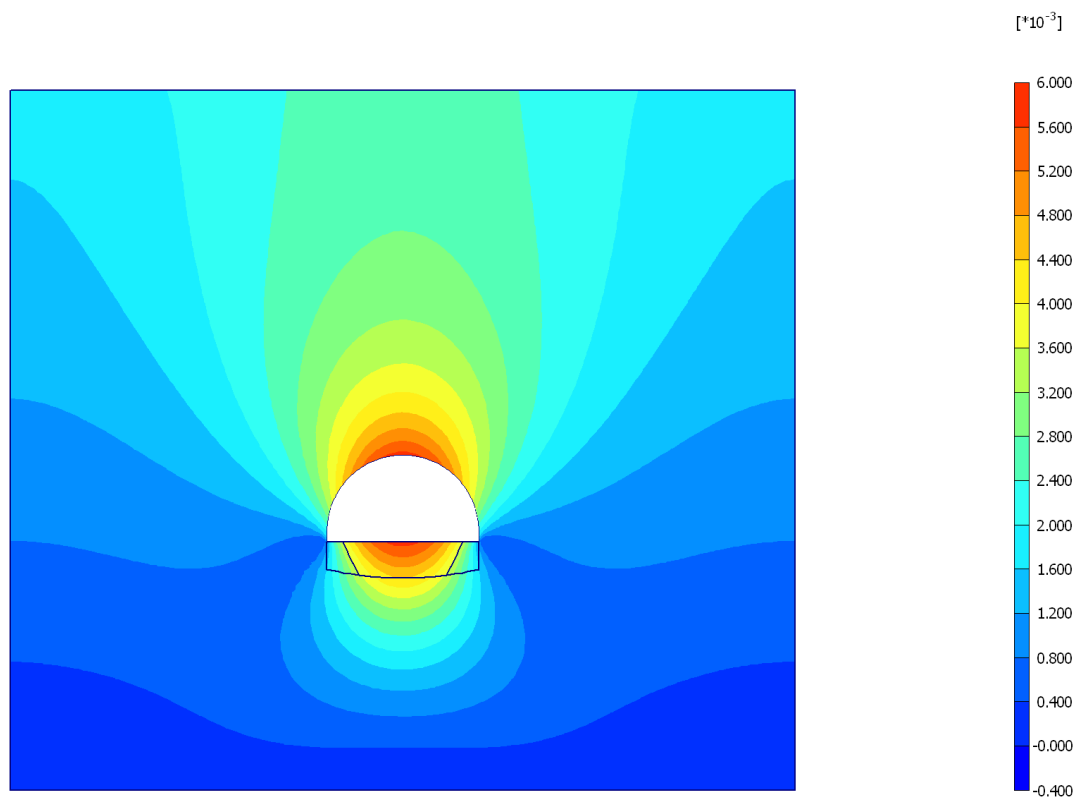


Fig. 4 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 4 - (Phase: 1)

6.2 Stresses

6.2.1 Plot of total stresses

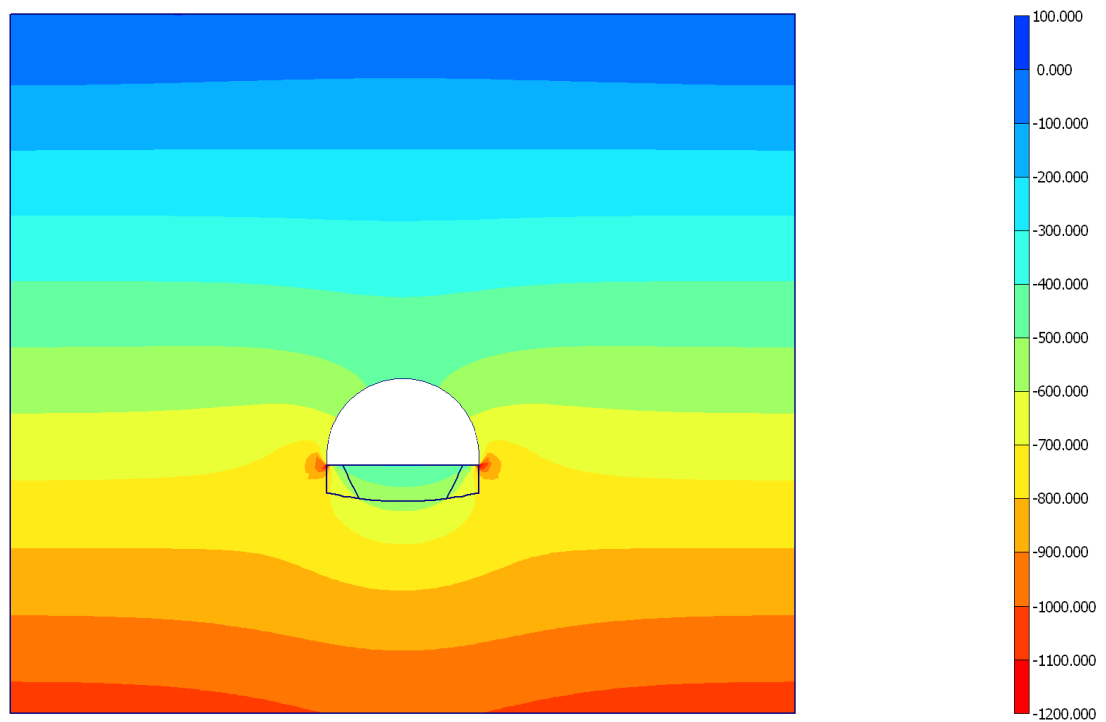


Fig. 5 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 4 - (Phase: 1)

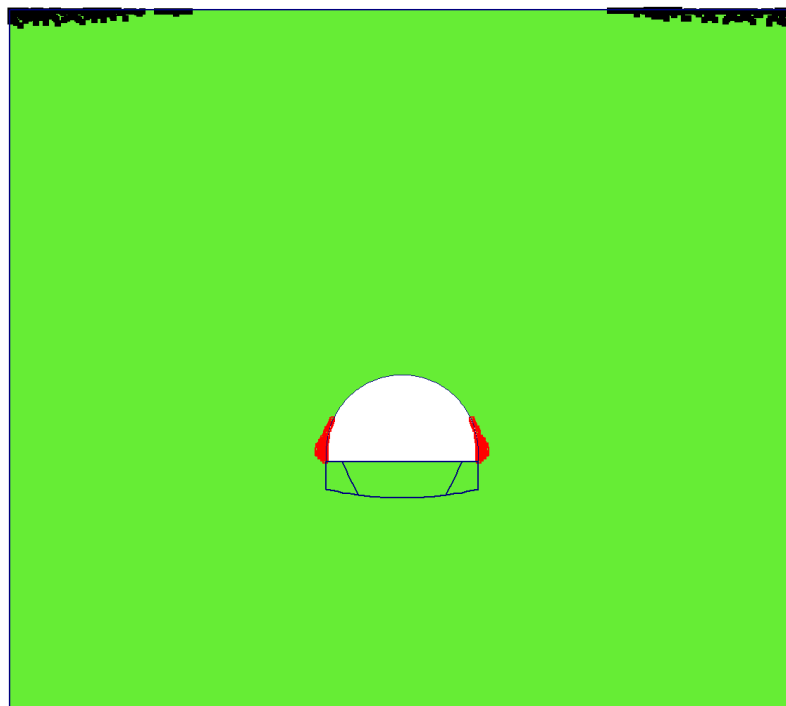


Fig. 6 Plot of plastic points
- Step no: 4 - (Phase: 1)

6.3.1 Anchors

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	2105	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1883	-4,799	2,155						
2	2855	-8,800	2,882	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	2475	-4,799	3,155						
3	3765	-8,740	4,322	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2621	-4,758	3,939						
4	4569	-8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3335	-4,536	4,911						
5	4655	-7,600	7,782	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3939	-4,116	5,811						
6	5921	-6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5157	-3,519	6,606						
7	6321	-5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	5519	-2,777	7,257						
8	7645	-1,820	11,952	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6373	-0,980	8,041						
9	7755	0,000	12,142	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6589	0,000	8,142						
10	8299	1,820	11,952	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6977	0,980	8,041						
11	8607	3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7013	1,917	7,742						
12	8617	5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	7215	2,777	7,257						
13	8627	6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7241	3,519	6,606						
14	6631	4,536	4,911	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7919	8,350	6,112						
15	8209	7,600	7,782	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6753	4,116	5,811						
16	5908	4,758	3,939	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7519	8,740	4,322						
17	7081	8,800	2,882	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5309	4,799	3,155						
18	7135	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5759	4,799	2,155						
19	6925	-3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6100	-1,917	7,742						

7. Results for phase 2

7.1 Deformations

7.1.1 Plot of total displacements

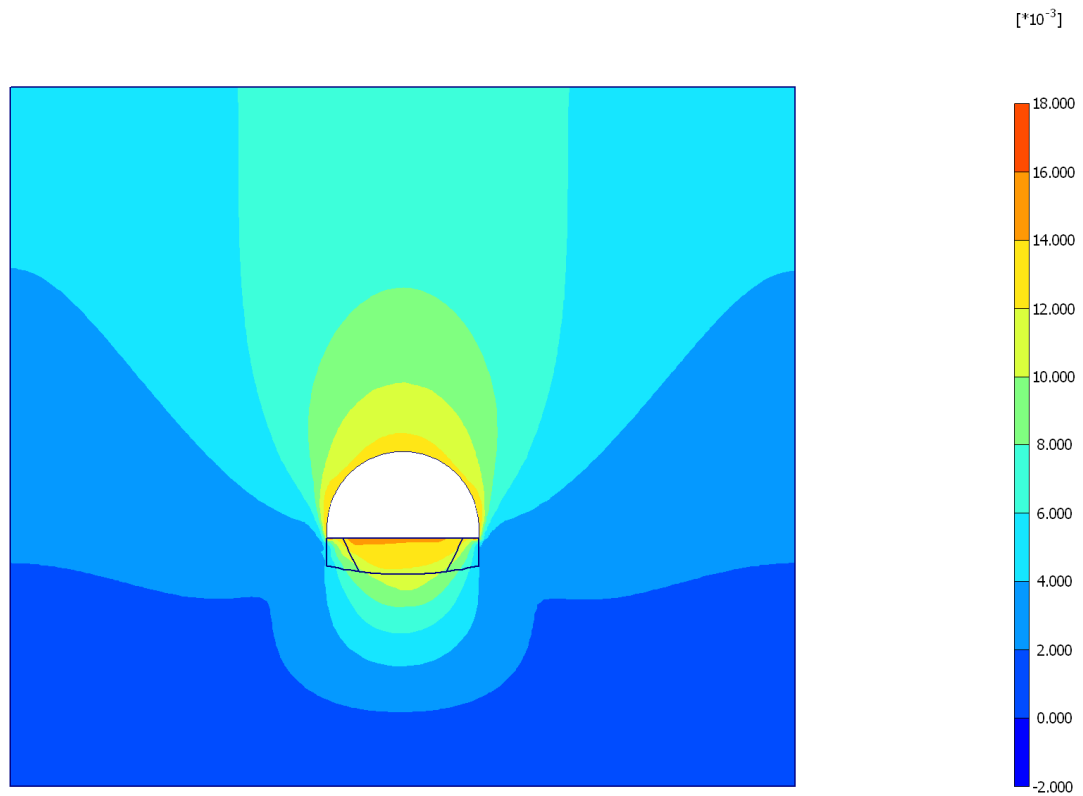


Fig. 7 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 36 - (Phase: 2)

7.2 Stresses

7.2.1 Plot of total stresses

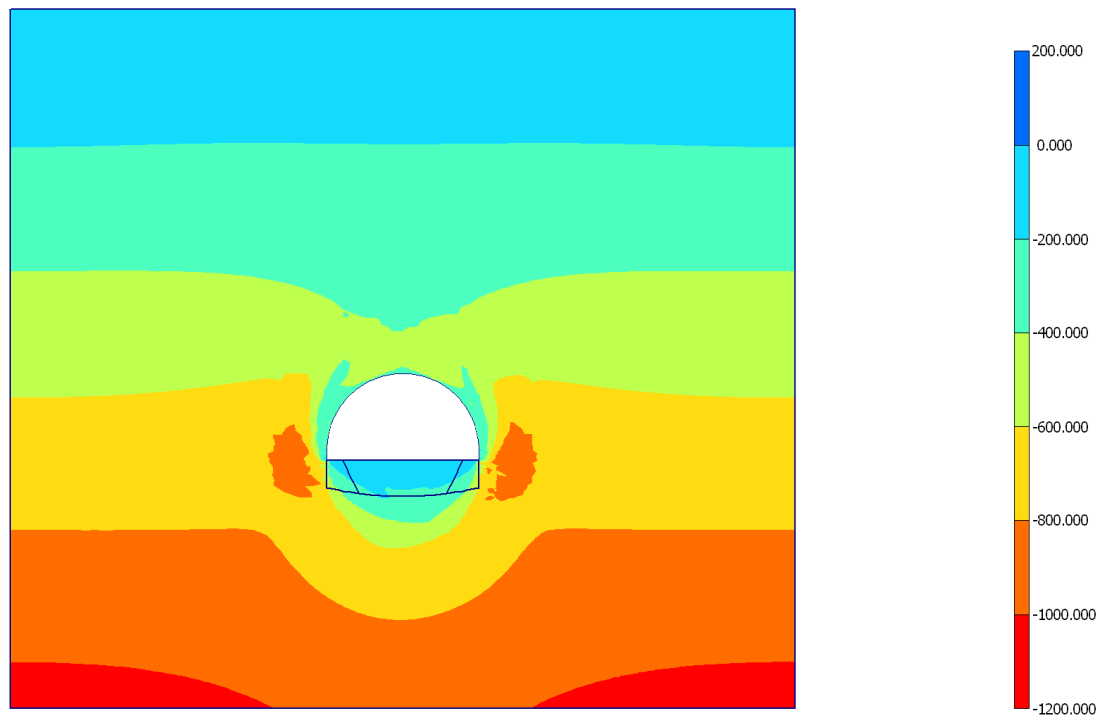


Fig. 8 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 36 - (Phase: 2)

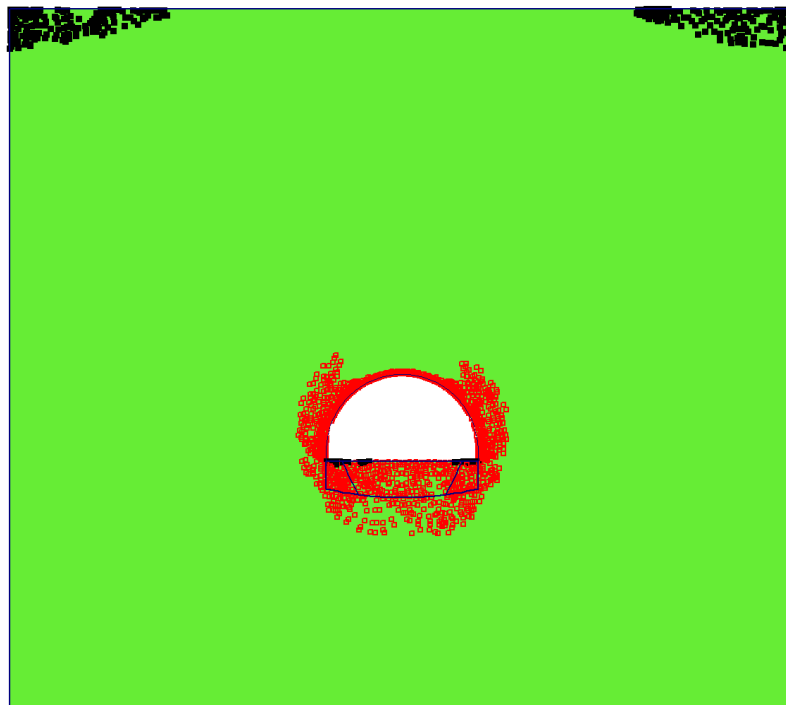


Fig. 9 Plot of plastic points
- Step no: 36 - (Phase: 2)

7.3 Structures

7.3.1 Beams

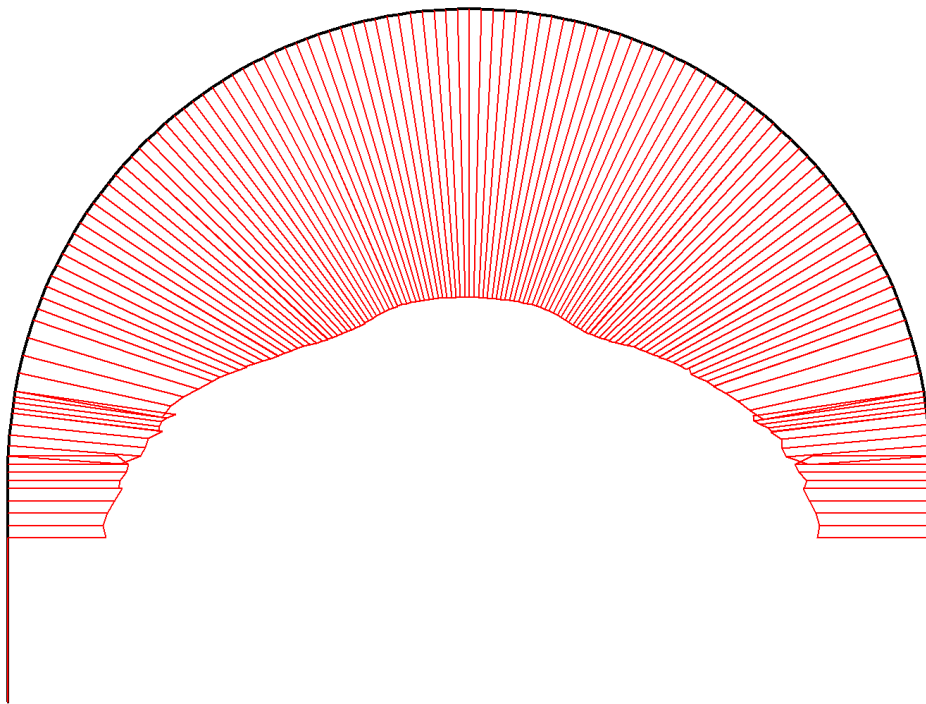


Fig. 10 Axial forces in beam
Extreme value -666,00 kN/m (Phase: 2)

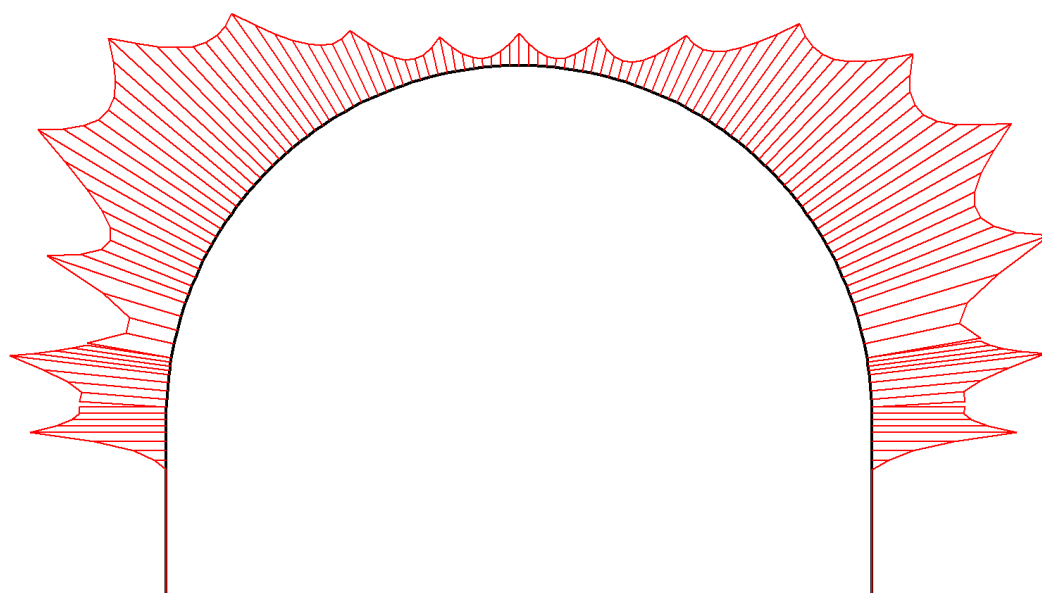


Fig. 11 Bending moments in beam
Extreme value -30,52 kNm/m (Phase: 2)

8. Results for phase 3

8.1 Deformations

8.1.1 Plot of total displacements

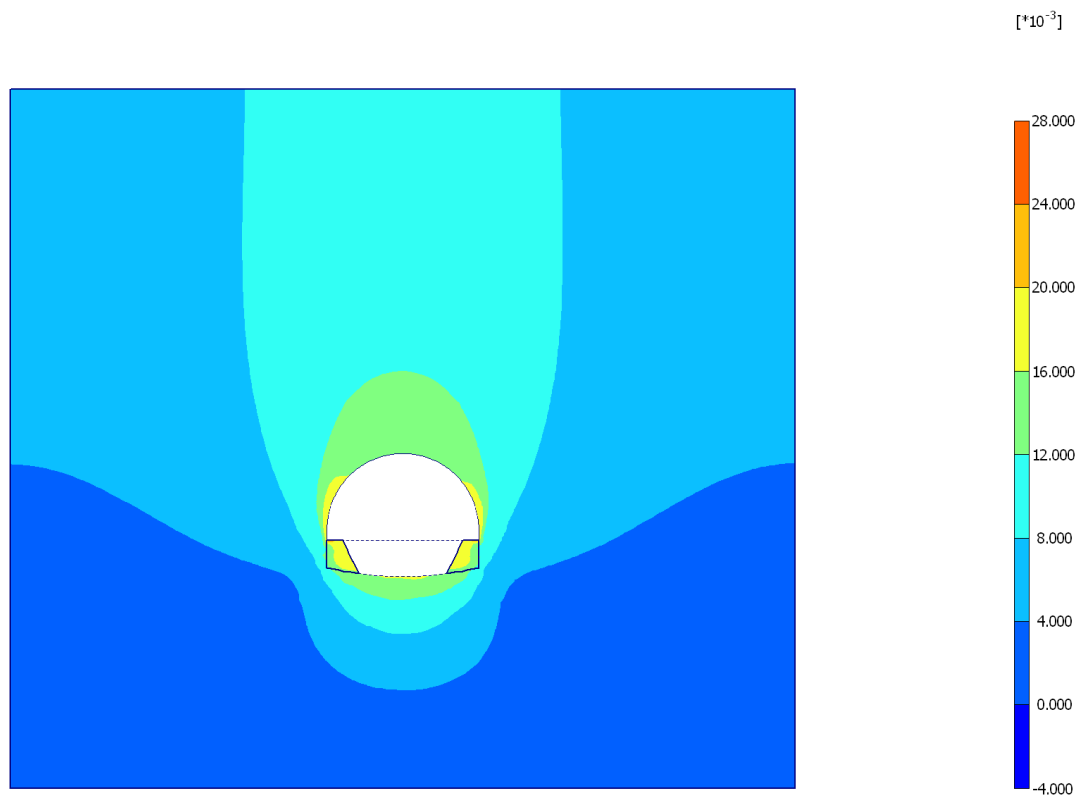


Fig. 12 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 83 - (Phase: 3)

8.2 Stresses

8.2.1 Plot of total stresses

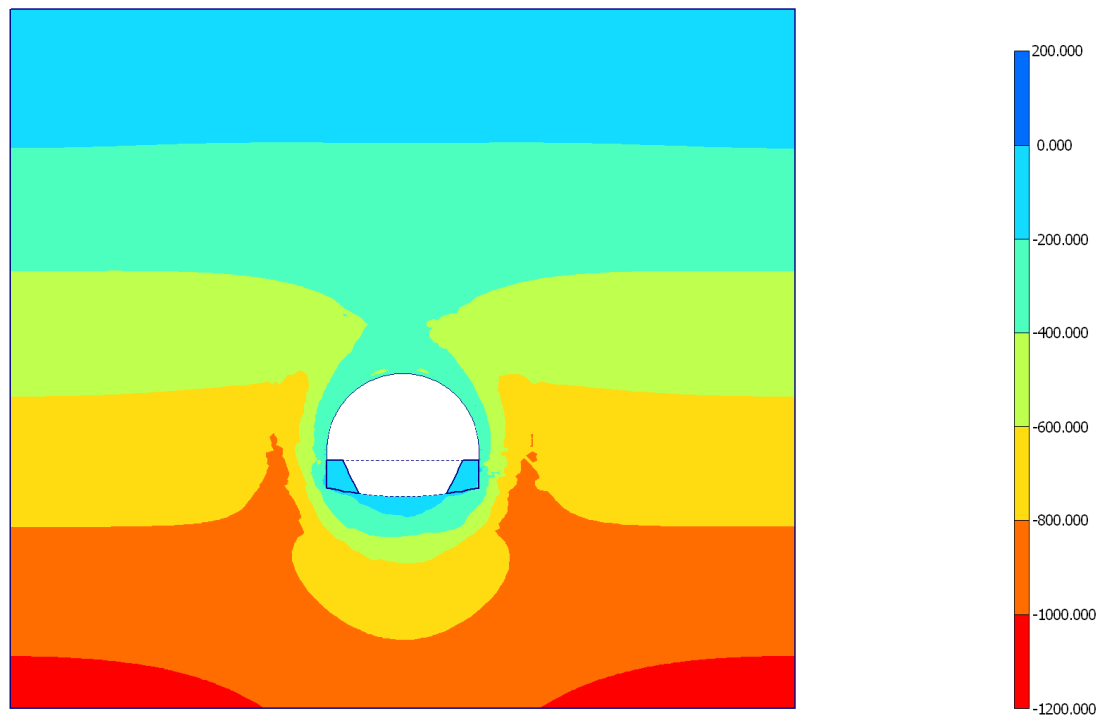


Fig. 13 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 83 - (Phase: 3)

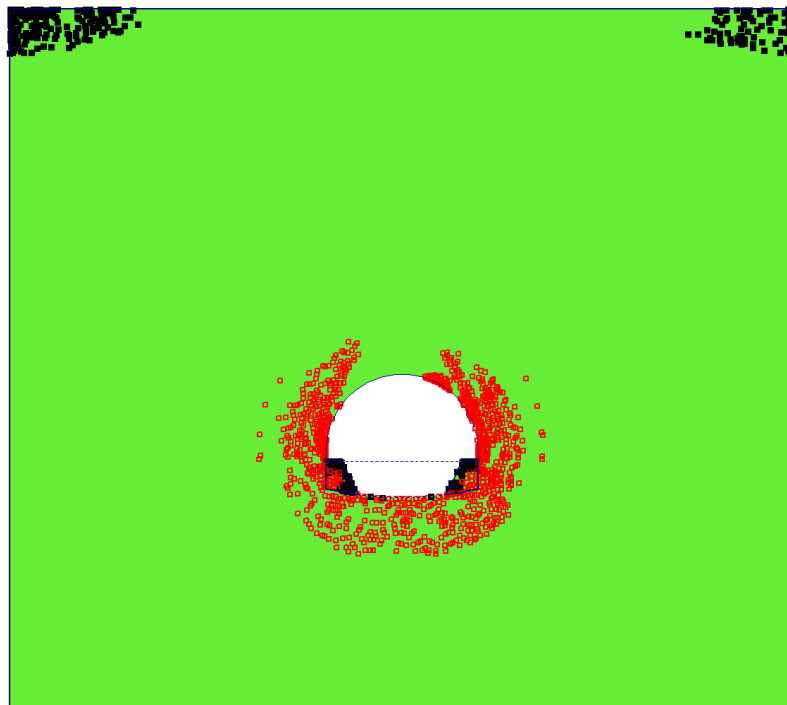


Fig. 14 Plot of plastic points
- Step no: 83 - (Phase: 3)

8.3 Structures

8.3.1 Beams

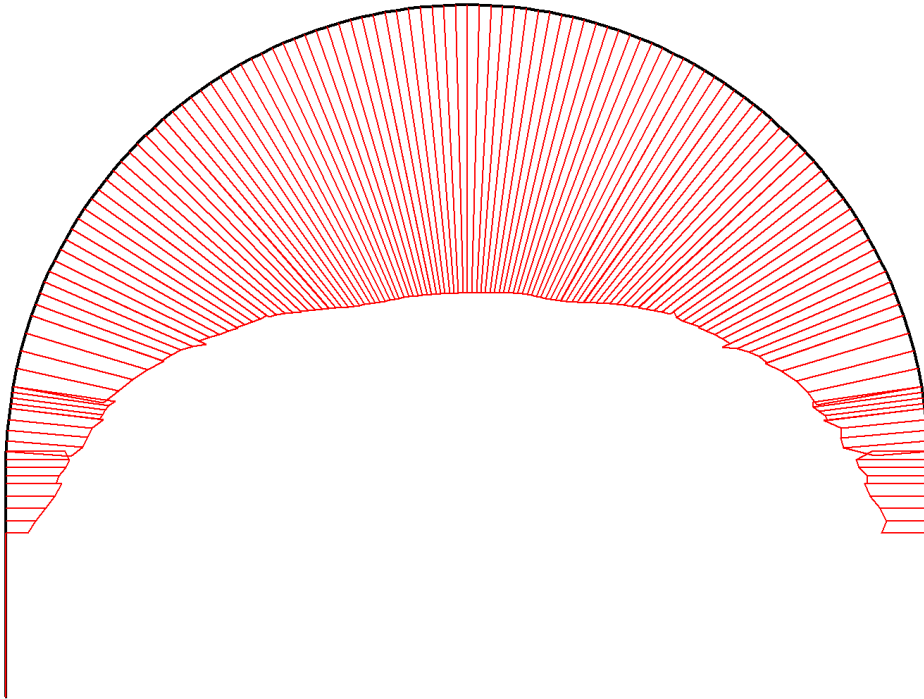


Fig. 15 Axial forces in beam
Extreme value -648,01 kN/m (Phase: 3)

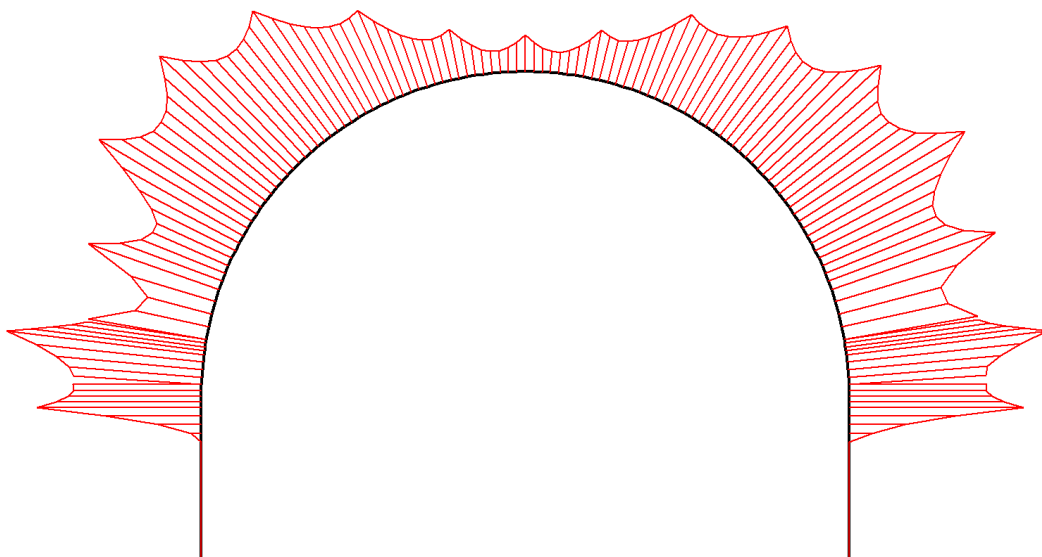


Fig. 16 Bending moments in beam
Extreme value -41,75 kNm/m (Phase: 3)

9. Results for phase 4

9.1 Deformations

9.1.1 Plot of total displacements

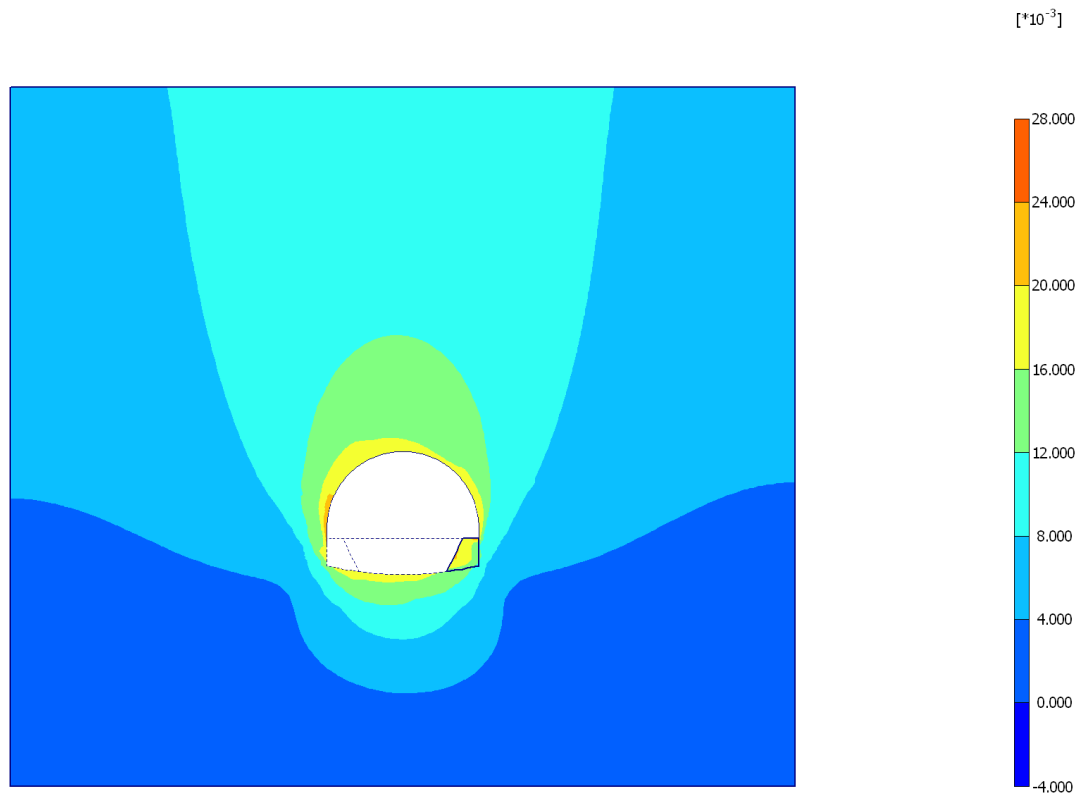


Fig. 17 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 99 - (Phase: 4)

9.2 Stresses

9.2.1 Plot of total stresses

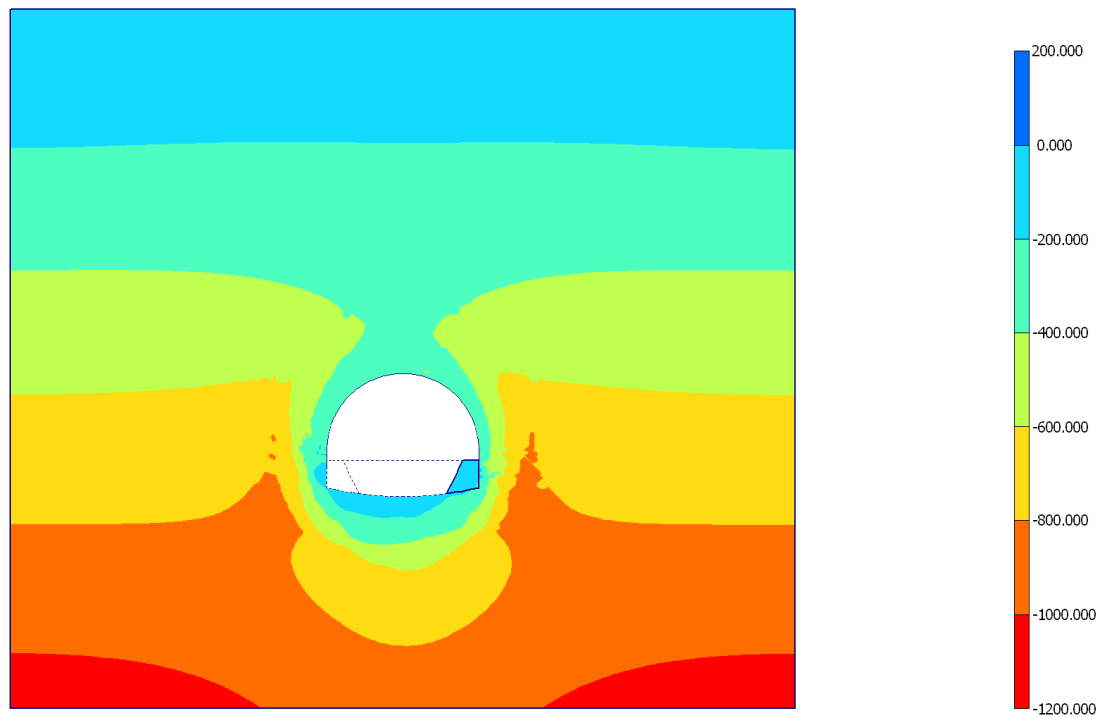


Fig. 18 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 99 - (Phase: 4)

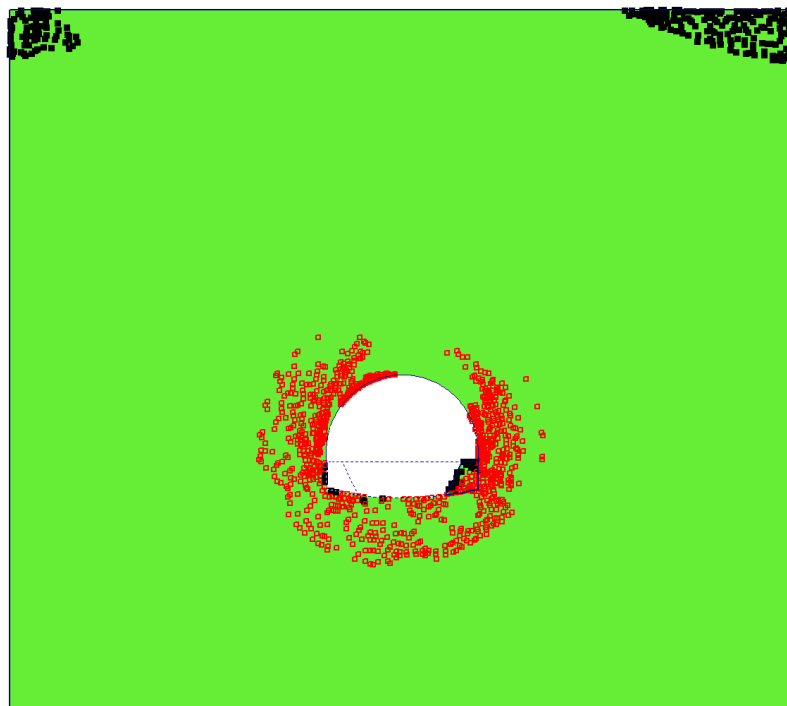


Fig. 19 Plot of plastic points
- Step no: 99 - (Phase: 4)

9.3 Structures

9.3.1 Beams

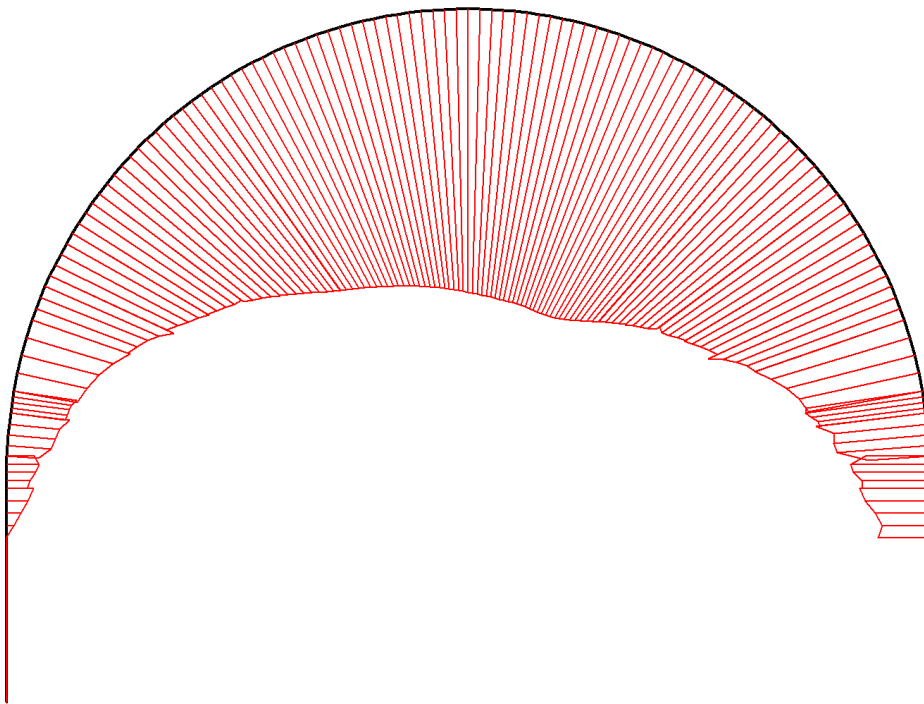


Fig. 20 Axial forces in beam
Extreme value -633,04 kN/m (Phase: 4)

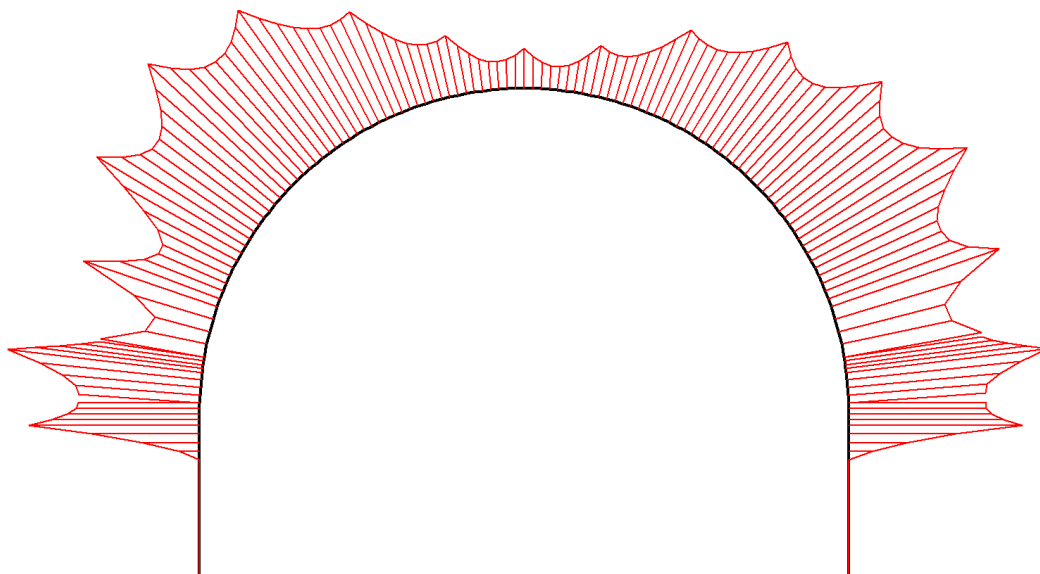


Fig. 21 Bending moments in beam
Extreme value -43,65 kNm/m (Phase: 4)

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	2105	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1883	-4,799	2,155						
2	2855	-8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	2475	-4,799	3,155						
3	3765	-8,740	4,322	181,814	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2621	-4,758	3,939						
4	4569	-8,350	6,112	155,770	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3335	-4,536	4,911						
5	4655	-7,600	7,782	118,669	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3939	-4,116	5,811						
6	5921	-6,510	9,262	83,285	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5157	-3,519	6,606						
7	6321	-5,150	10,482	57,449	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	5519	-2,777	7,257						
8	7645	-1,820	11,952	33,101	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6373	-0,980	8,041						
9	7755	0,000	12,142	31,610	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6589	0,000	8,142						
10	8299	1,820	11,952	32,426	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6977	0,980	8,041						
11	8607	3,560	11,392	36,977	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7013	1,917	7,742						
12	8617	5,150	10,482	49,199	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	7215	2,777	7,257						
13	8627	6,510	9,262	68,245	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7241	3,519	6,606						
14	6631	4,536	4,911	121,493	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7919	8,350	6,112						
15	8209	7,600	7,782	93,283	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6753	4,116	5,811						
16	5908	4,758	3,939	150,083	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7519	8,740	4,322						
17	7081	8,800	2,882	176,680	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5309	4,799	3,155						
18	7135	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5759	4,799	2,155						
19	6925	-3,560	11,392	41,060	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6100	-1,917	7,742						

10.Results for phase 5

10.1 *Deformations*

10.1.1 Plot of total displacements

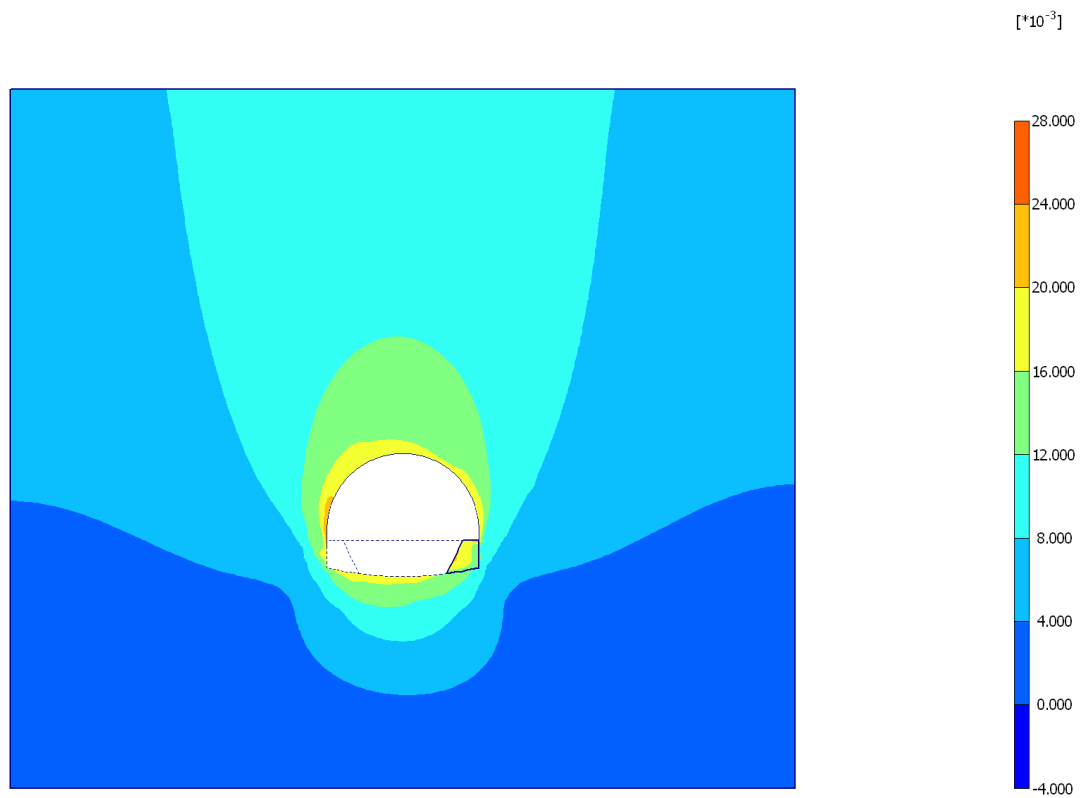


Fig. 22 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 101 - (Phase: 5)

10.2 *Stresses*

10.2.1 Plot of total stresses

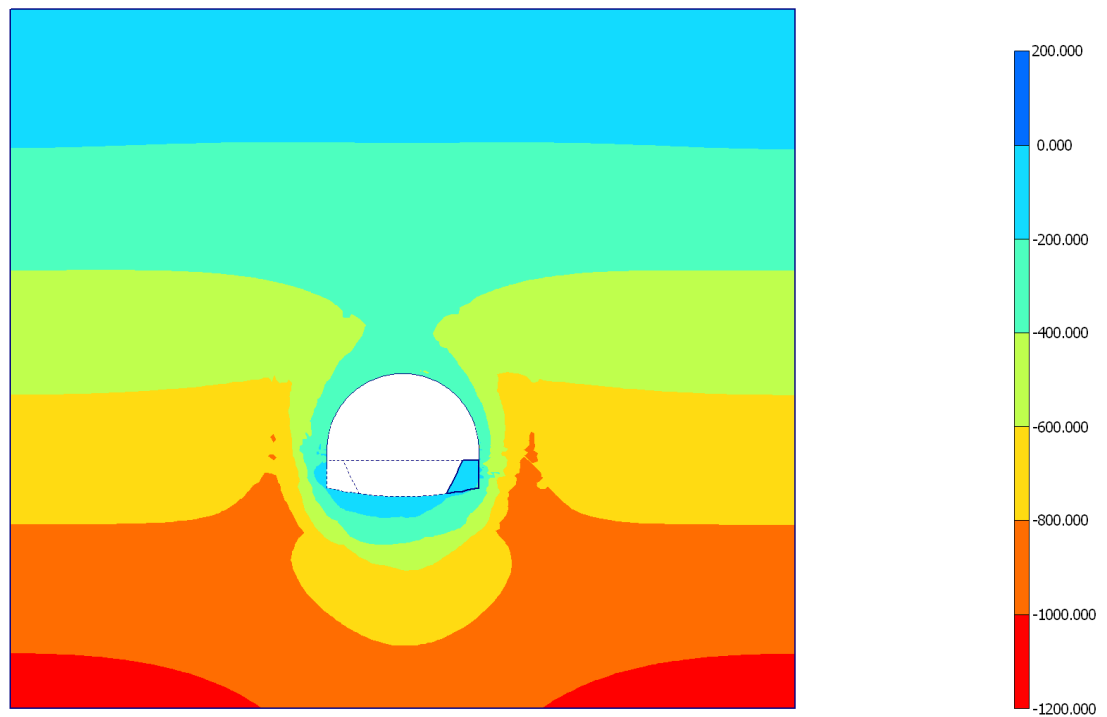


Fig. 23 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 101 - (Phase: 5)

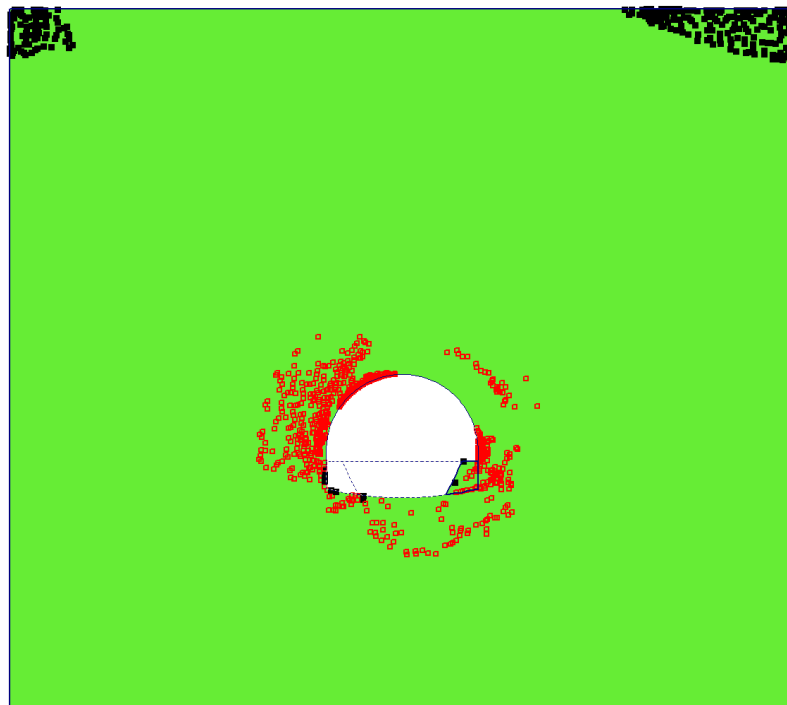


Fig. 24 Plot of plastic points
- Step no: 101 - (Phase: 5)

10.3 Structures

10.3.1 Beams

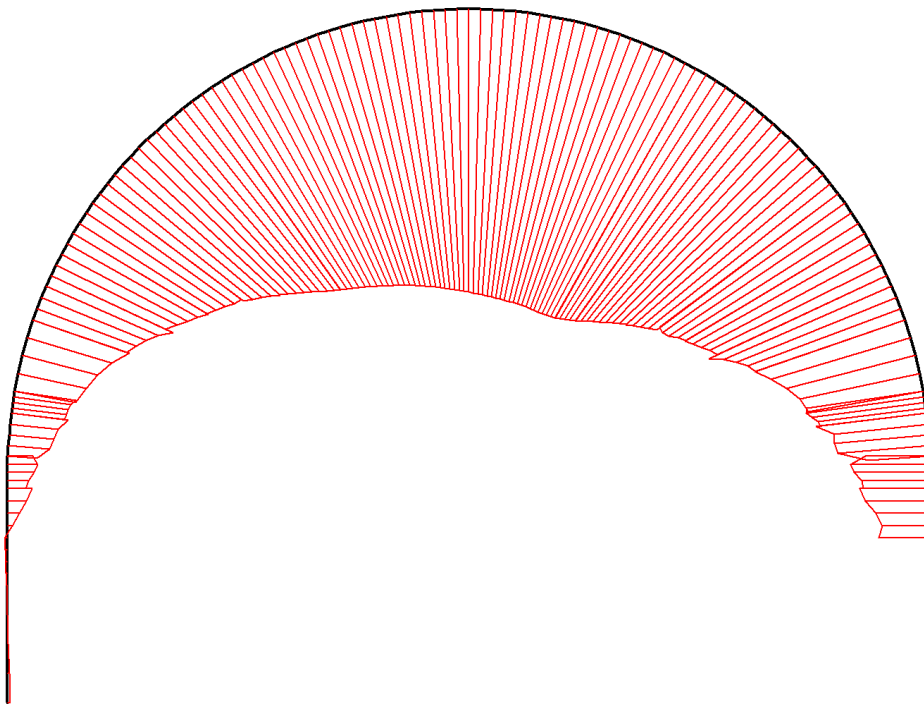


Fig. 25 Axial forces in beam
Extreme value -633,11 kN/m (Phase: 5)

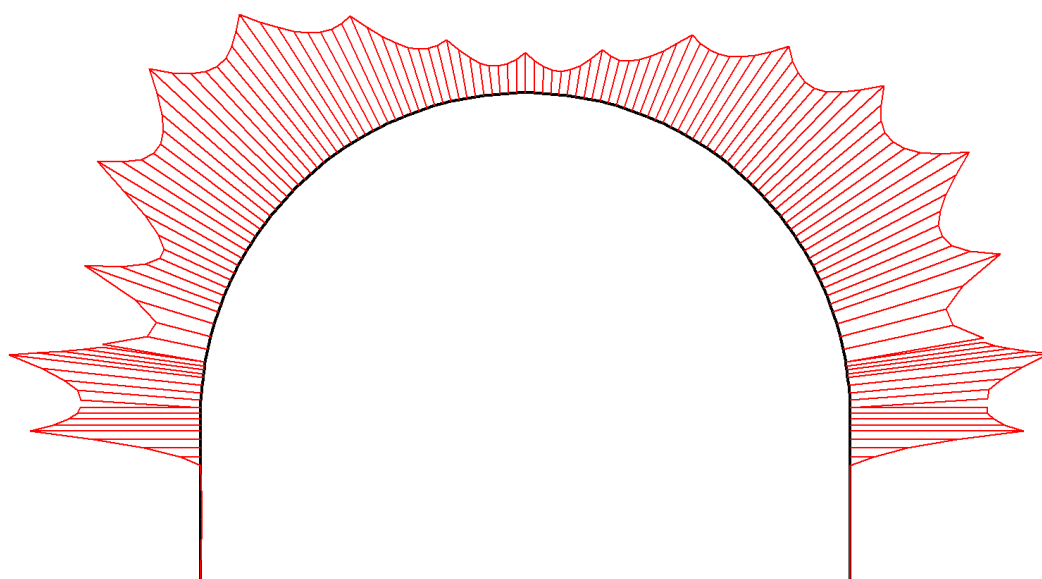


Fig. 26 Bending moments in beam
Extreme value -43,66 kNm/m (Phase: 5)

Table [12] Anchors phase no: 5

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	2105	-8,654	1,089	0,001	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1883	-4,799	2,155						
2	2855	-8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	2475	-4,799	3,155						
3	3765	-8,740	4,322	182,017	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2621	-4,758	3,939						
4	4569	-8,350	6,112	156,021	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3335	-4,536	4,911						
5	4655	-7,600	7,782	118,934	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3939	-4,116	5,811						
6	5921	-6,510	9,262	83,527	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5157	-3,519	6,606						
7	6321	-5,150	10,482	57,636	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	5519	-2,777	7,257						
8	7645	-1,820	11,952	33,160	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6373	-0,980	8,041						
9	7755	0,000	12,142	31,635	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6589	0,000	8,142						
10	8299	1,820	11,952	32,443	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6977	0,980	8,041						
11	8607	3,560	11,392	36,991	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7013	1,917	7,742						
12	8617	5,150	10,482	49,210	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	7215	2,777	7,257						
13	8627	6,510	9,262	68,253	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7241	3,519	6,606						
14	6631	4,536	4,911	121,493	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7919	8,350	6,112						
15	8209	7,600	7,782	93,286	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6753	4,116	5,811						
16	5908	4,758	3,939	150,081	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7519	8,740	4,322						
17	7081	8,800	2,882	176,675	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5309	4,799	3,155						
18	7135	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5759	4,799	2,155						
19	6925	-3,560	11,392	41,187	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6100	-1,917	7,742						

11. Results for phase 6

11.1 Deformations

11.1.1 Plot of total displacements

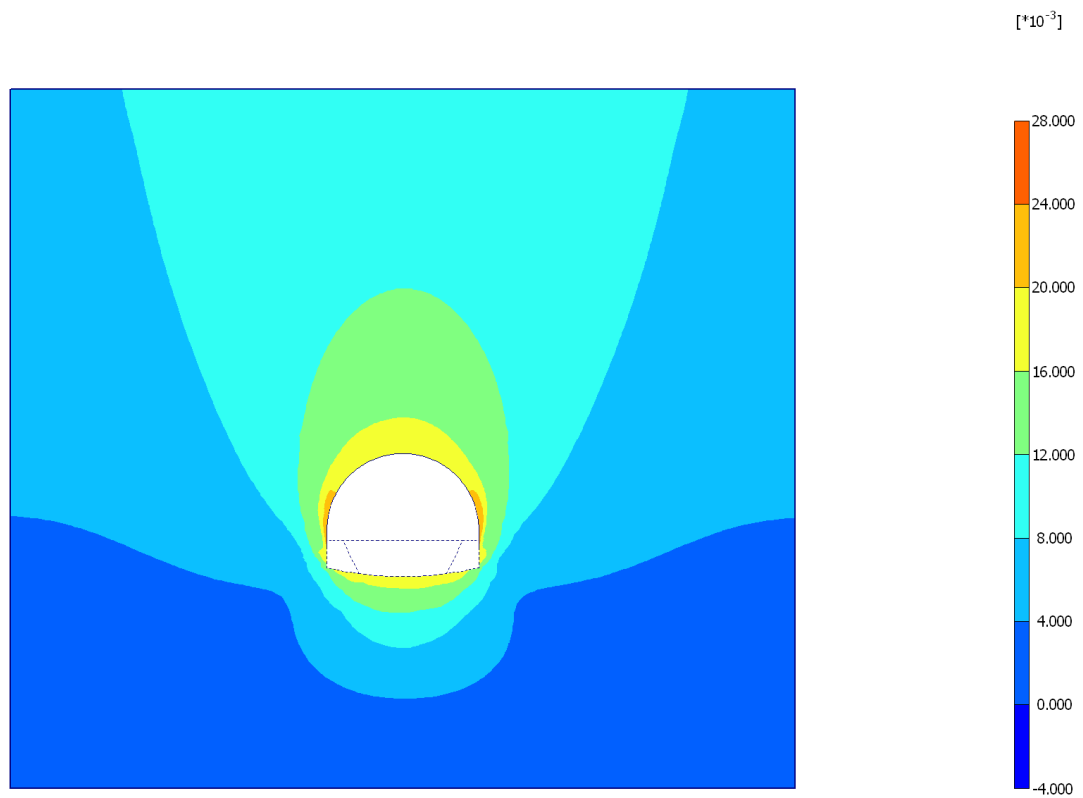


Fig. 27 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 122 - (Phase: 6)

11.2 Stresses

11.2.1 Plot of total stresses

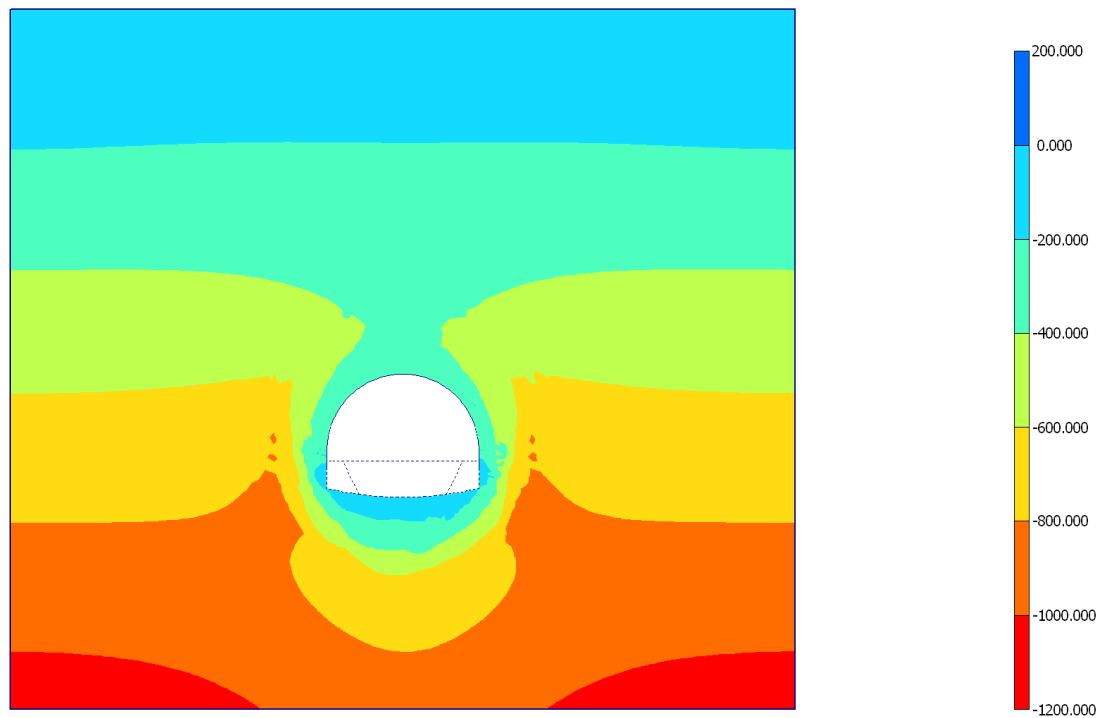


Fig. 28 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 122 - (Phase: 6)

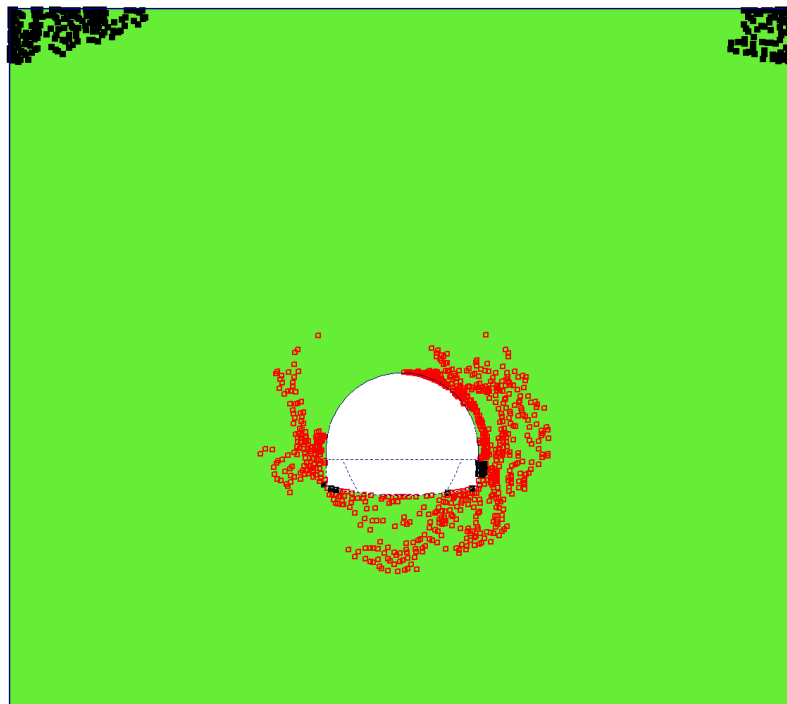


Fig. 29 Plot of plastic points
- Step no: 122 - (Phase: 6)

11.3 Structures

11.3.1 Beams

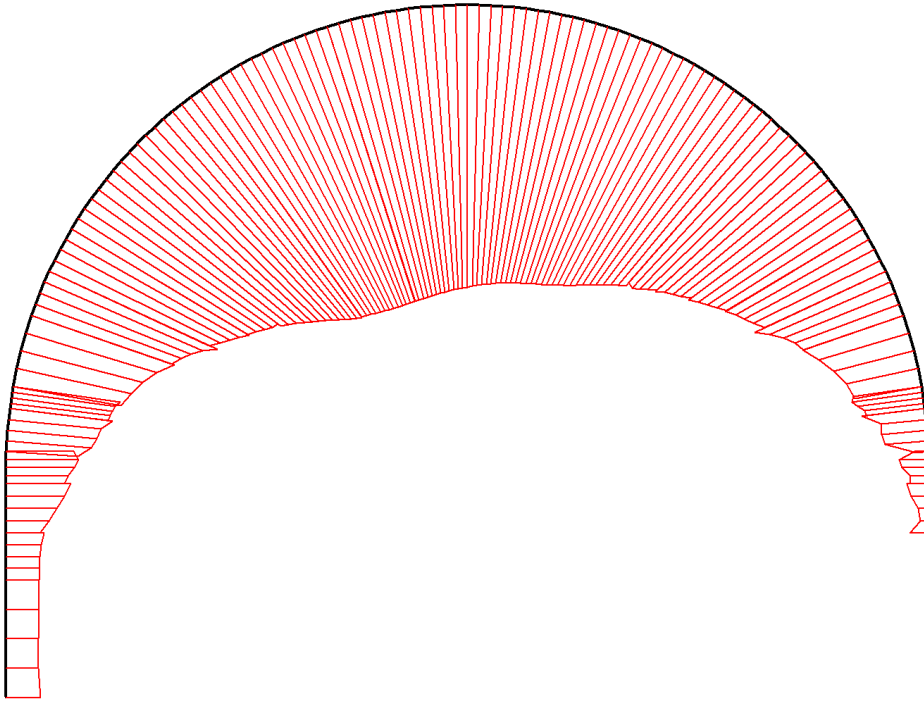


Fig. 30 Axial forces in beam
Extreme value -600,76 kN/m (Phase: 6)

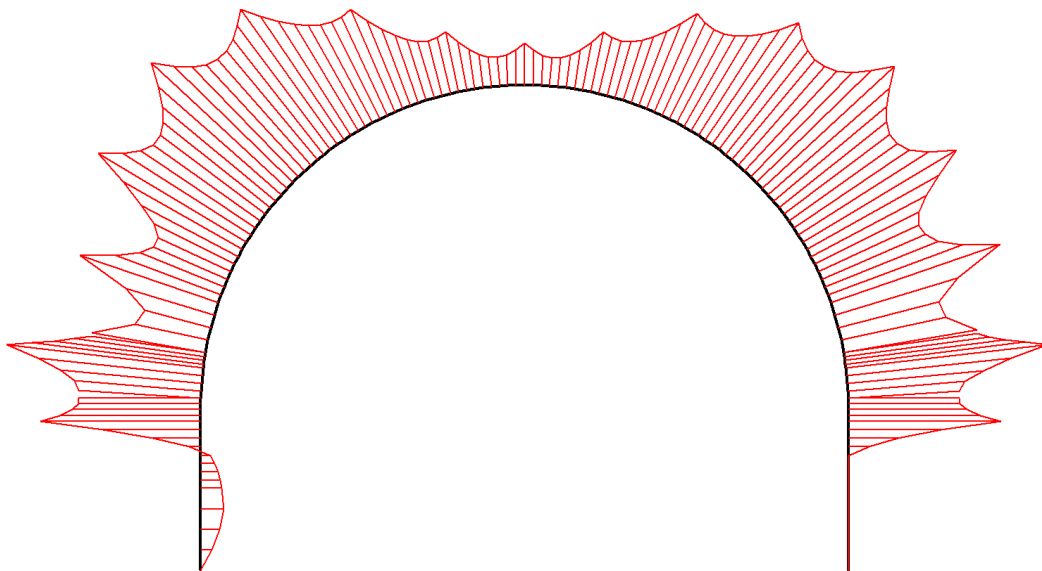


Fig. 31 Bending moments in beam
Extreme value -46,16 kNm/m (Phase: 6)

Table [13] Anchors phase no: 6

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	2105	-8,654	1,089	1,600	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1883	-4,799	2,155						
2	2855	-8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	2475	-4,799	3,155						
3	3765	-8,740	4,322	182,330	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2621	-4,758	3,939						
4	4569	-8,350	6,112	155,777	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3335	-4,536	4,911						
5	4655	-7,600	7,782	118,599	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3939	-4,116	5,811						
6	5921	-6,510	9,262	83,305	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5157	-3,519	6,606						
7	6321	-5,150	10,482	57,790	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	5519	-2,777	7,257						
8	7645	-1,820	11,952	33,932	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6373	-0,980	8,041						
9	7755	0,000	12,142	32,697	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6589	0,000	8,142						
10	8299	1,820	11,952	34,472	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6977	0,980	8,041						
11	8607	3,560	11,392	41,606	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7013	1,917	7,742						
12	8617	5,150	10,482	56,761	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	7215	2,777	7,257						
13	8627	6,510	9,262	81,047	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7241	3,519	6,606						
14	6631	4,536	4,911	152,537	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7919	8,350	6,112						
15	8209	7,600	7,782	115,095	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6753	4,116	5,811						
16	5908	4,758	3,939	182,600	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7519	8,740	4,322						
17	7081	8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5309	4,799	3,155						
18	7135	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5759	4,799	2,155						
19	6925	-3,560	11,392	41,692	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6100	-1,917	7,742						

12.Results for phase 7

12.1 Deformations

12.1.1 Plot of total displacements

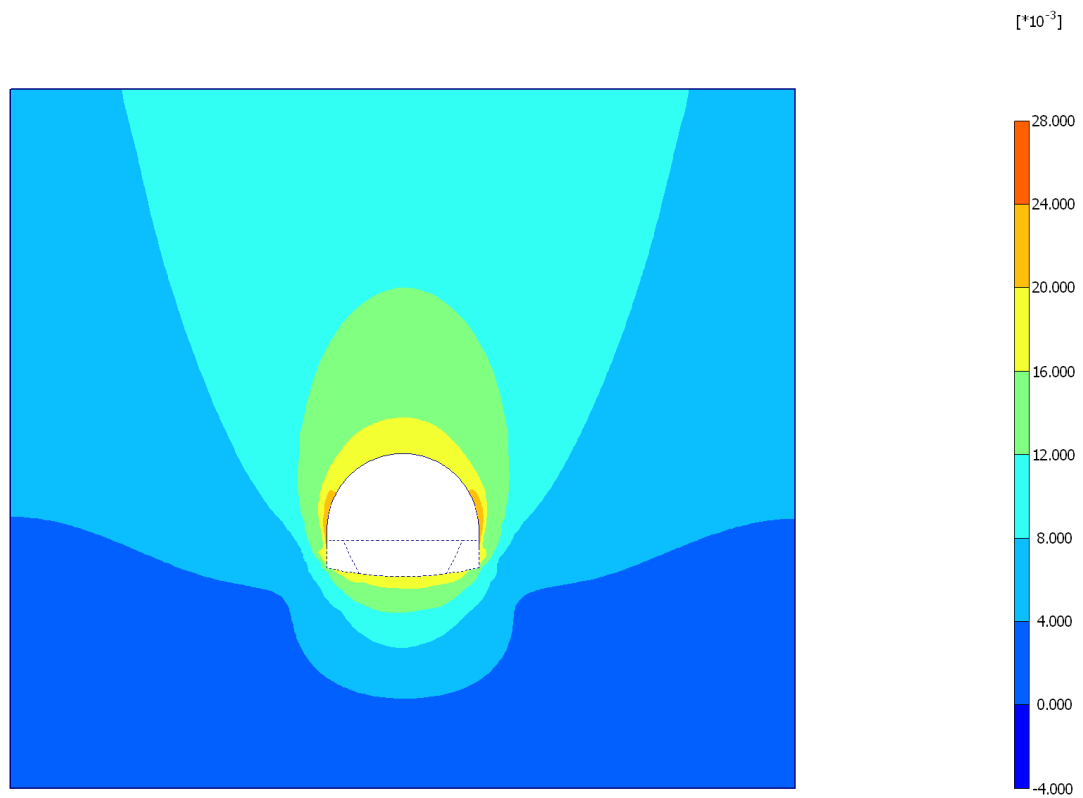


Fig. 32 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 124 - (Phase: 7)

12.2 Stresses

12.2.1 Plot of total stresses

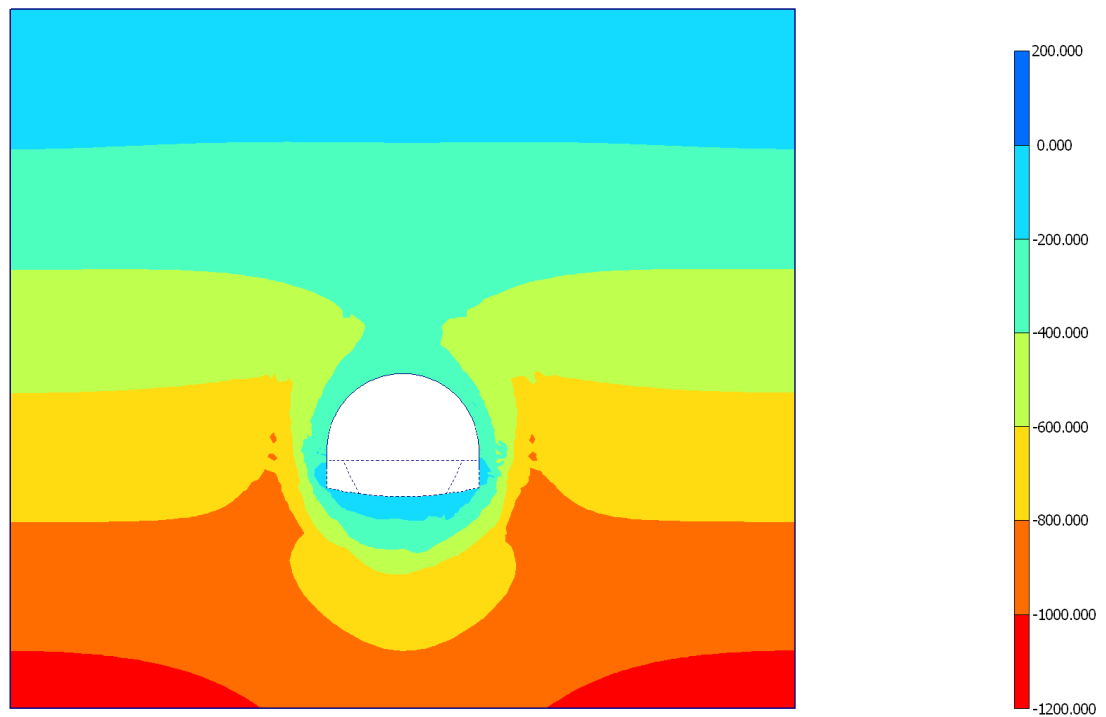


Fig. 33 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 124 - (Phase: 7)

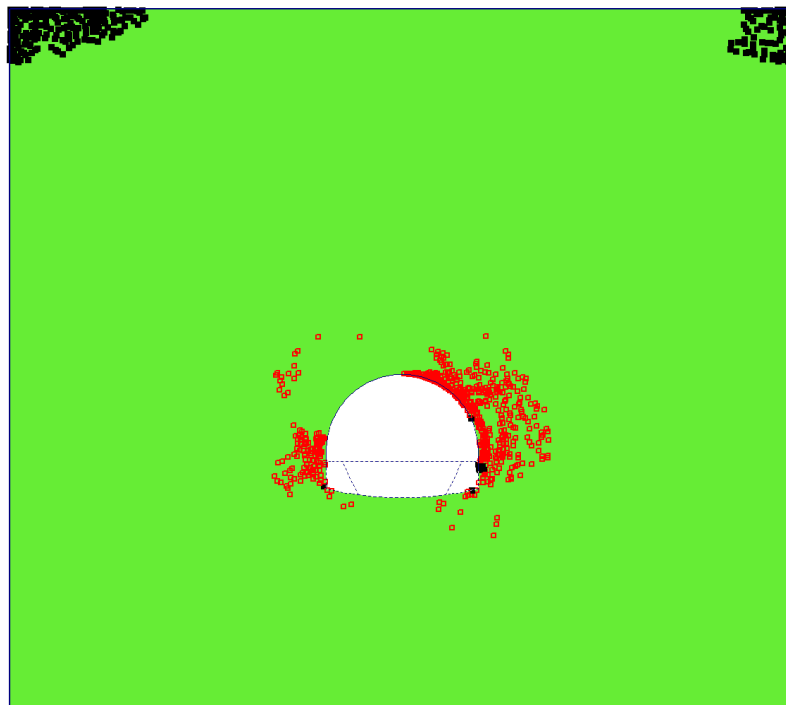


Fig. 34 Plot of plastic points
- Step no: 124 - (Phase: 7)

12.3 Structures

12.3.1 Beams

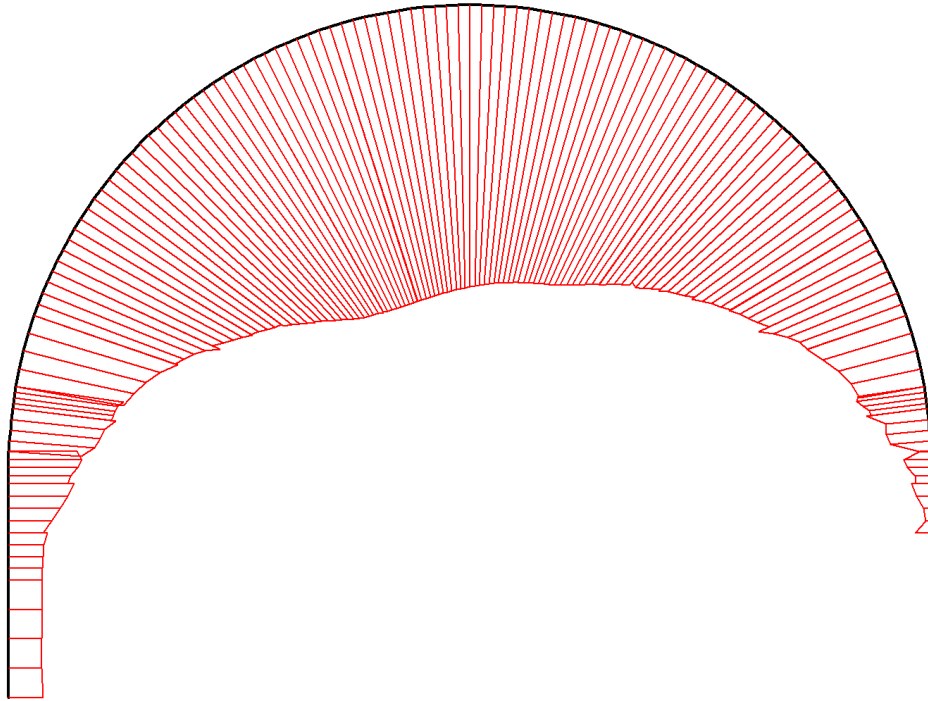


Fig. 35 Axial forces in beam
Extreme value -600,95 kN/m (Phase: 7)

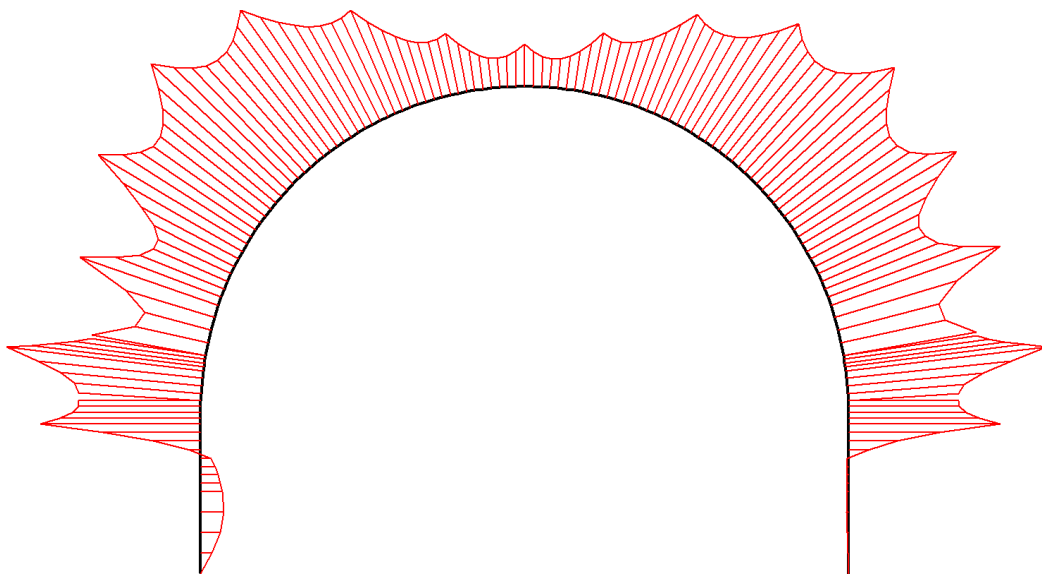


Fig. 36 Bending moments in beam
Extreme value -46,09 kNm/m (Phase: 7)

Table [14] Anchors phase no: 7

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	2105	-8,654	1,089	1,602	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1883	-4,799	2,155						
2	2855	-8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	2475	-4,799	3,155						
3	3765	-8,740	4,322	182,326	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	2621	-4,758	3,939						
4	4569	-8,350	6,112	155,771	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3335	-4,536	4,911						
5	4655	-7,600	7,782	118,595	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3939	-4,116	5,811						
6	5921	-6,510	9,262	83,304	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5157	-3,519	6,606						
7	6321	-5,150	10,482	57,793	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	5519	-2,777	7,257						
8	7645	-1,820	11,952	33,942	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6373	-0,980	8,041						
9	7755	0,000	12,142	32,712	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6589	0,000	8,142						
10	8299	1,820	11,952	34,503	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	6977	0,980	8,041						
11	8607	3,560	11,392	41,683	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	7013	1,917	7,742						
12	8617	5,150	10,482	56,913	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	7215	2,777	7,257						
13	8627	6,510	9,262	81,283	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	7241	3,519	6,606						
14	6631	4,536	4,911	152,795	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	7919	8,350	6,112						
15	8209	7,600	7,782	115,379	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6753	4,116	5,811						
16	5908	4,758	3,939	182,817	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	7519	8,740	4,322						
17	7081	8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	5309	4,799	3,155						
18	7135	8,654	1,089	0,049	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5759	4,799	2,155						
19	6925	-3,560	11,392	41,699	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	6100	-1,917	7,742						

REPORT

07/15/2021

User: EPTISA

Title: ST-II, CU-1 Margas. TRAMO SARRATU – APERRIBAI LINEA 5 FMB

Table [1] unitsTable [2] Model dimensionsTable [3] Model

2. Structures



3. Mesh data

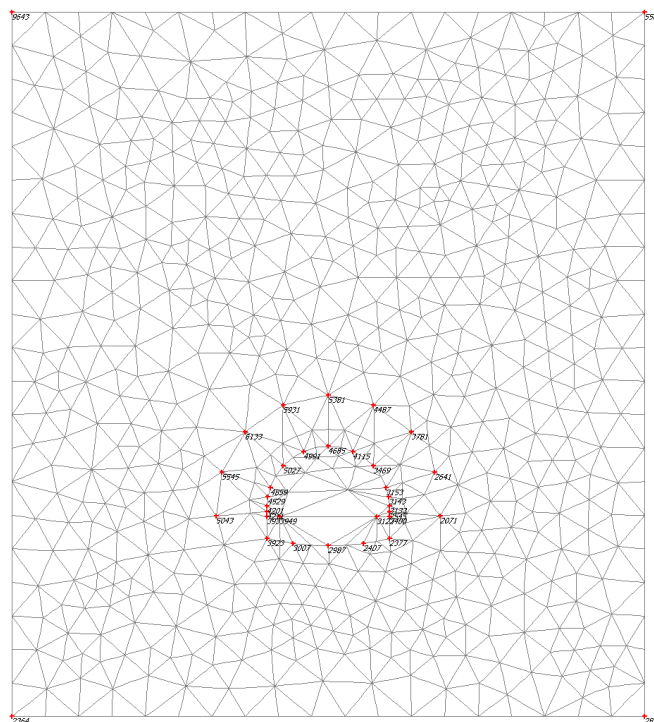


Fig. 2 Plot of the mesh with significant nodes

4. Material data

Table [6] Soil data sets parameters

<i>Mohr-Coulomb</i>		1
Type		Margas RMR_55
		Drained
γ_{unsat}	[kN/m ³]	27,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	27,00
k_x	[m/day]	0,000
k_y	[m/day]	0,000
e_{init}	[-]	0,500
c_k	[-]	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	6500000,000
ν	[-]	0,300
G_{ref}	[kN/m ²]	2500000,000
E_{oed}	[kN/m ²]	8750000,000
c_{ref}	[kN/m ²]	360,00
ϕ	[°]	49,00
ψ	[°]	0,00
E_{inc}	[kN/m ² /m]	0,00
y_{ref}	[m]	0,000
$c_{\text{increment}}$	[kN/m ² /m]	0,00
$T_{\text{str.}}$	[kN/m ²]	0,00
$R_{\text{inter.}}$	[-]	1,00
Interface permeability		Neutral

Table [7] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]	ν [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
1	Gunita 0,10	1,45E6	1210,00	2,50	0,20	1E15	1E15

Table [8] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L spacing [m]
1	Swellex Mn18?	103000,00	184,000	184,000	2,00

5. Calculation phases

Table [9] List of phases

Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step
Initial phase	0	0		-	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic analysis	Staged construction	1	2
<Phase 2>	2	1	Plastic analysis	Staged construction	3	4
<Phase 3>	3	2	Plastic analysis	Staged construction	5	40
<Phase 4>	4	3	Plastic analysis	Staged construction	41	42
<Phase 5>	5	4	Plastic analysis	Staged construction	43	46
<Phase 6>	6	5	Plastic analysis	Staged construction	47	49
<Phase 7>	7	6	Plastic analysis	Staged construction	50	51

6. Results for phase 1

6.1 Deformations

6.1.1 Plot of total displacements

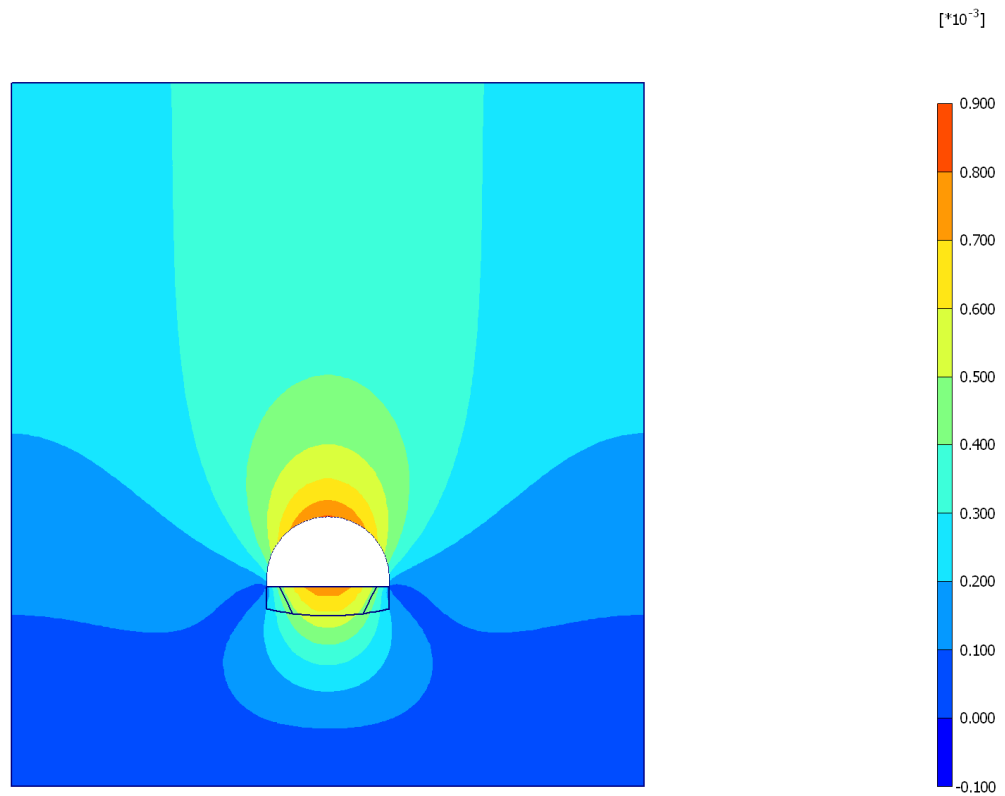


Fig. 3 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

6.2 Stresses

6.2.1 Plot of total stresses

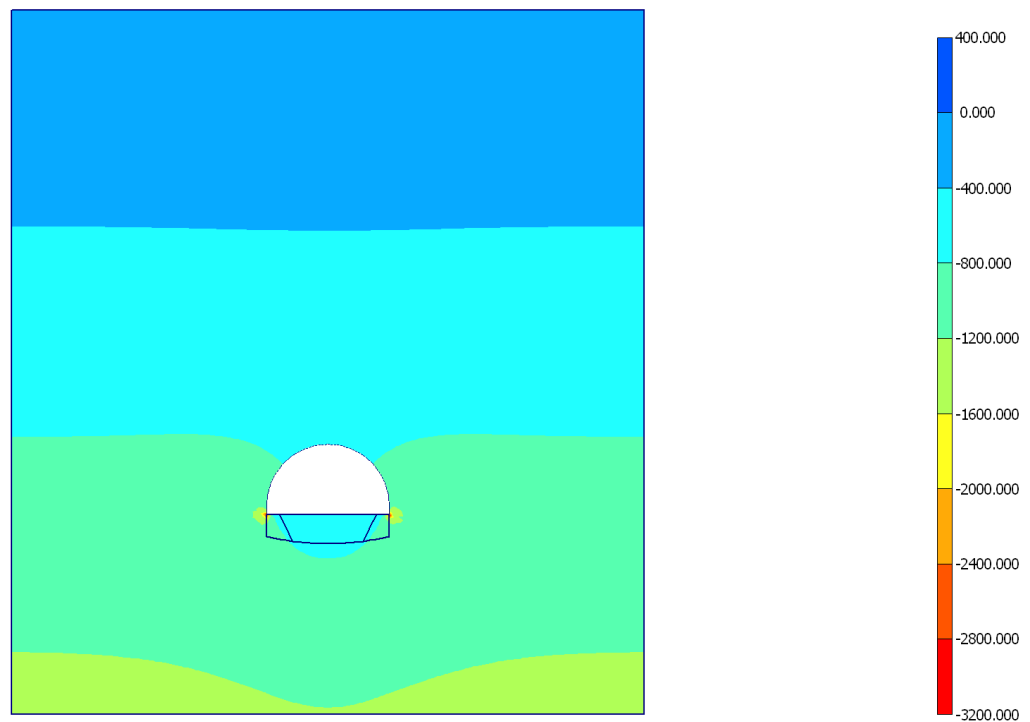


Fig. 4 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

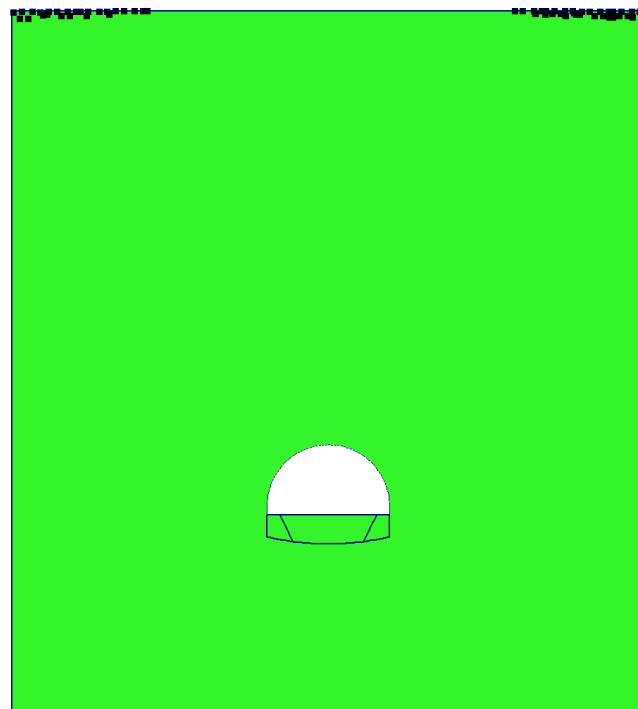


Fig. 5 Plot of plastic points
- Step no: 2 - (Phase: 1)

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	5043	-8,800	2,682	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	4211	-4,799	3,046						
2	5545	-8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4859	-4,536	4,911						
3	6133	-6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5027	-3,519	6,606						
4	5931	-3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4991	-1,917	7,742						
5	4487	3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4115	1,917	7,742						
6	3781	6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3469	3,519	6,606						
7	2641	8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3153	4,536	4,911						
8	2071	8,800	2,682	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2545	4,799	3,046						
9	5381	0,000	12,142	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4685	0,000	8,142						

7. Results for phase 2

7.1 Deformations

7.1.1 Plot of total displacements

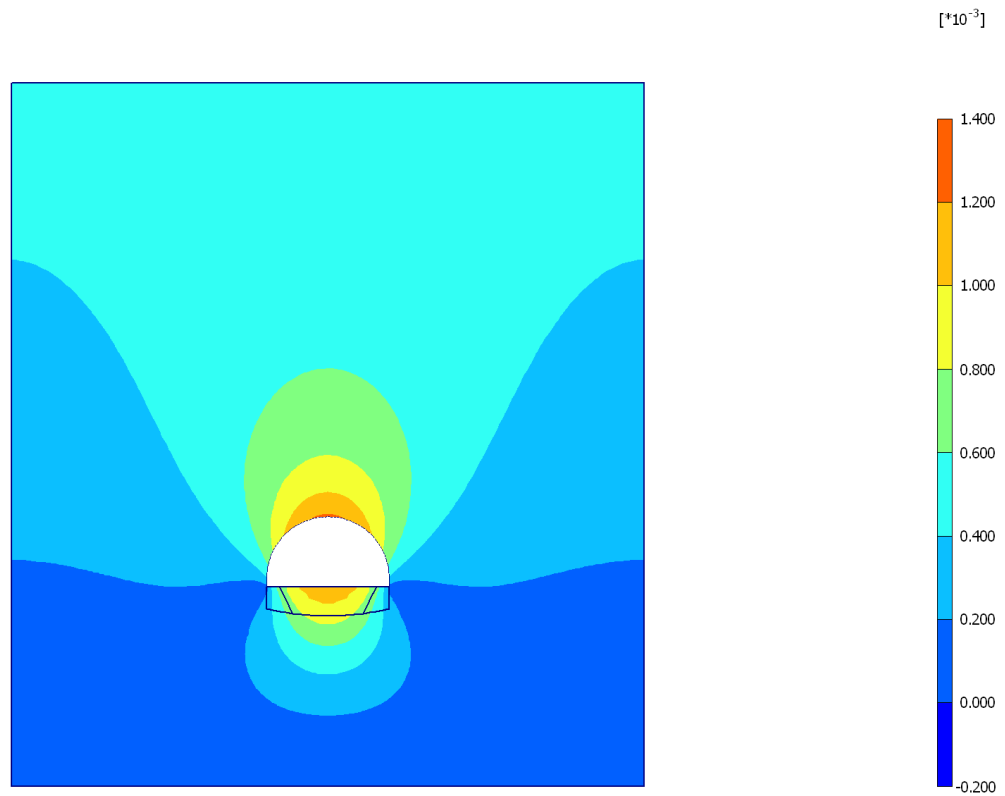


Fig. 6 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 4 - (Phase: 2)

7.2 Stresses

7.2.1 Plot of total stresses

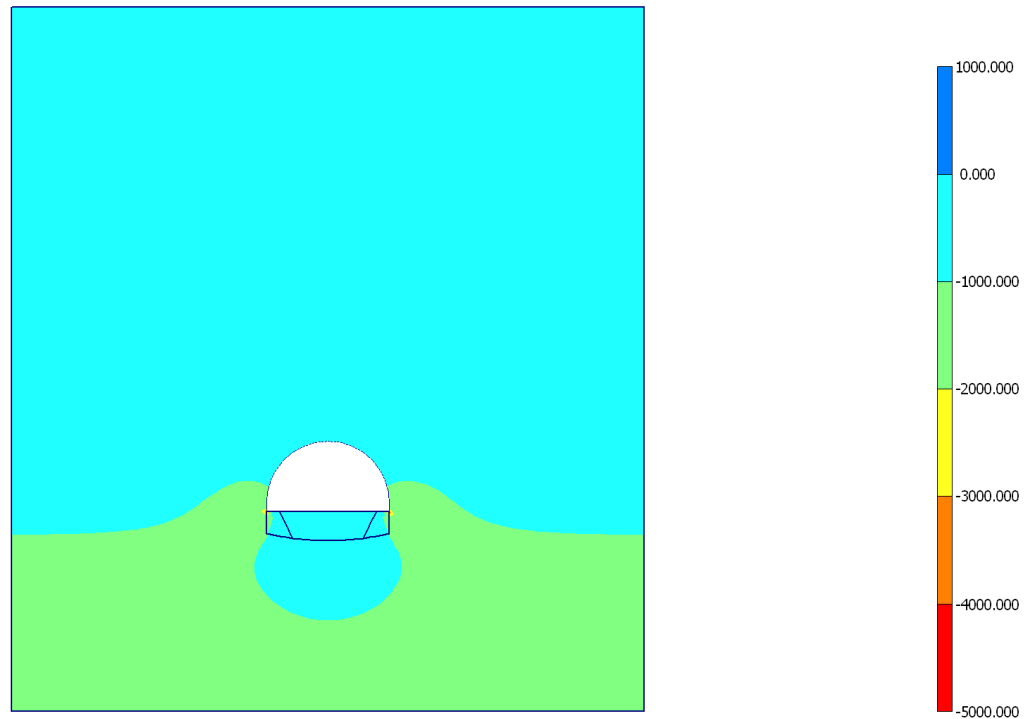


Fig. 7 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 4 - (Phase: 2)

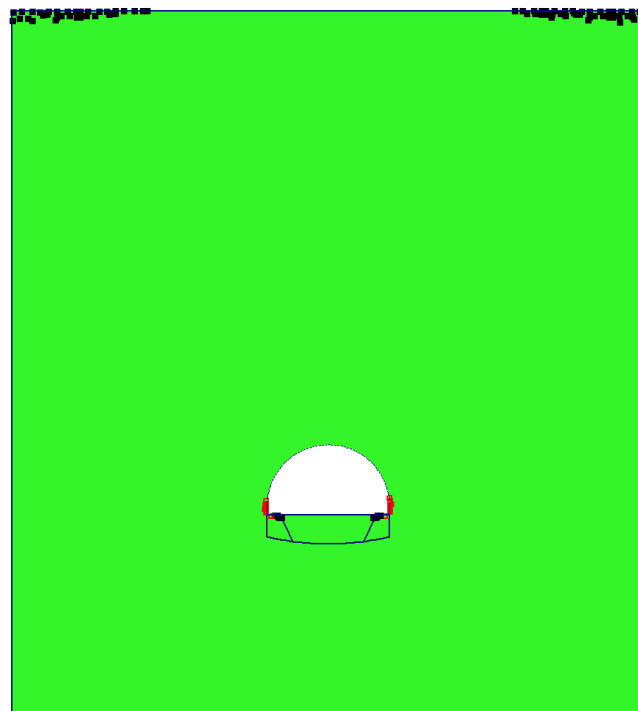


Fig. 8 Plot of plastic points
- Step no: 4 - (Phase: 2)

7.3 Structures

7.3.1 Beams

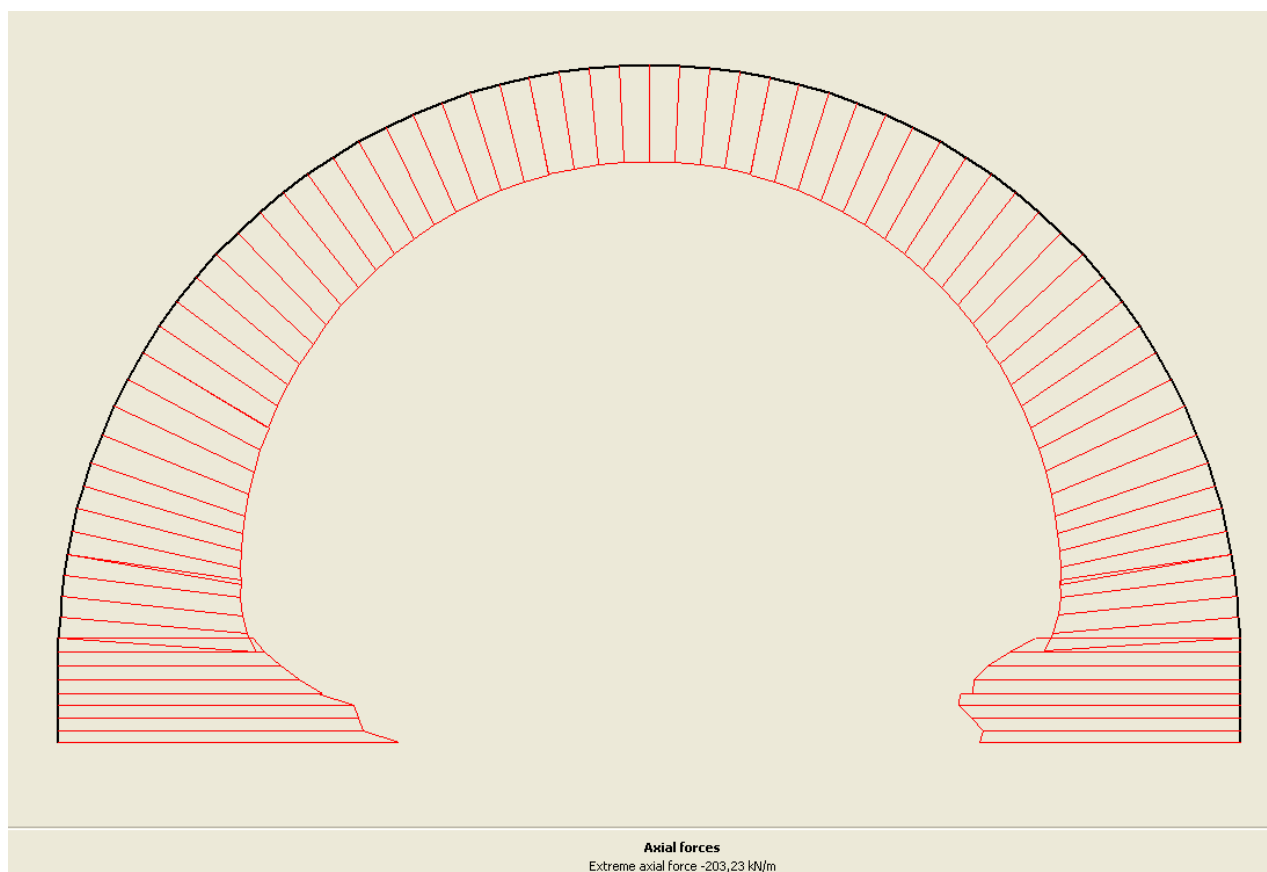
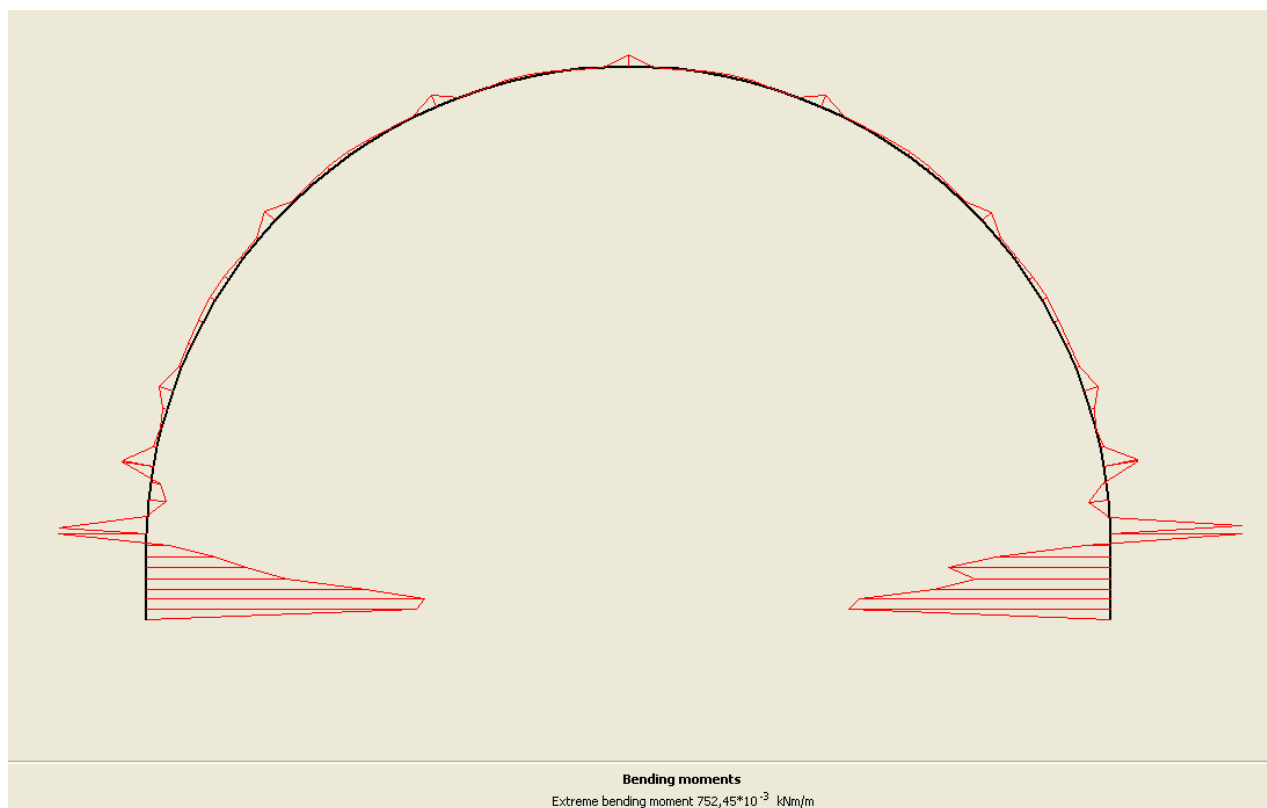


Table [11] Anchors phase no: 2

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	5043	-8,800	2,682	1,791	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	4211	-4,799	3,046						
2	5545	-8,350	6,112	2,811	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4859	-4,536	4,911						
3	6133	-6,510	9,262	3,117	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5027	-3,519	6,606						
4	5931	-3,560	11,392	3,308	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4991	-1,917	7,742						
5	4487	3,560	11,392	3,309	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4115	1,917	7,742						
6	3781	6,510	9,262	3,120	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3469	3,519	6,606						
7	2641	8,350	6,112	2,819	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3153	4,536	4,911						
8	2071	8,800	2,682	1,815	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2545	4,799	3,046						
9	5381	0,000	12,142	3,382	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4685	0,000	8,142						

8. Results for phase 3

8.1 Deformations

8.1.1 Plot of total displacements

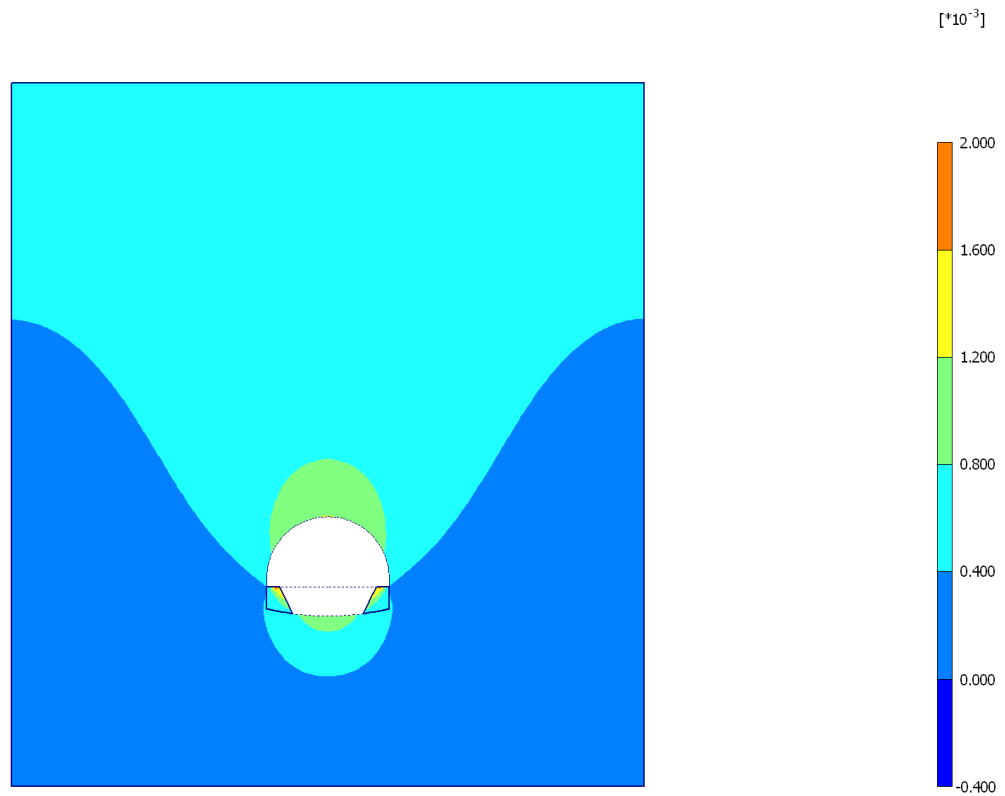


Fig. 9 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 40 - (Phase: 3)

8.2 Stresses

8.2.1 Plot of total stresses

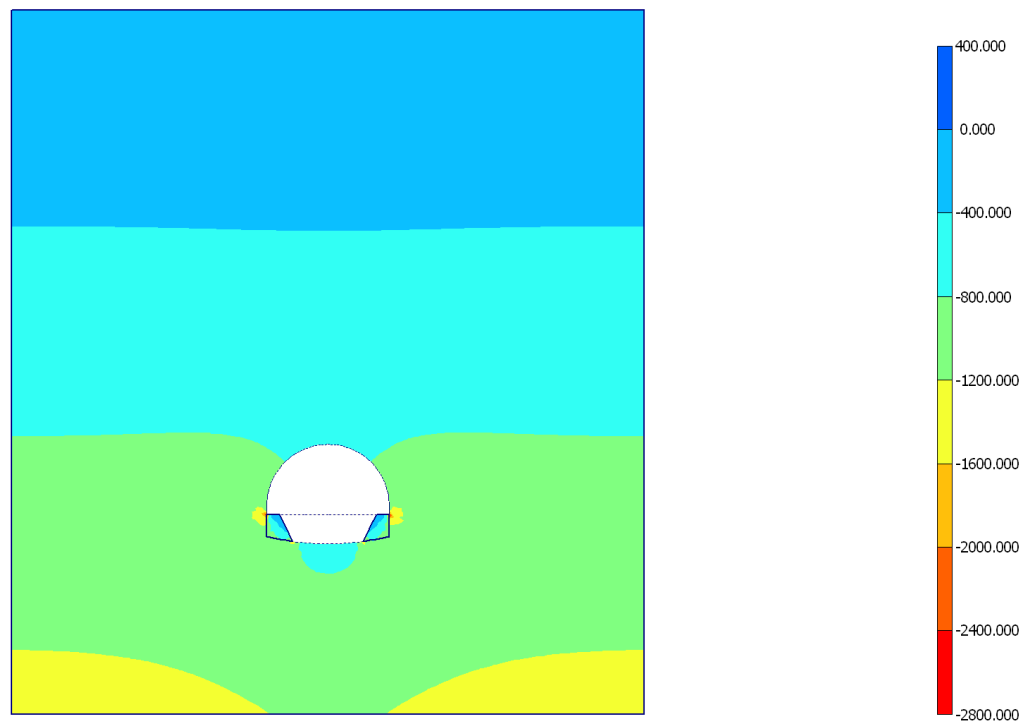


Fig. 10 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 40 - (Phase: 3)

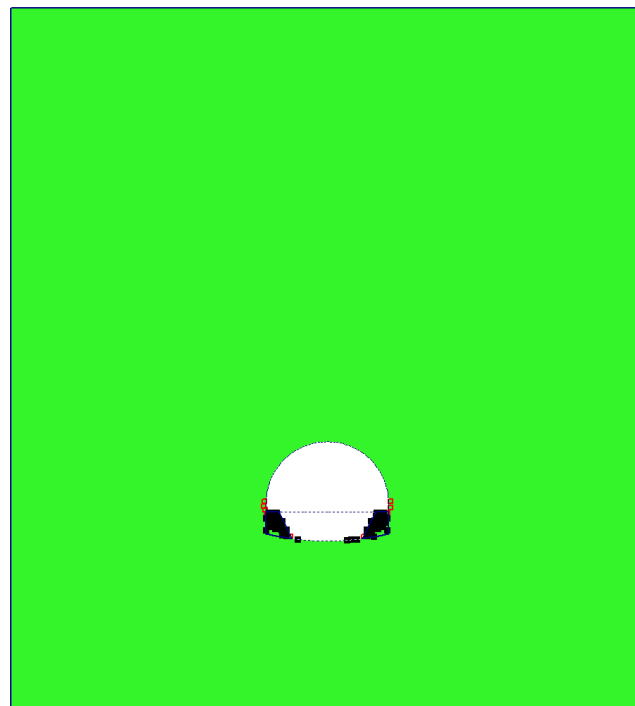
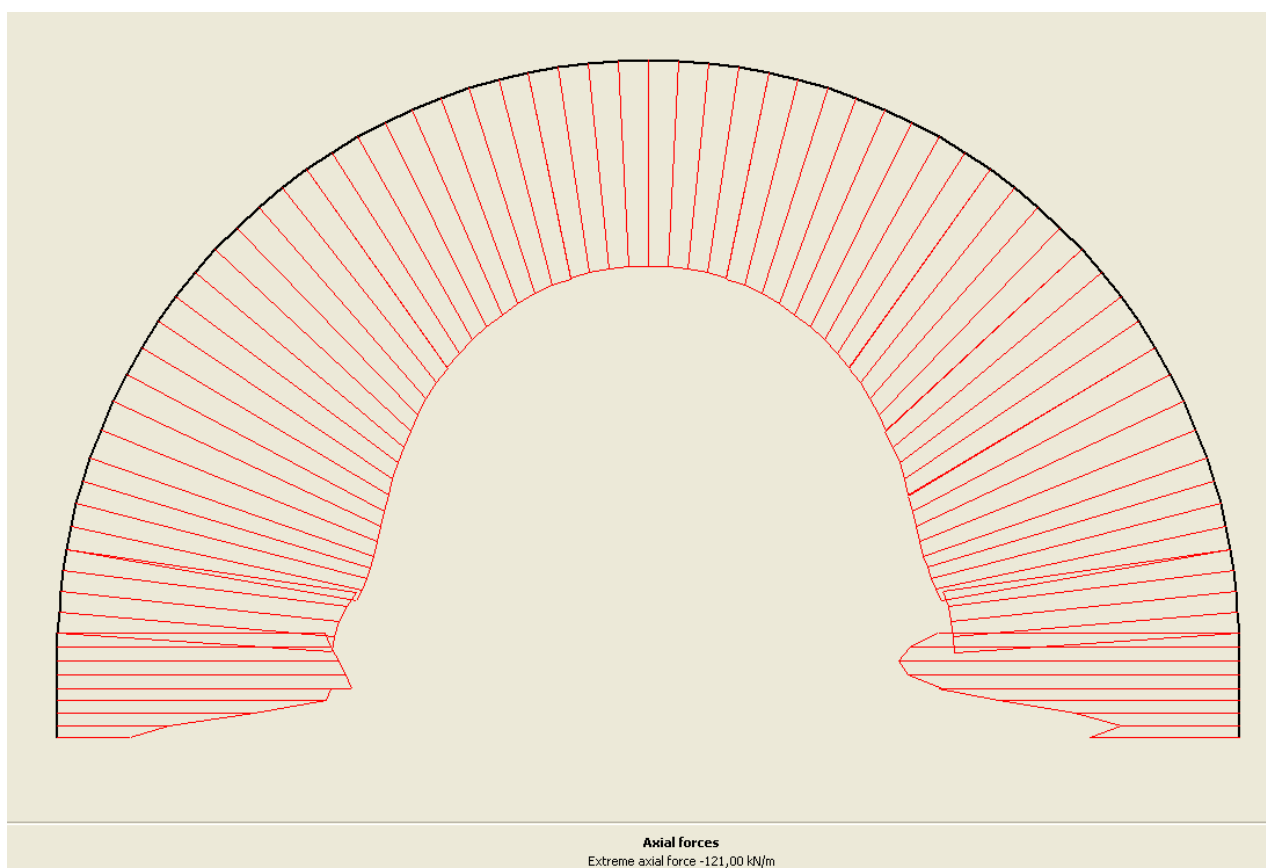
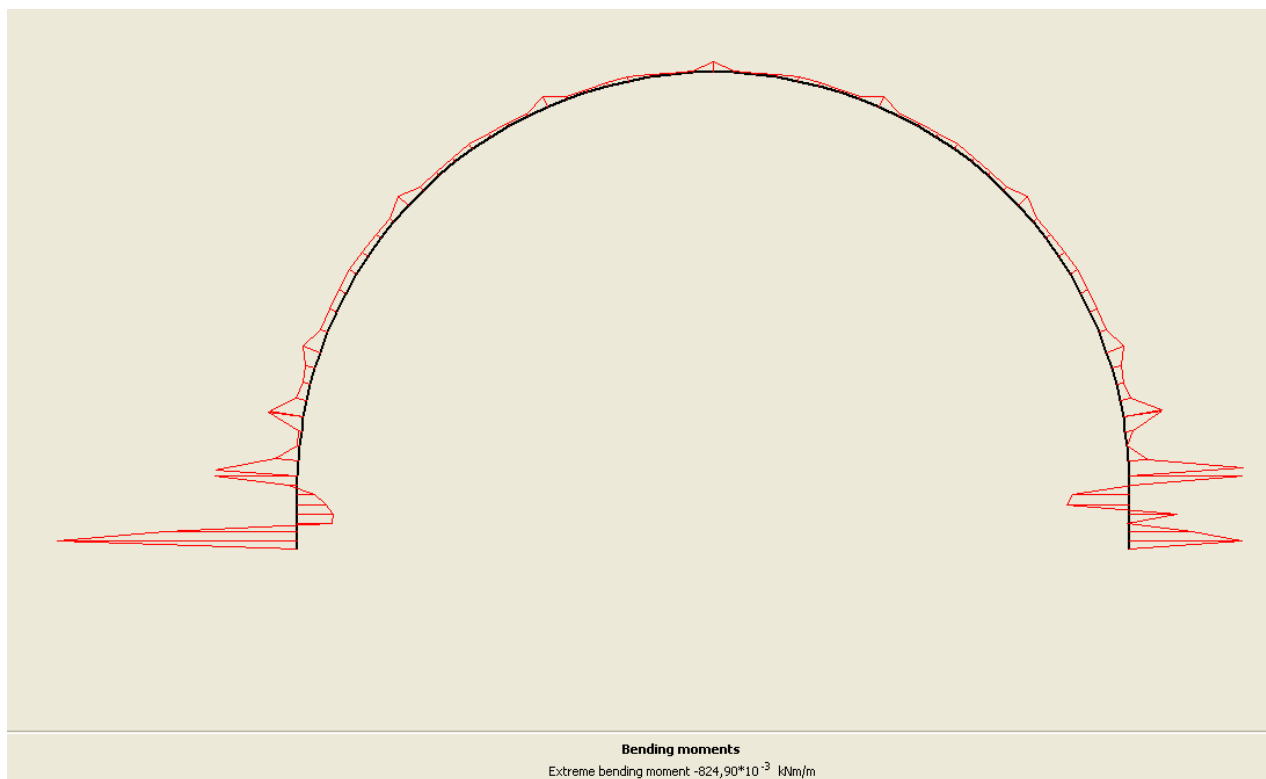


Fig. 11 Plot of plastic points
- Step no: 40 - (Phase: 3)

8.3 Structures

8.3.1 Beams



8.3.2 Anchors

Table [12] Anchors phase no: 3

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	5043	-8,800	2,682	4,249	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	4211	-4,799	3,046						
2	5545	-8,350	6,112	3,246	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4859	-4,536	4,911						
3	6133	-6,510	9,262	3,212	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5027	-3,519	6,606						
4	5931	-3,560	11,392	3,329	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4991	-1,917	7,742						
5	4487	3,560	11,392	3,329	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4115	1,917	7,742						
6	3781	6,510	9,262	3,212	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3469	3,519	6,606						
7	2641	8,350	6,112	3,242	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3153	4,536	4,911						
8	2071	8,800	2,682	4,210	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2545	4,799	3,046						
9	5381	0,000	12,142	3,388	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4685	0,000	8,142						

9. Results for phase 4

9.1 Deformations

9.1.1 Plot of total displacements

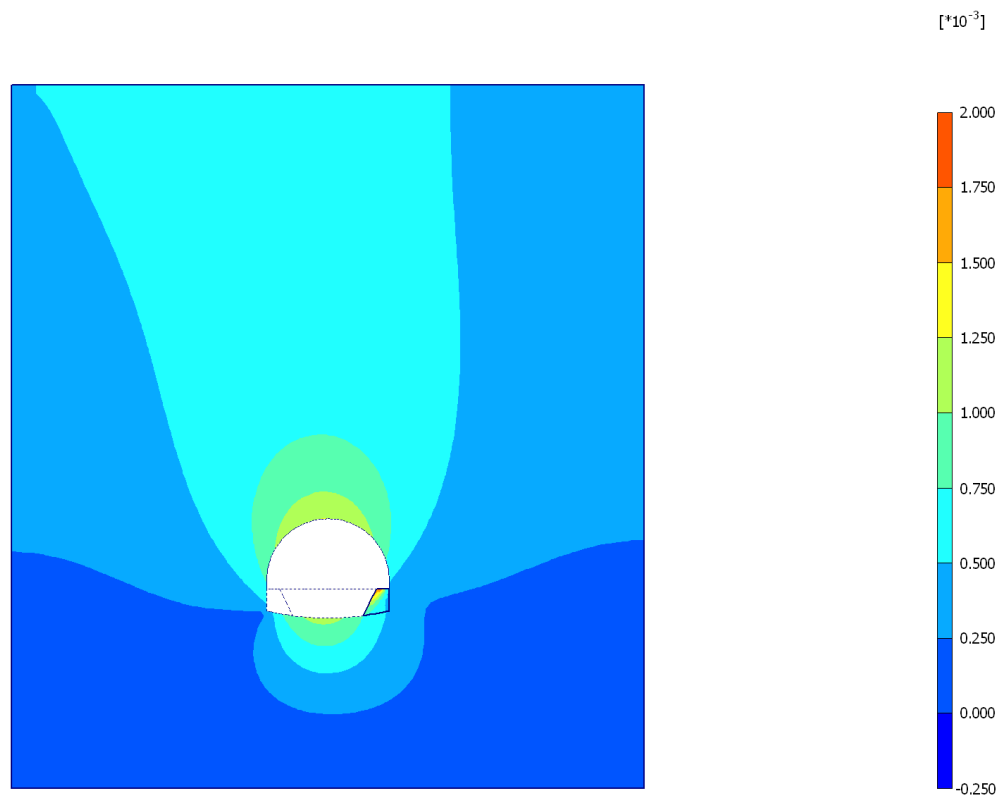


Fig. 12 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 42 - (Phase: 4)

9.2 Stresses

9.2.1 Plot of total stresses

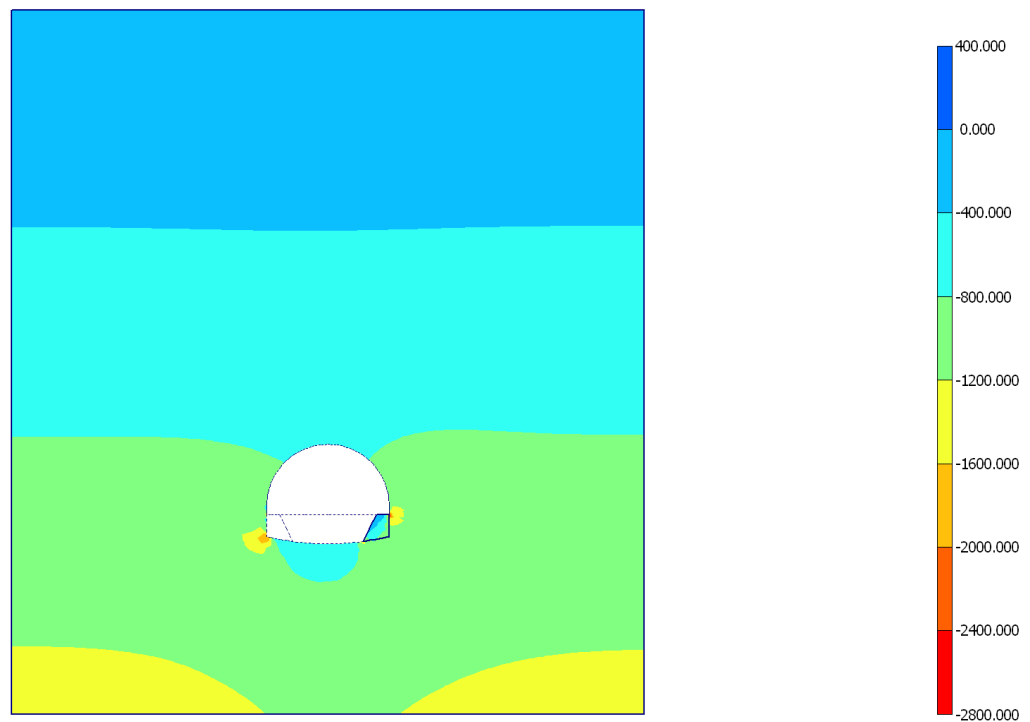


Fig. 13 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 42 - (Phase: 4)

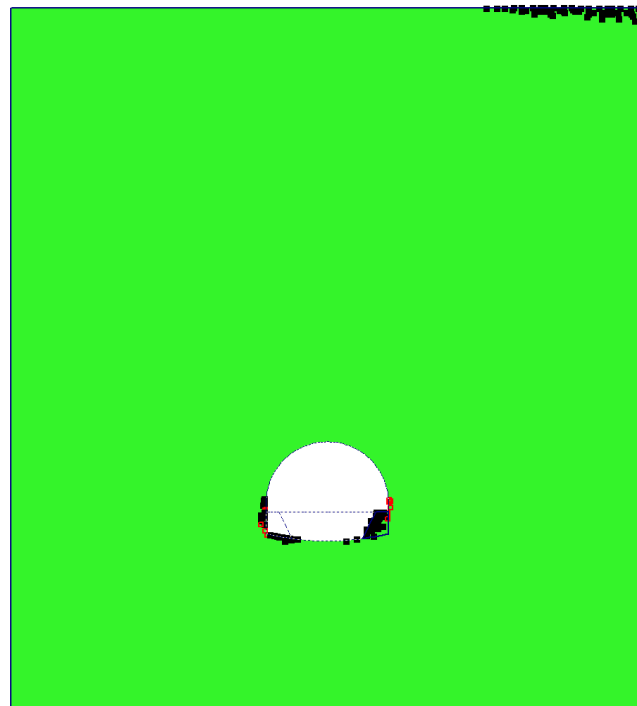
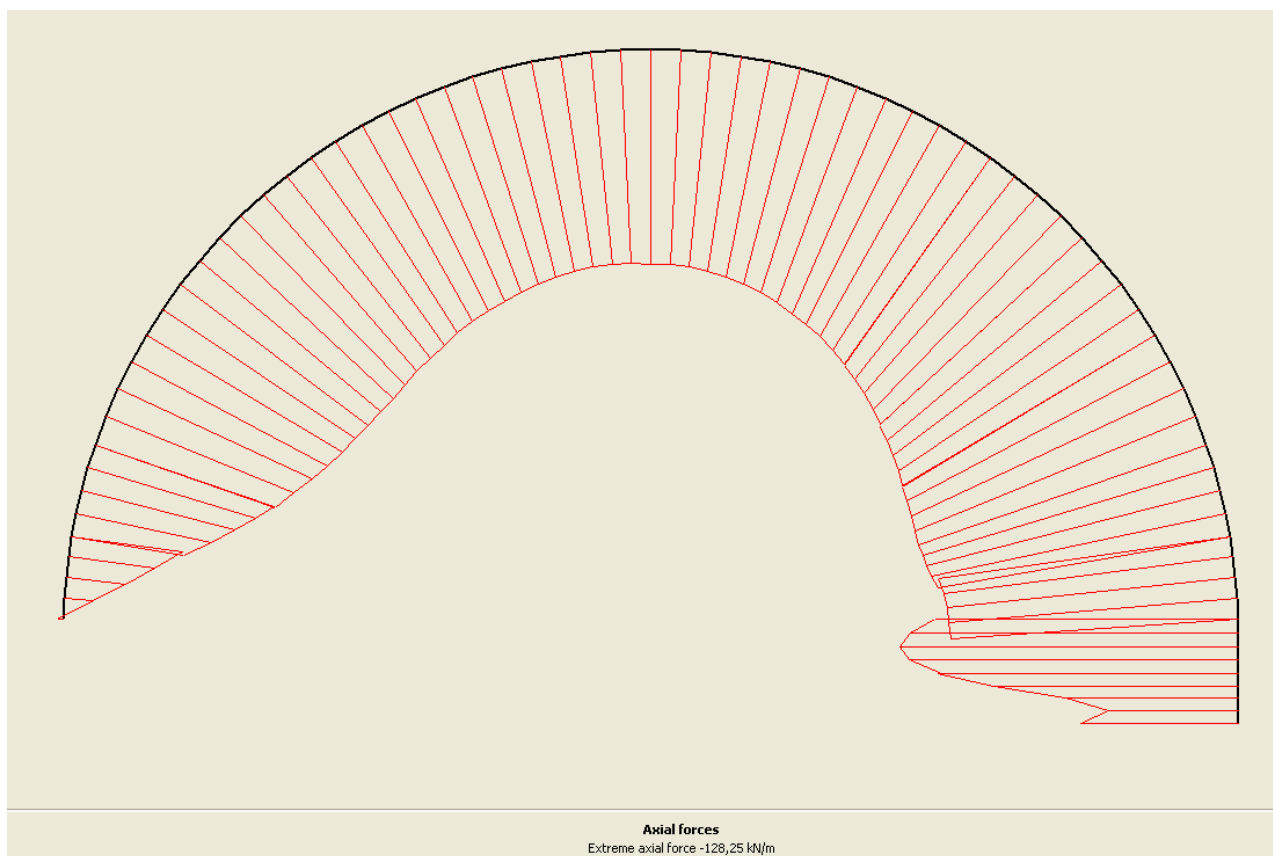
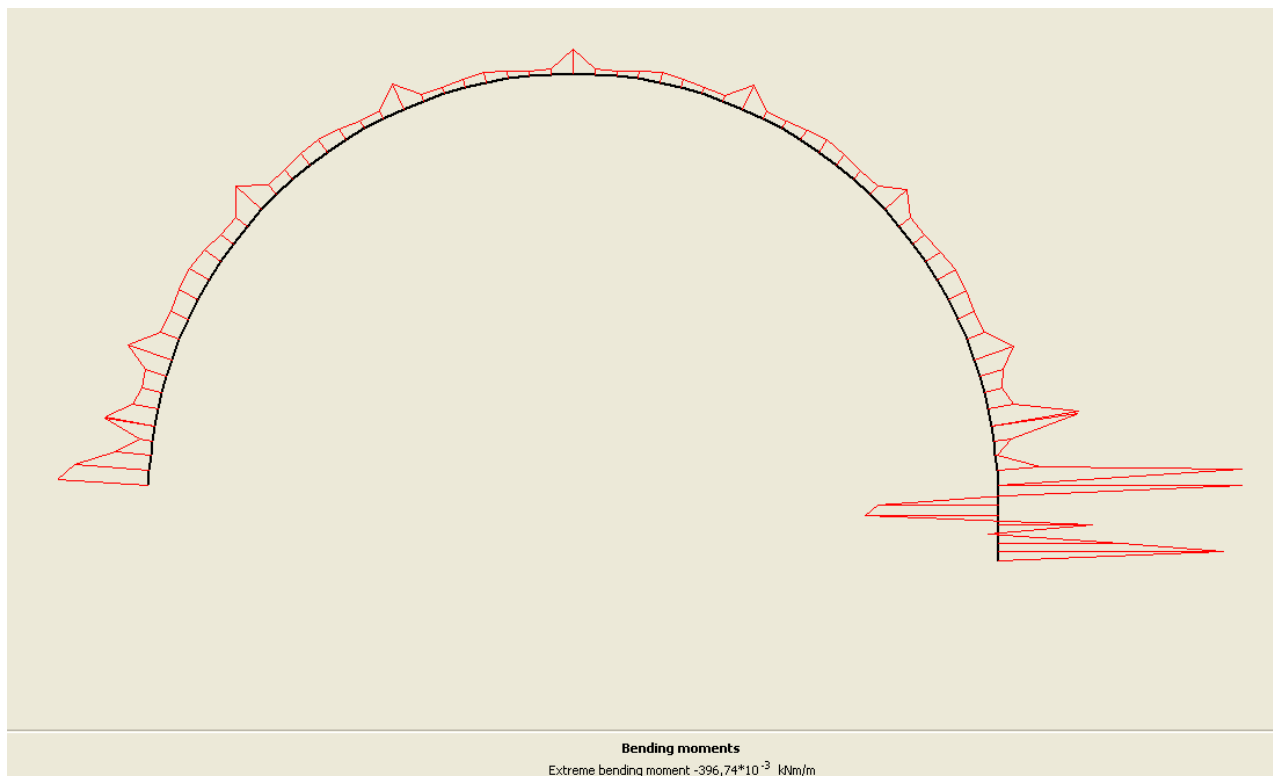


Fig. 14 Plot of plastic points
- Step no: 42 - (Phase: 4)

9.3 Structures

9.3.1 Beams



10. Results for phase 5

10.1 Deformations

10.1.1 Plot of total displacements

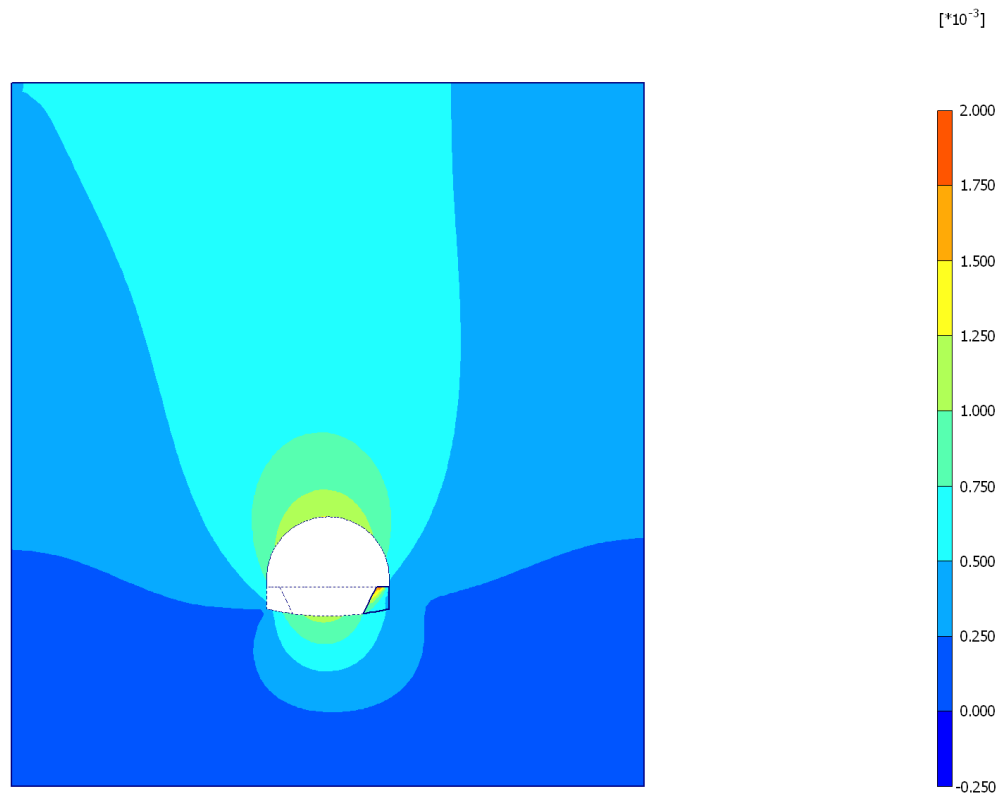


Fig. 15 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 46 - (Phase: 5)

10.2 Stresses

10.2.1 Plot of total stresses

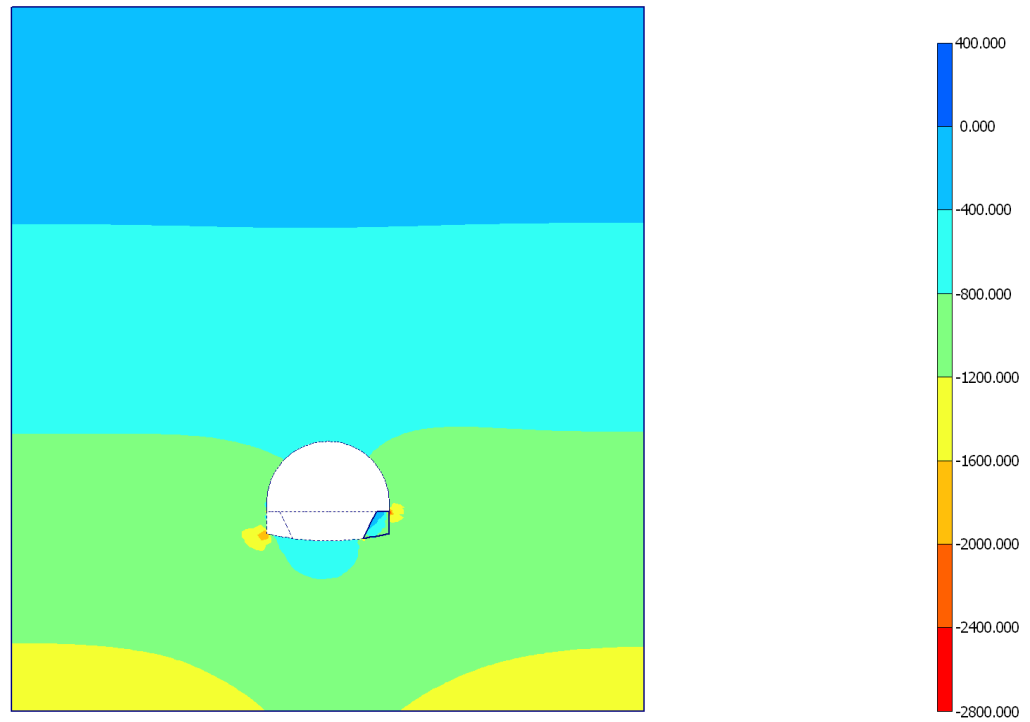


Fig. 16 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 46 - (Phase: 5)

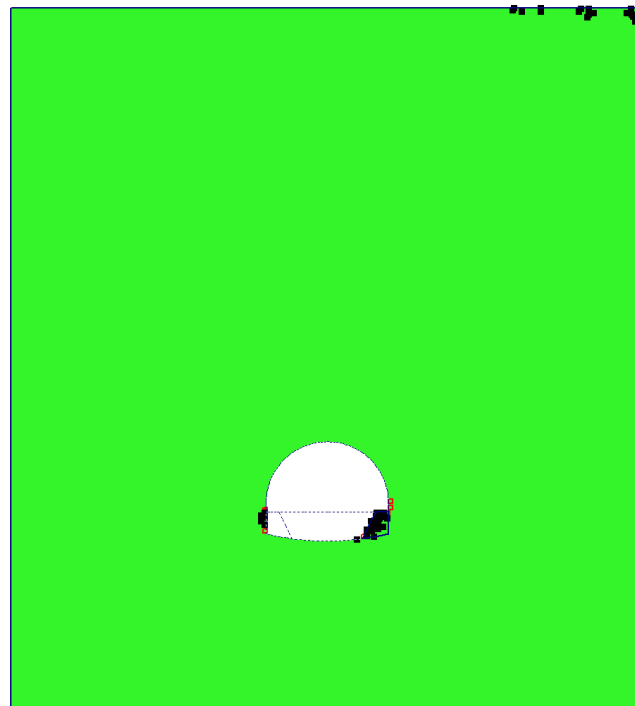
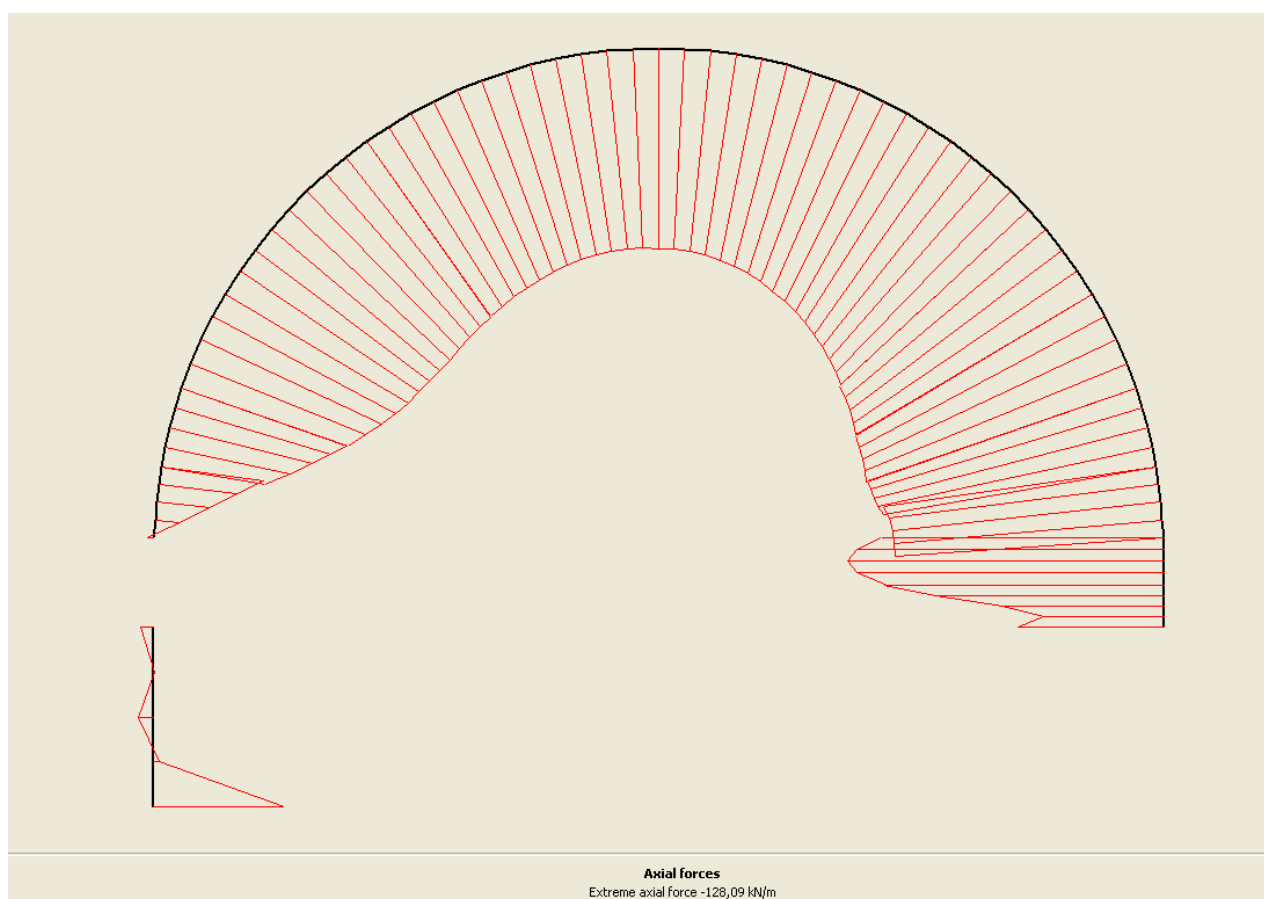
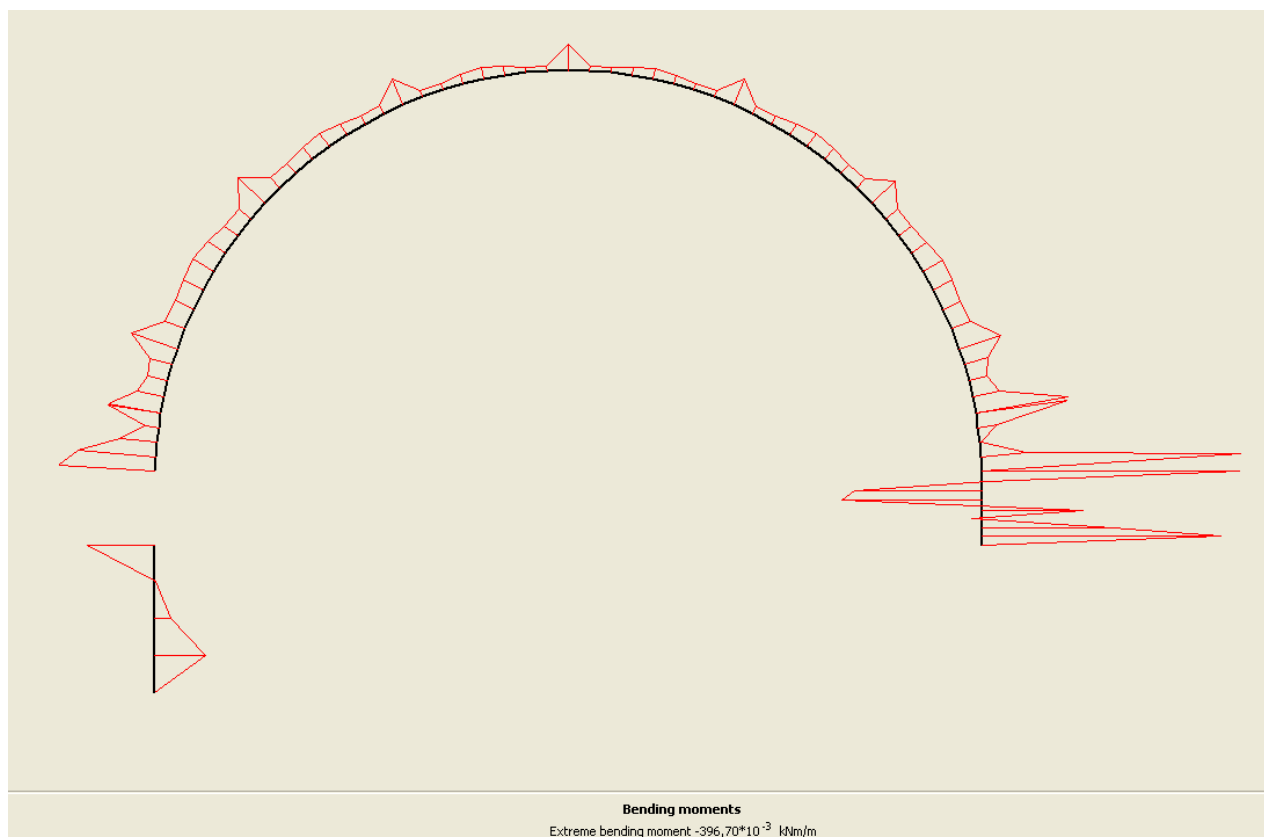


Fig. 17 Plot of plastic points
- Step no: 46 - (Phase: 5)

10.3 Structures

10.3.1 Beams



Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	5043	-8,800	2,682	6,894	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	4211	-4,799	3,046						
2	5545	-8,350	6,112	3,978	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4859	-4,536	4,911						
3	6133	-6,510	9,262	3,431	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5027	-3,519	6,606						
4	5931	-3,560	11,392	3,407	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4991	-1,917	7,742						
5	4487	3,560	11,392	3,363	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4115	1,917	7,742						
6	3781	6,510	9,262	3,241	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3469	3,519	6,606						
7	2641	8,350	6,112	3,268	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3153	4,536	4,911						
8	2071	8,800	2,682	4,243	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2545	4,799	3,046						
9	5381	0,000	12,142	3,430	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4685	0,000	8,142						

11. Results for phase 6

11.1 Deformations

11.1.1 Plot of total displacements

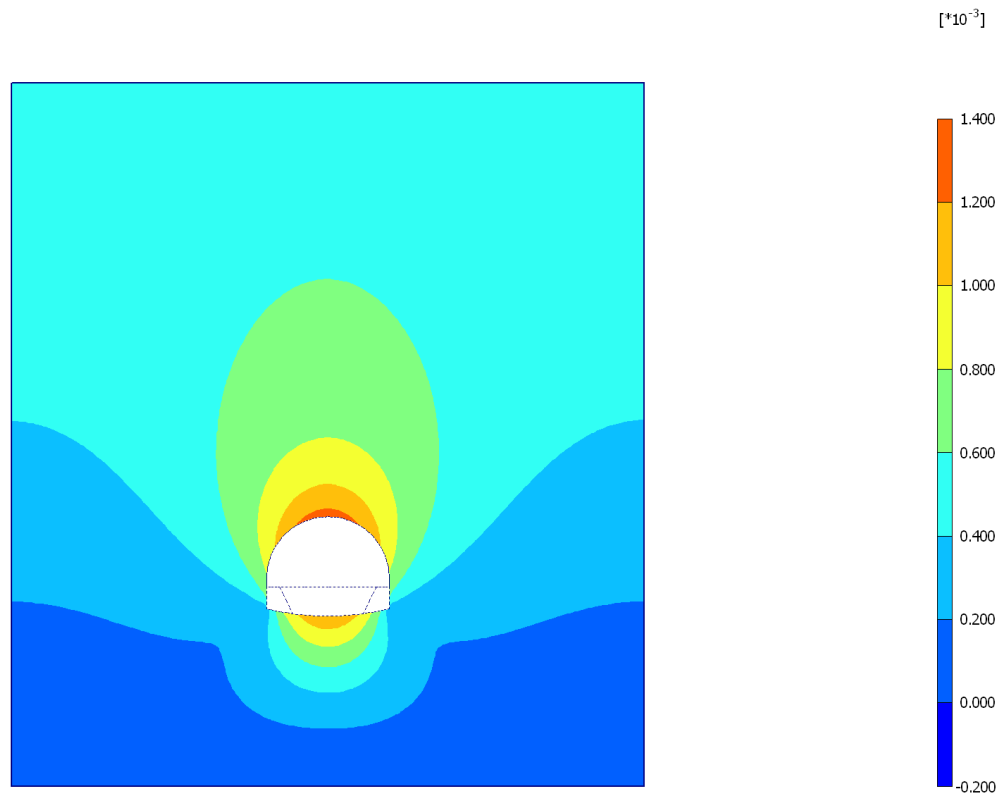


Fig. 18 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 49 - (Phase: 6)

11.2 Stresses

11.2.1 Plot of total stresses

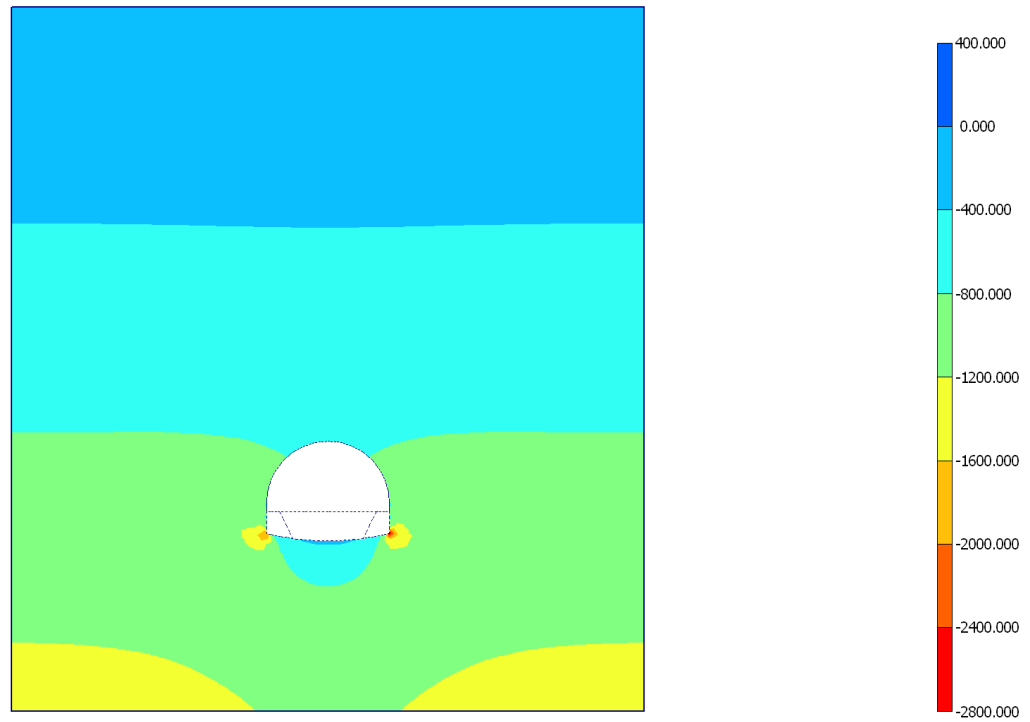


Fig. 19 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 49 - (Phase: 6)

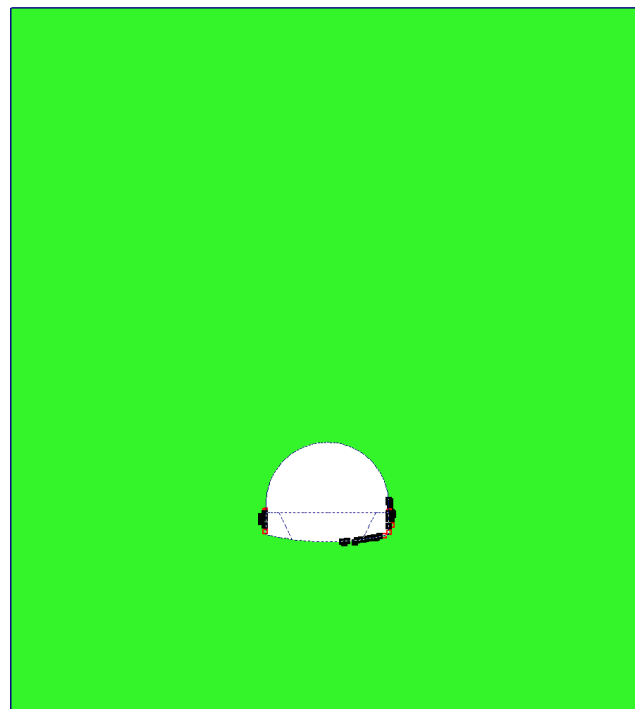


Fig. 20 Plot of plastic points
- Step no: 49 - (Phase: 6)

11.3 Structures

11.3.1 Beams

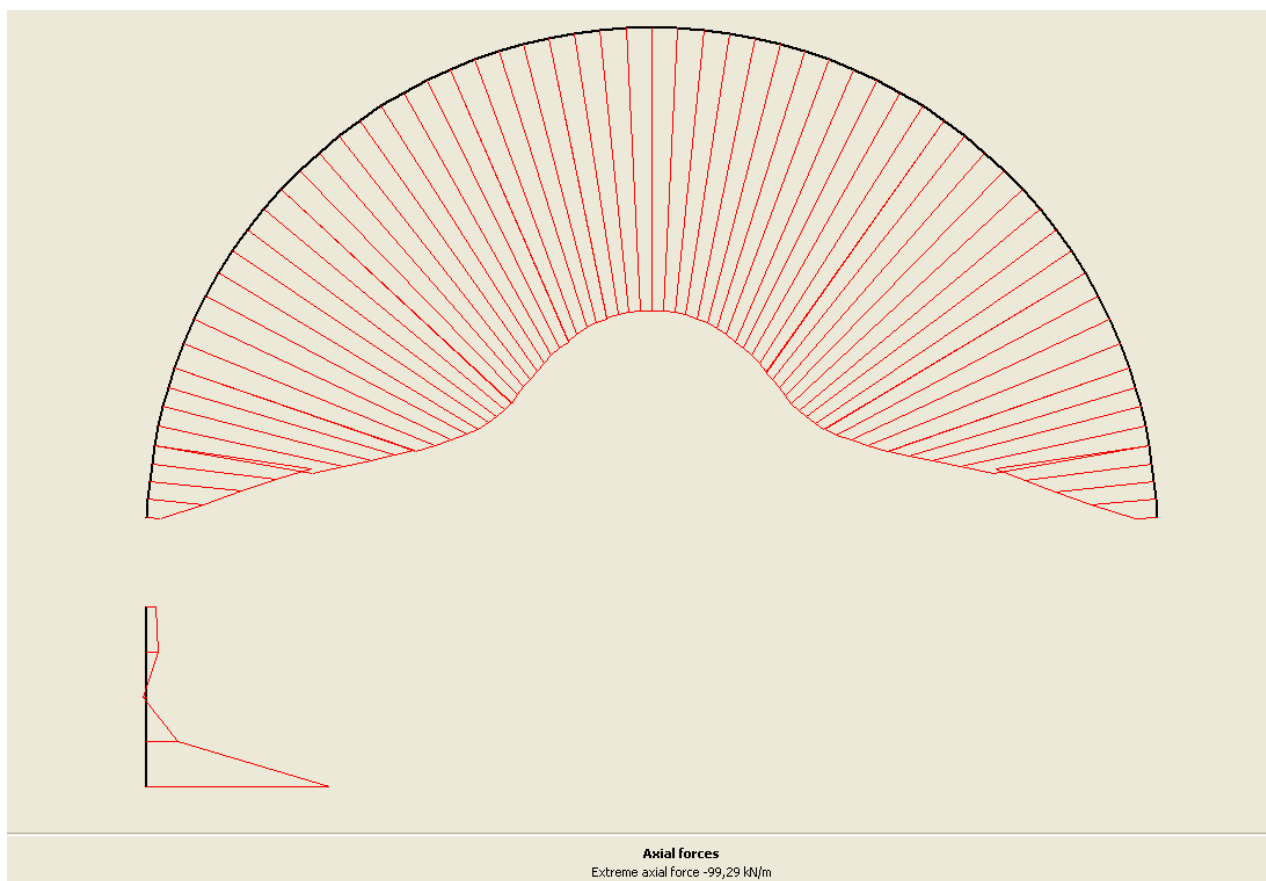
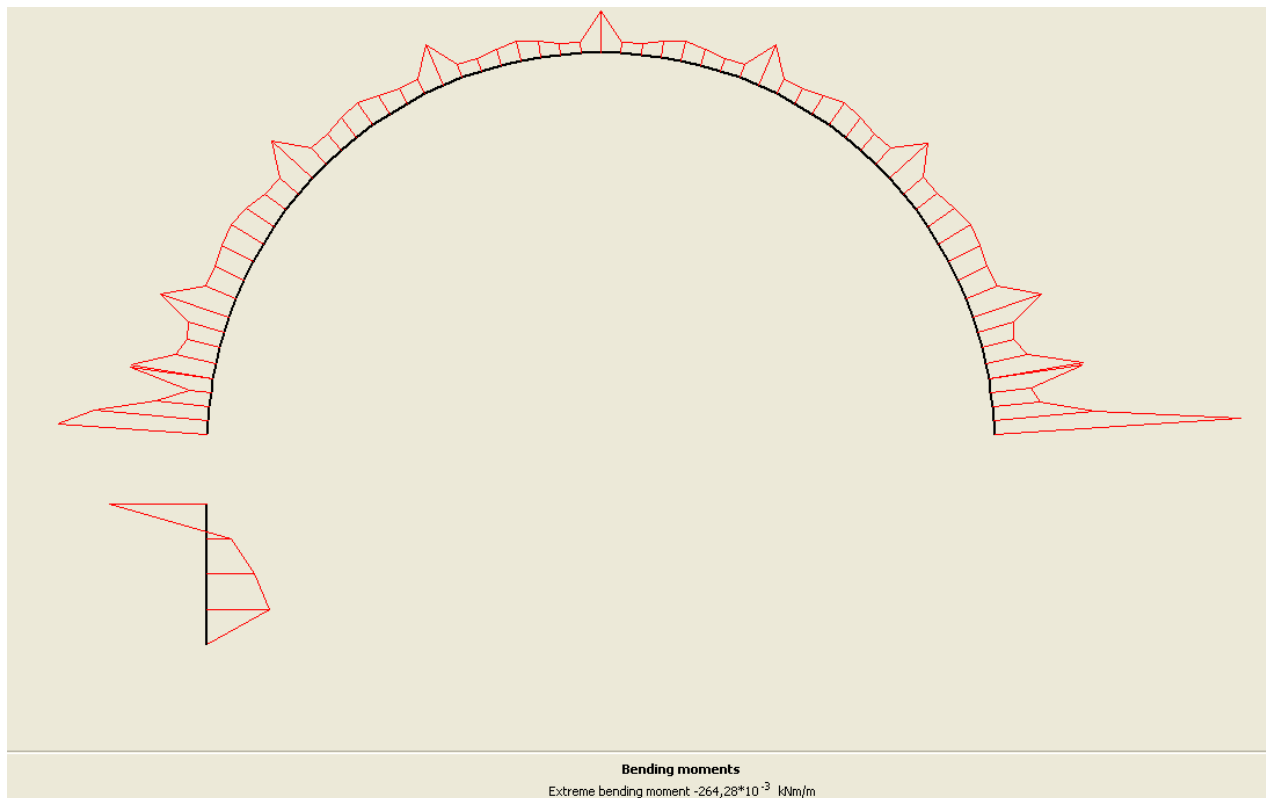


Table [15] Anchors phase no: 6

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	5043	-8,800	2,682	6,943	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	4211	-4,799	3,046						
2	5545	-8,350	6,112	4,007	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4859	-4,536	4,911						
3	6133	-6,510	9,262	3,460	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5027	-3,519	6,606						
4	5931	-3,560	11,392	3,441	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4991	-1,917	7,742						
5	4487	3,560	11,392	3,441	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4115	1,917	7,742						
6	3781	6,510	9,262	3,459	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3469	3,519	6,606						
7	2641	8,350	6,112	4,005	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3153	4,536	4,911						
8	2071	8,800	2,682	6,918	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2545	4,799	3,046						
9	5381	0,000	12,142	3,470	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4685	0,000	8,142						

12.Results for phase 7

12.1 *Deformations*

12.1.1 Plot of total displacements

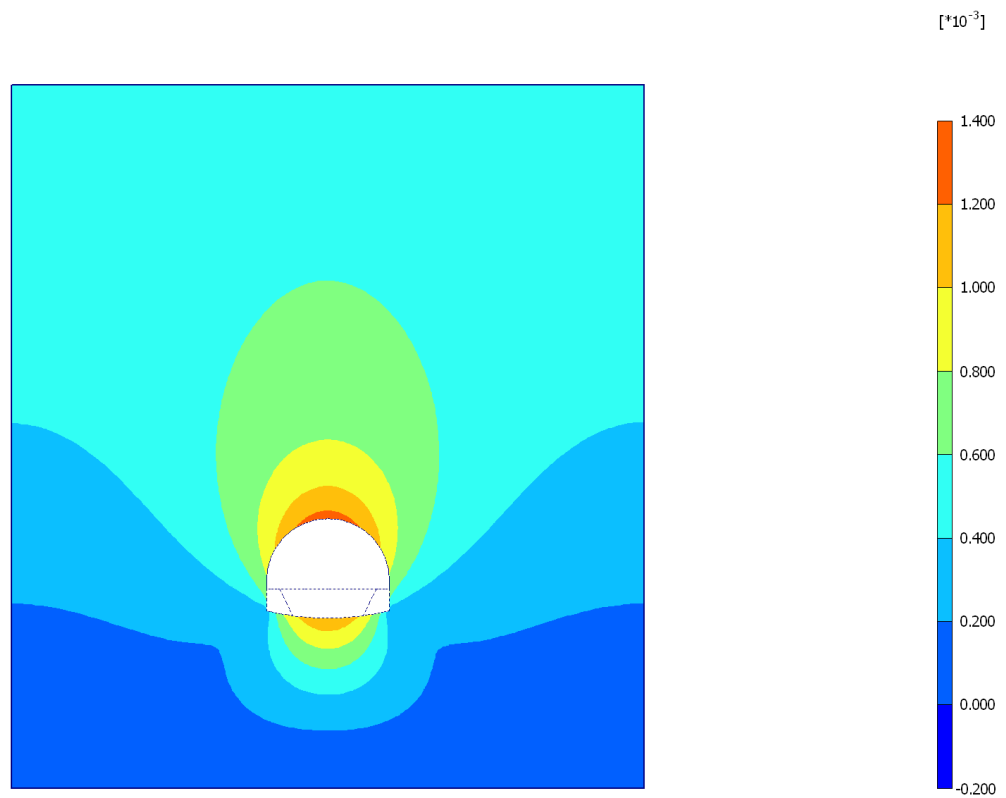


Fig. 21 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 51 - (Phase: 7)

12.2 *Stresses*

12.2.1 Plot of total stresses

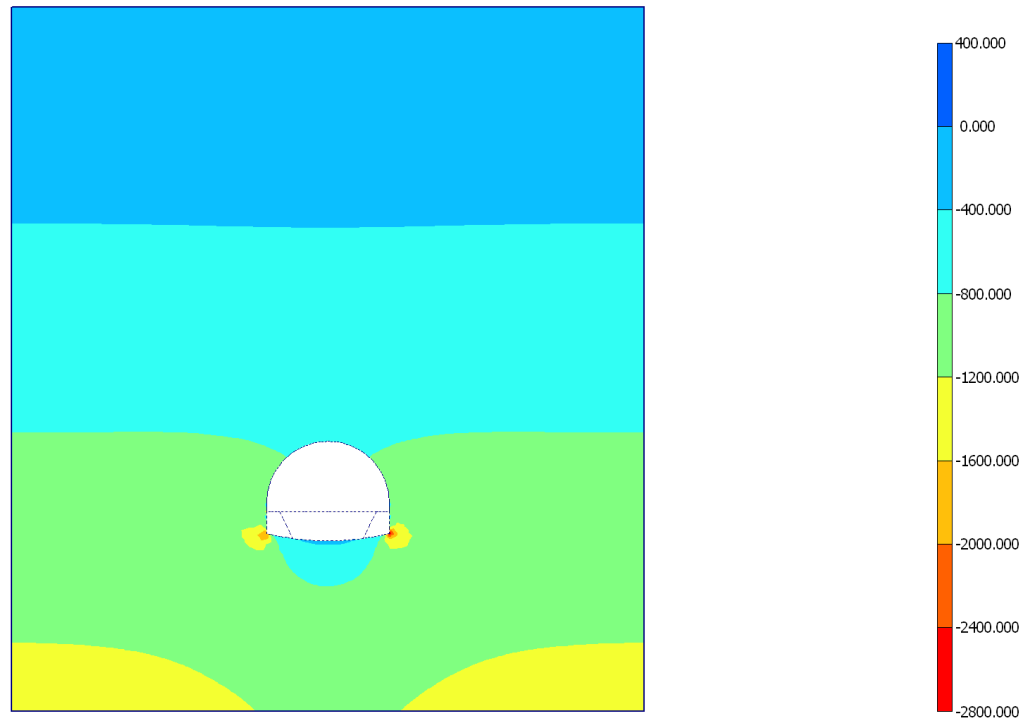


Fig. 22 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 51 - (Phase: 7)

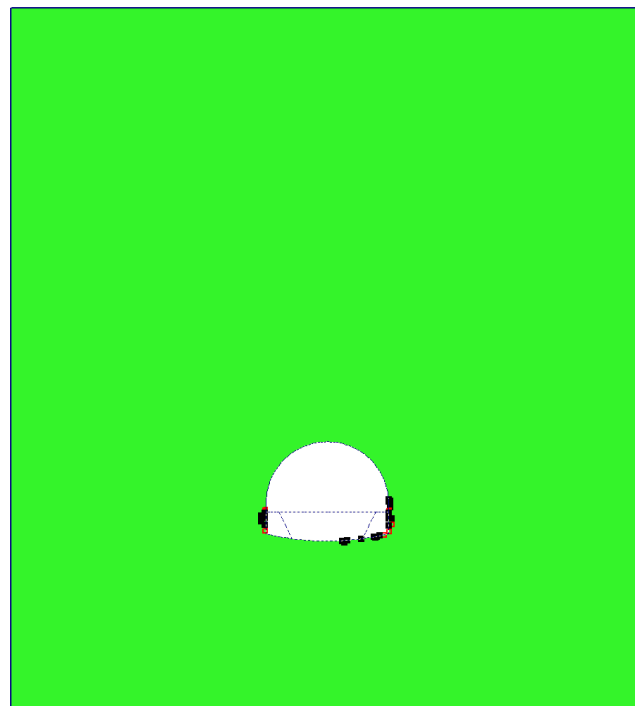


Fig. 23 Plot of plastic points
- Step no: 51 - (Phase: 7)

12.3 Structures

12.3.1 Beams

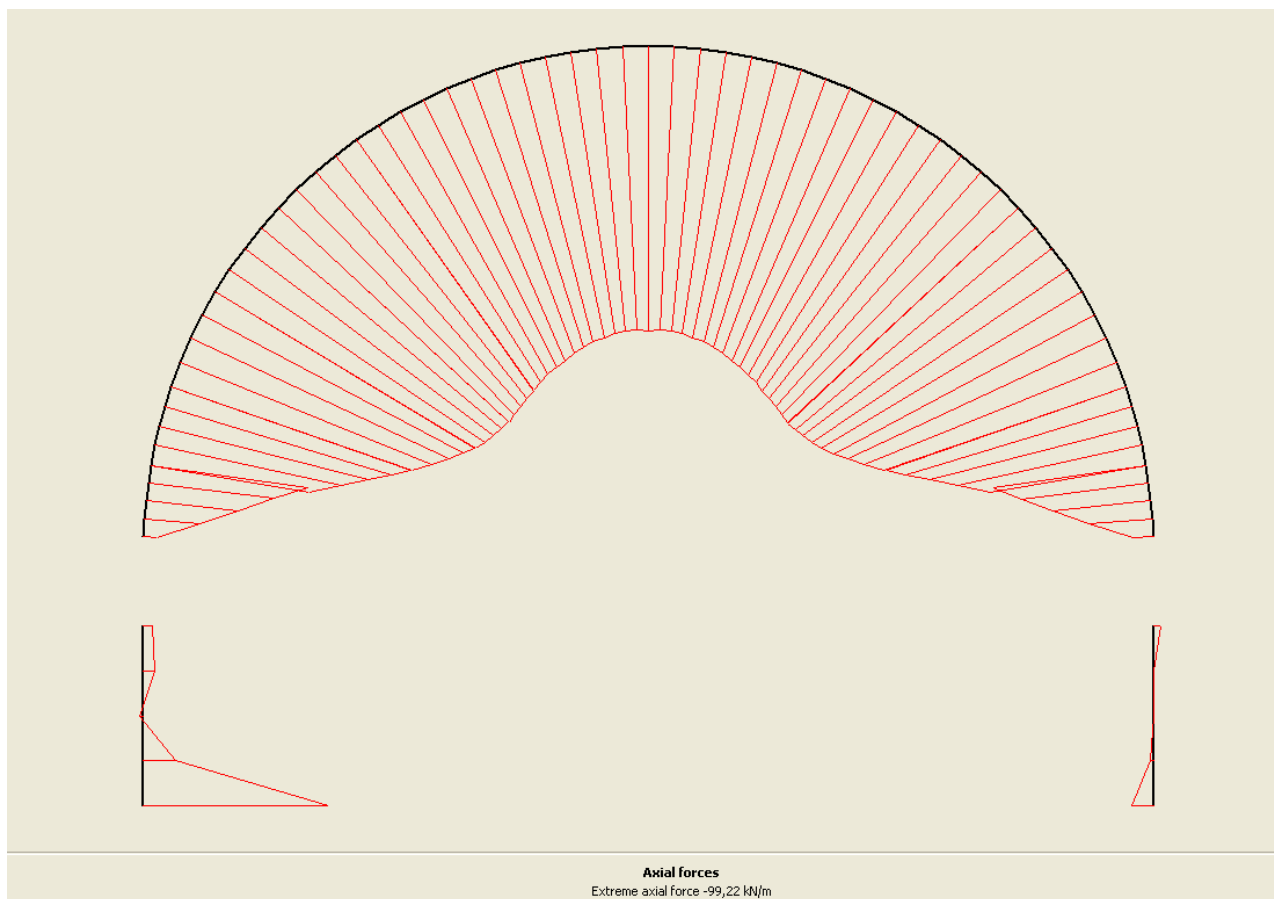
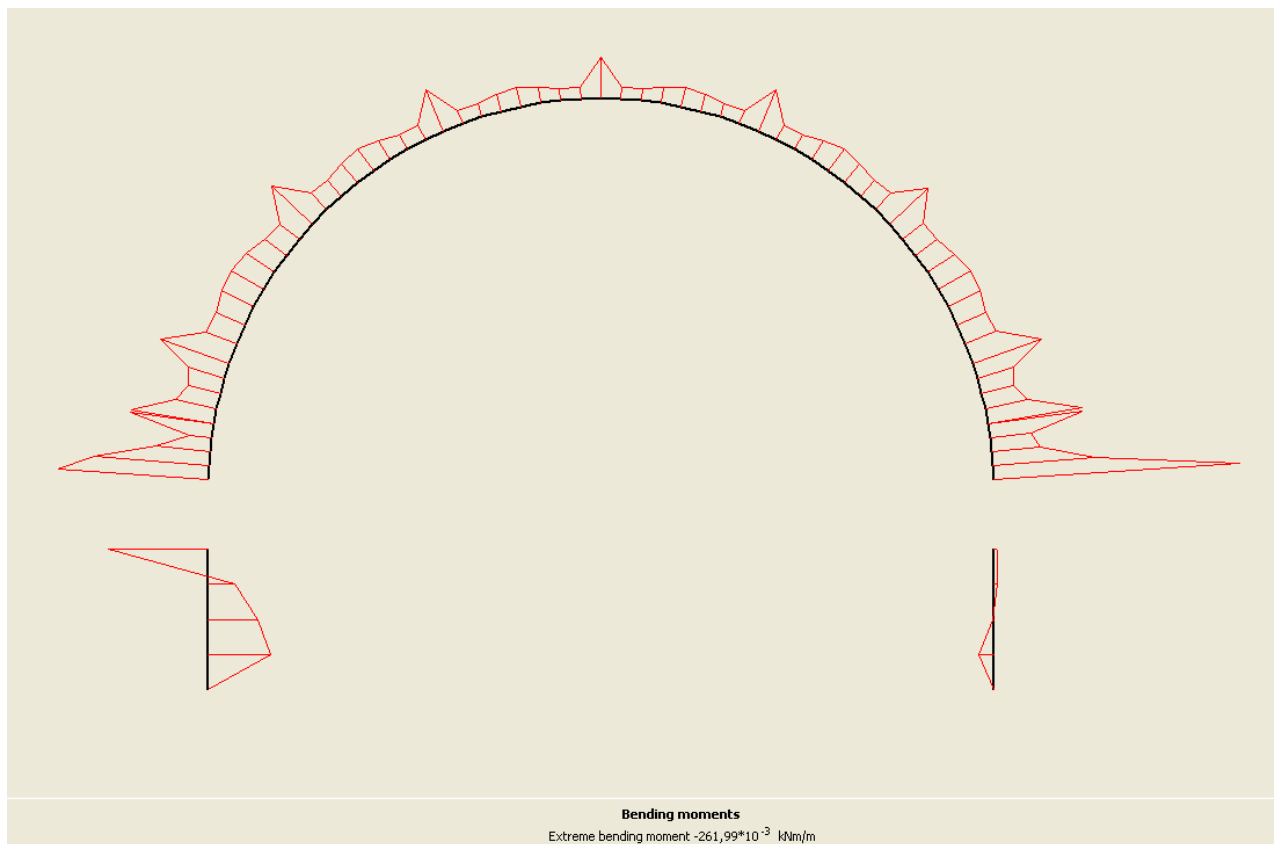


Table [16] Anchors phase no: 7

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	5043	-8,800	2,682	6,943	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	4211	-4,799	3,046						
2	5545	-8,350	6,112	4,007	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4859	-4,536	4,911						
3	6133	-6,510	9,262	3,461	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	5027	-3,519	6,606						
4	5931	-3,560	11,392	3,442	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4991	-1,917	7,742						
5	4487	3,560	11,392	3,441	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4115	1,917	7,742						
6	3781	6,510	9,262	3,460	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3469	3,519	6,606						
7	2641	8,350	6,112	4,007	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3153	4,536	4,911						
8	2071	8,800	2,682	6,919	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,017
	2545	4,799	3,046						
9	5381	0,000	12,142	3,471	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4685	0,000	8,142						

REPORT

07/15/2021

User: EPTISA

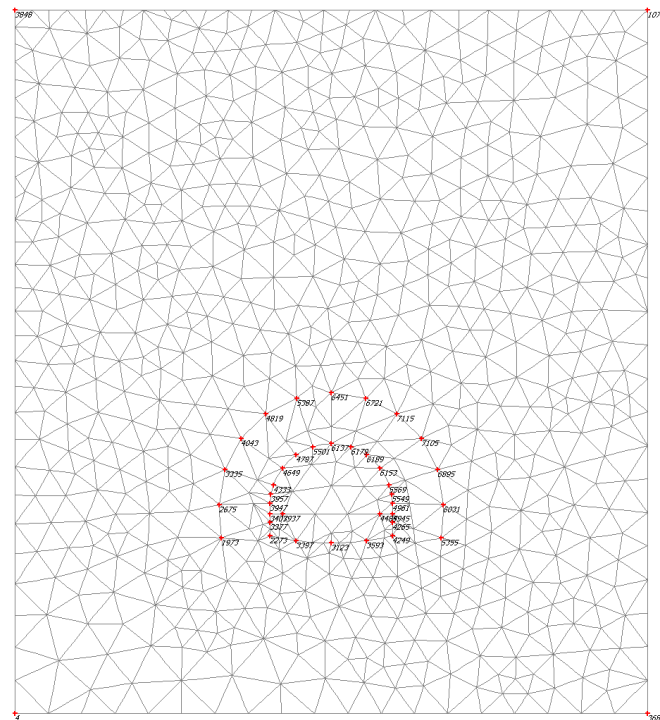
Title: ST-III, CU-1 Margas. TRAMO SARRATU – APERRIBAI LINEA 5 FMB

Plate no.	Data set	Length [m]	Nodes
8	Gunita 0,12	1,708	3377, 3407, 3377.

Table [5] Node-to-node anchors

Anchor no.	Data set	Length [m]	First node	Last node
1	Bulon f25	4,003	1973	3377
2	Bulon f25	4,002	2675	3947
3	Bulon f25	3,999	3335	4333
4	Bulon f25	4,000	4043	4649
5	Bulon f25	4,004	4819	4797
6	Bulon f25	3,998	5387	5501
7	Bulon f25	3,999	6721	6179
8	Bulon f25	4,004	7115	6189
9	Bulon f25	4,000	7105	6153
10	Bulon f25	3,999	6895	5569
11	Bulon f25	4,002	6031	4961
12	Bulon f25	4,000	5355	4265
13	Bulon f25	4,000	6451	6137

3. Mesh data

**Fig. 2 Plot of the mesh with significant nodes**

4. Material data

Table [6] Soil data sets parameters

<i>Mohr-Coulomb</i>		1
Type		Margas RMR_45
		Drained
γ_{unsat}	[kN/m ³]	27,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	27,00
k_x	[m/day]	0,000
k_y	[m/day]	0,000
e_{init}	[-]	0,500
c_k	[-]	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	3500000,000
ν	[-]	0,300
G_{ref}	[kN/m ²]	1346153,846
E_{oed}	[kN/m ²]	4711538,462
c_{ref}	[kN/m ²]	240,00
ϕ	[°]	46,50
ψ	[°]	0,00
E_{inc}	[kN/m ² /m]	0,00
y_{ref}	[m]	0,000
$c_{\text{increment}}$	[kN/m ² /m]	0,00
$T_{\text{str.}}$	[kN/m ²]	0,00
$R_{\text{inter.}}$	[-]	1,00
Interface permeability		Neutral

Table [7] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]	ν [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
1	Gunita 0,12	1,74E6	2090,00	3,00	0,20	1E15	1E15

Table [8] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L spacing [m]
1	Bulon f25	103000,00	184,000	184,000	1,50

5. Calculation phases

Table [9] List of phases

Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step
Initial phase	0	0		-	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic analysis	Staged construction	1	2
<Phase 2>	2	1	Plastic analysis	Staged construction	3	4
<Phase 3>	3	2	Plastic analysis	Staged construction	5	19
<Phase 4>	4	3	Plastic analysis	Staged construction	20	23
<Phase 5>	5	4	Plastic analysis	Staged construction	24	28
<Phase 6>	6	5	Plastic analysis	Staged construction	29	32
<Phase 7>	7	6	Plastic analysis	Staged construction	33	35

6. Results for phase 1

6.1 Deformations

6.1.1 Plot of total displacements

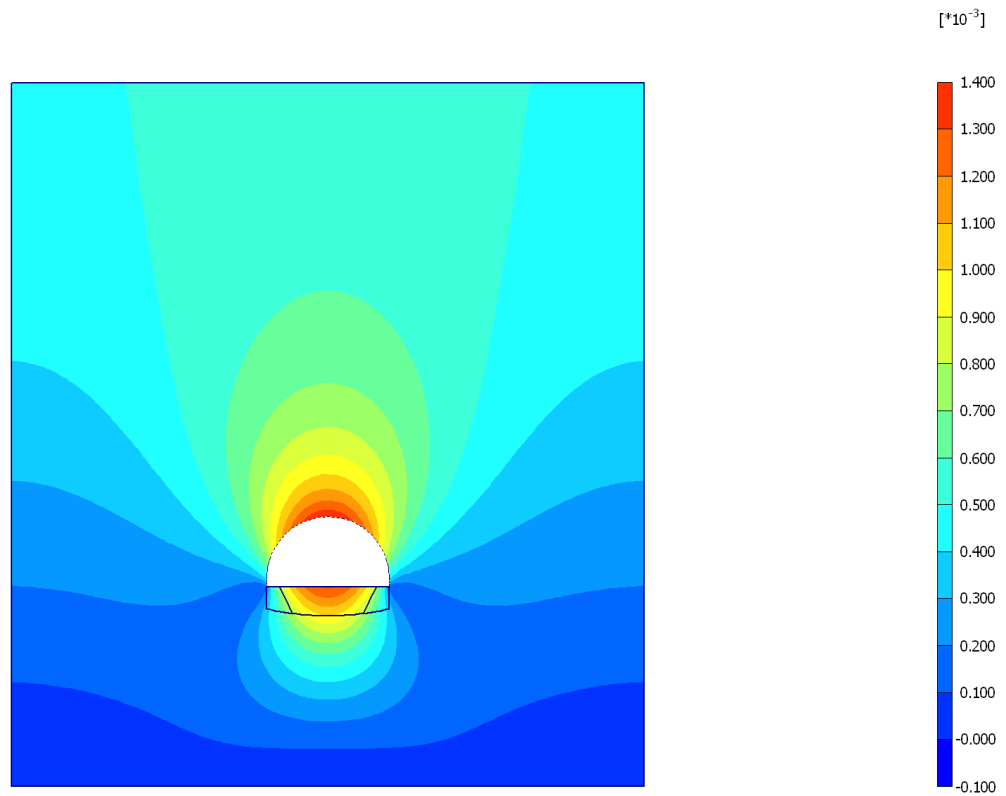


Fig. 3 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

6.2 Stresses

6.2.1 Plot of total stresses

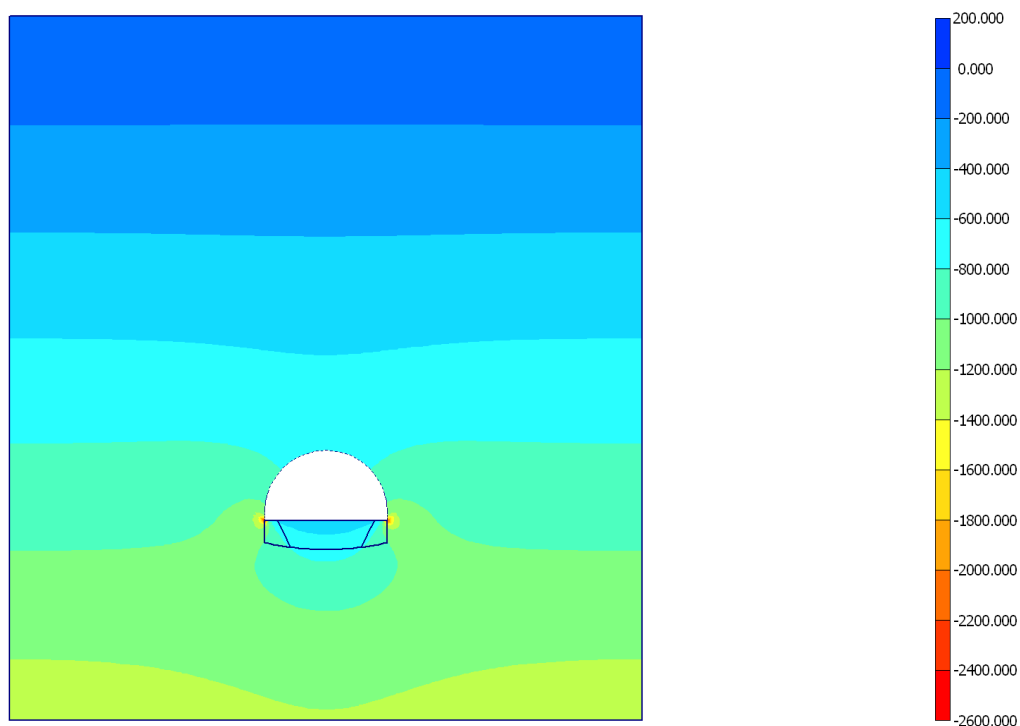


Fig. 4 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

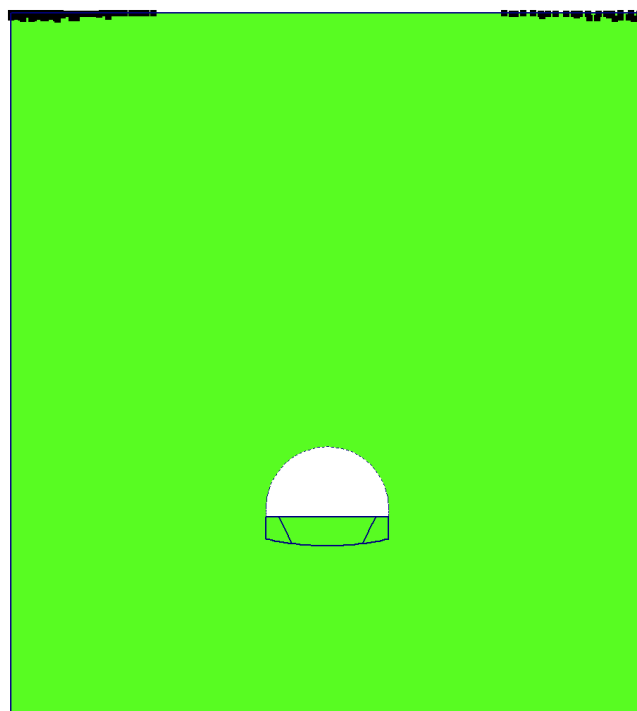


Fig. 5 Plot of plastic points
- Step no: 2 - (Phase: 1)

6.3 Structures

6.3.1 Anchors

Table [10] Anchors phase no: 1

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1973	-8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3377	-4,799	1,992						
2	2675	-8,800	3,382	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3947	-4,799	3,492						
3	3335	-8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4333	-4,536	4,911						
4	4043	-7,090	8,552	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4649	-3,837	6,226						
5	4819	-5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4797	-2,777	7,257						
6	5387	-2,710	11,712	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	5501	-1,460	7,914						
7	6721	2,710	11,712	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	6179	1,551	7,884						
8	7115	5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6189	2,777	7,257						
9	7105	7,090	8,552	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6153	3,837	6,226						
10	6895	8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5569	4,536	4,911						
11	6031	8,800	3,382	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	4961	4,799	3,492						
12	5355	8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4265	4,799	1,982						
13	6451	0,000	12,142	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6137	0,000	8,142						

7. Results for phase 2

7.1 Deformations

7.1.1 Plot of total displacements

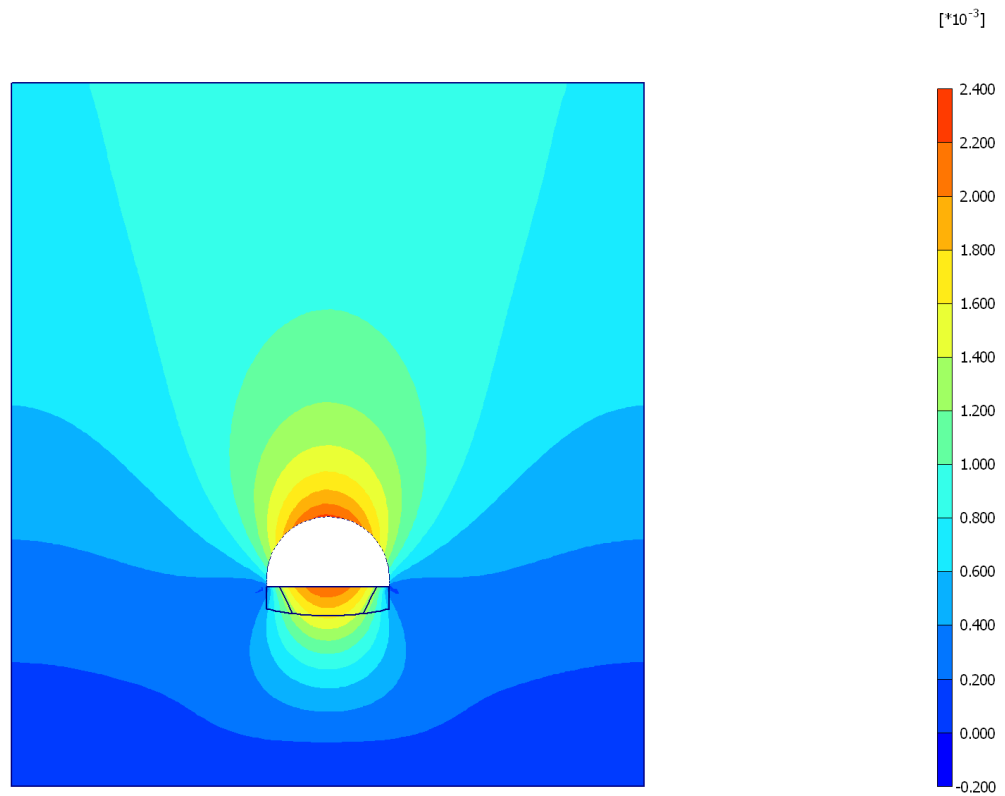


Fig. 6 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 4 - (Phase: 2)

7.2 Stresses

7.2.1 Plot of total stresses

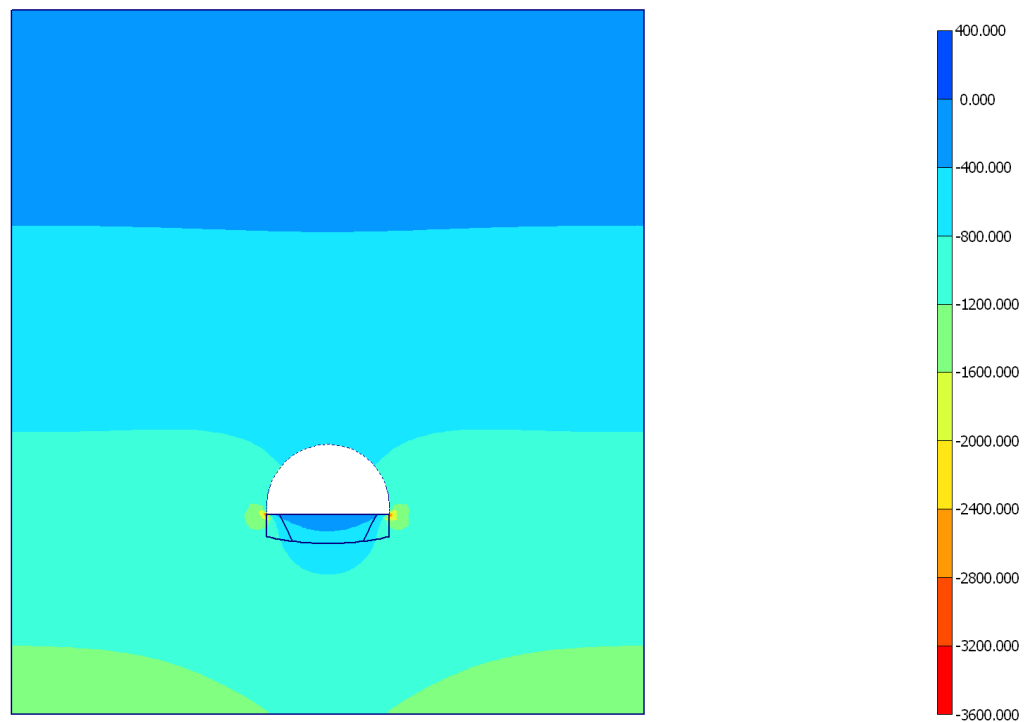


Fig. 7 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 4 - (Phase: 2)

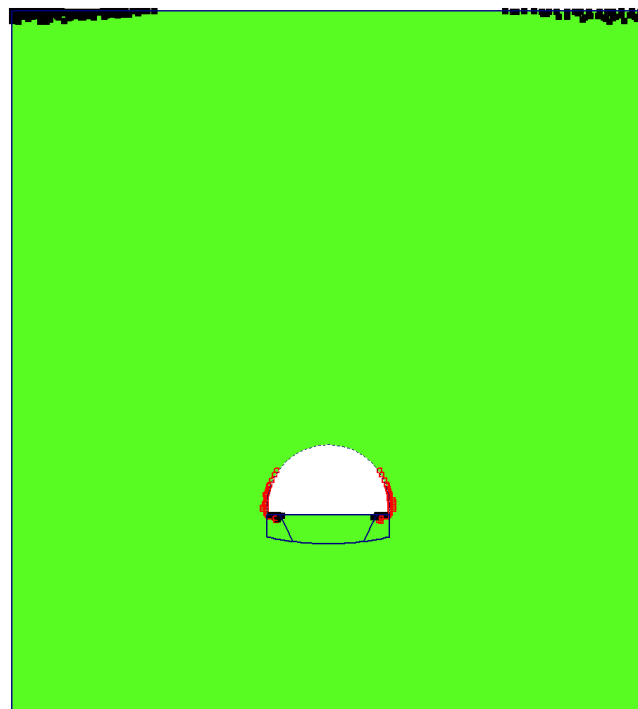


Fig. 8 Plot of plastic points
- Step no: 4 - (Phase: 2)

7.3 Structures

7.3.1 Beams

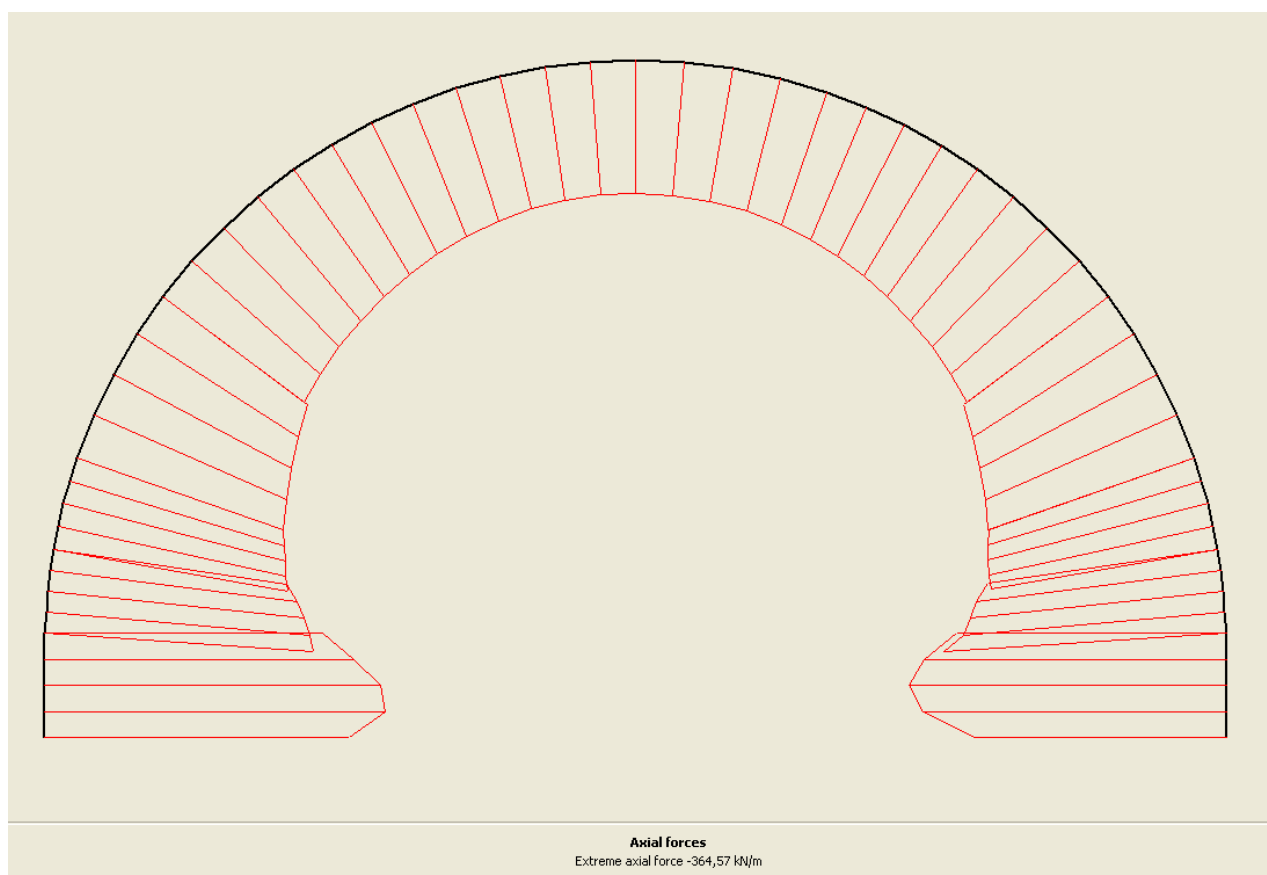
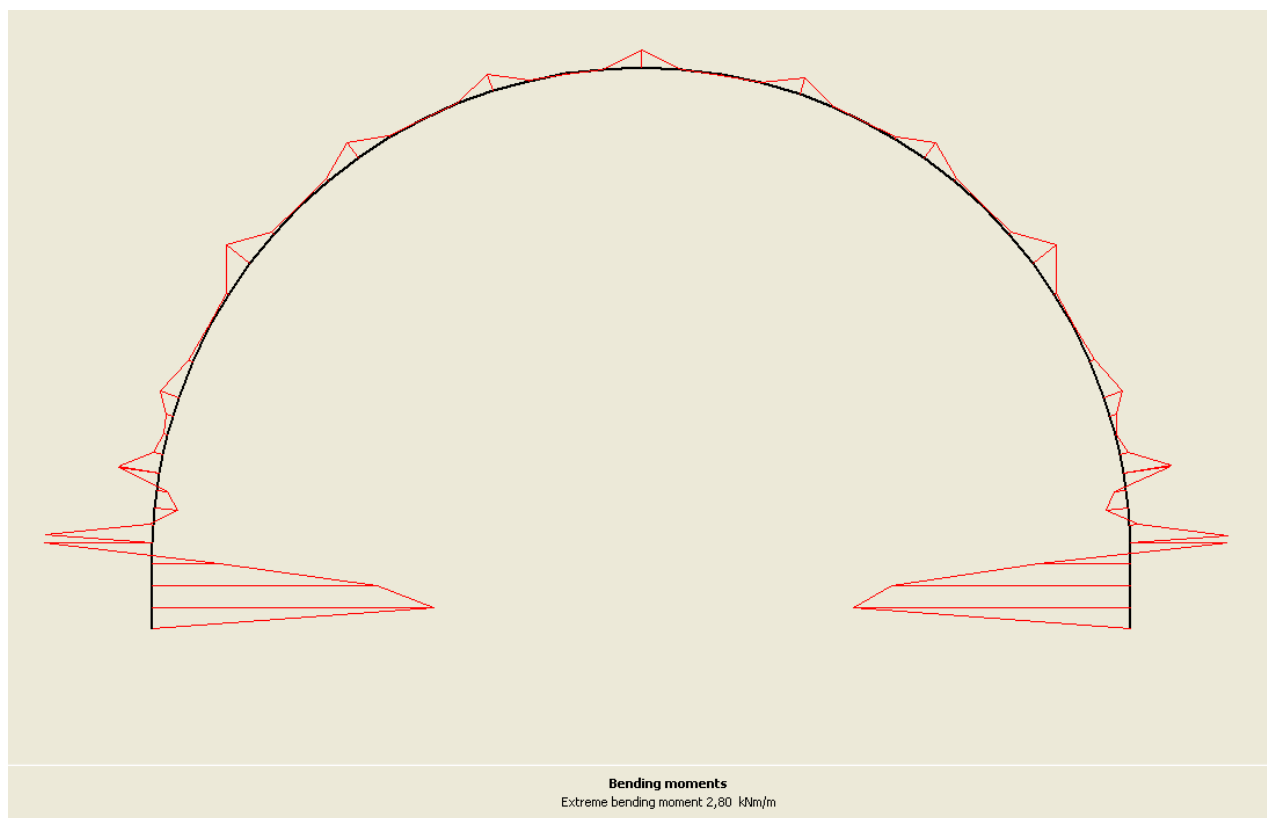


Table [11] Anchors phase no: 2

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1973	-8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3377	-4,799	1,992						
2	2675	-8,800	3,382	5,193	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3947	-4,799	3,492						
3	3335	-8,350	6,112	5,884	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4333	-4,536	4,911						
4	4043	-7,090	8,552	6,150	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4649	-3,837	6,226						
5	4819	-5,150	10,482	6,466	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4797	-2,777	7,257						
6	5387	-2,710	11,712	6,700	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	5501	-1,460	7,914						
7	6721	2,710	11,712	6,678	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	6179	1,551	7,884						
8	7115	5,150	10,482	6,467	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6189	2,777	7,257						
9	7105	7,090	8,552	6,154	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6153	3,837	6,226						
10	6895	8,350	6,112	5,898	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5569	4,536	4,911						
11	6031	8,800	3,382	5,204	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	4961	4,799	3,492						
12	5355	8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4265	4,799	1,982						
13	6451	0,000	12,142	6,787	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6137	0,000	8,142						

8. Results for phase 3

8.1 Deformations

8.1.1 Plot of total displacements

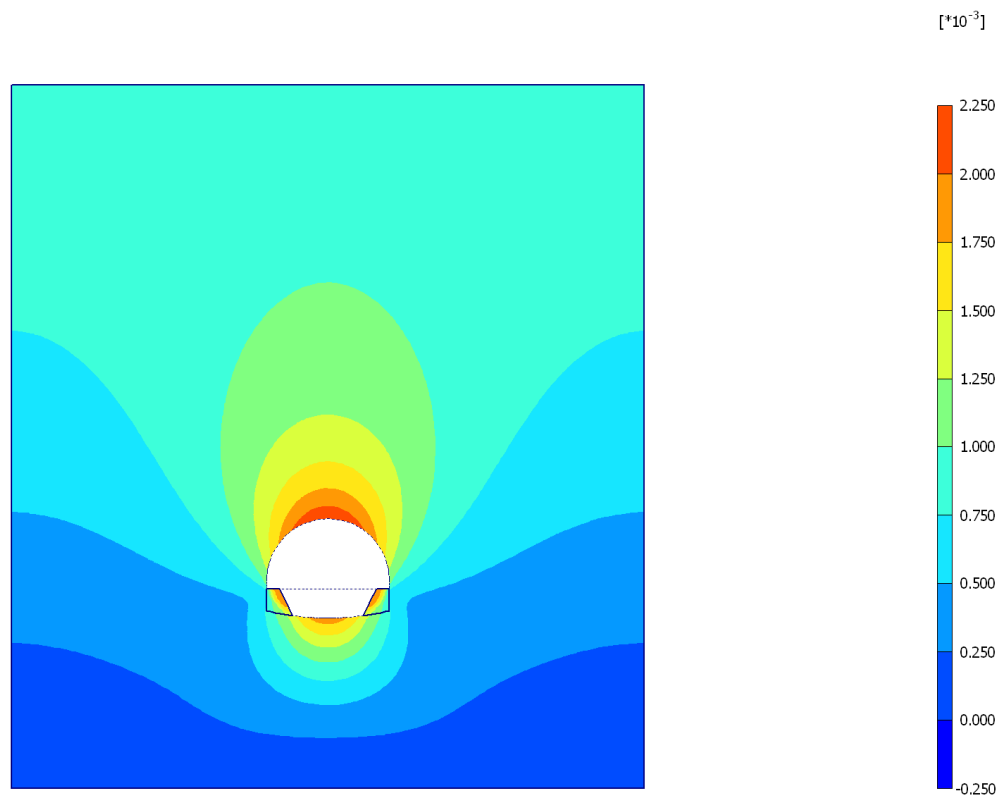


Fig. 9 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 19 - (Phase: 3)

8.2 Stresses

8.2.1 Plot of total stresses

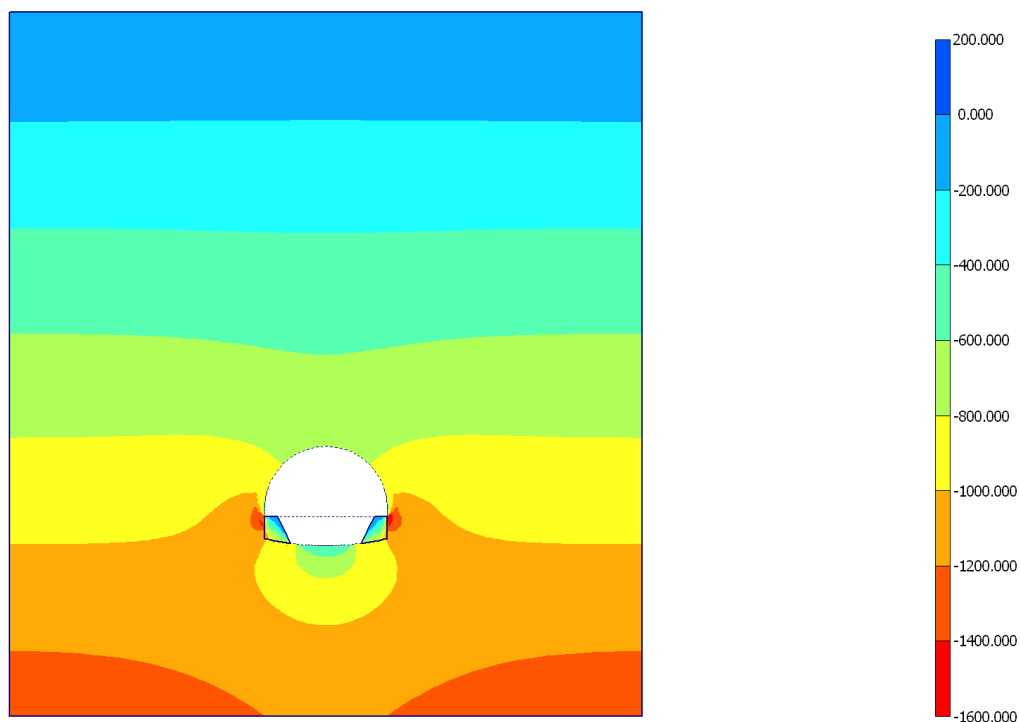


Fig. 10 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 19 - (Phase: 3)

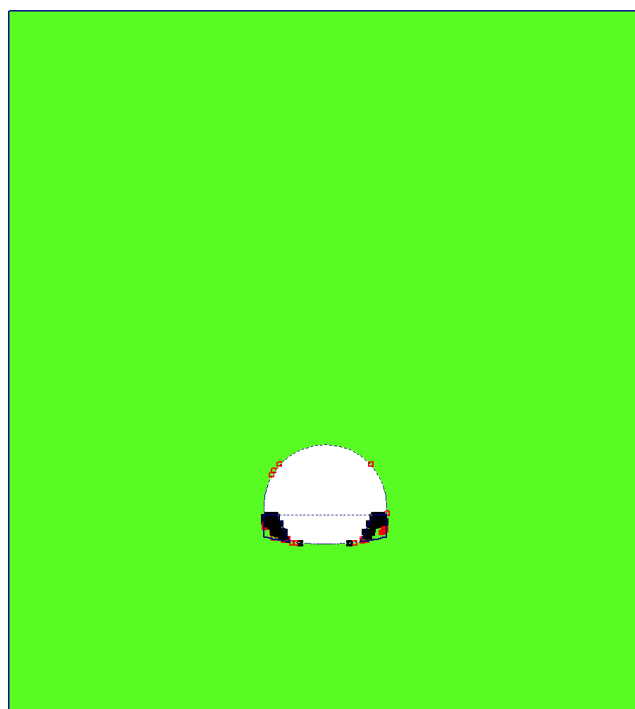


Fig. 11 Plot of plastic points
- Step no: 19 - (Phase: 3)

8.3 Structures

8.3.1 Beams

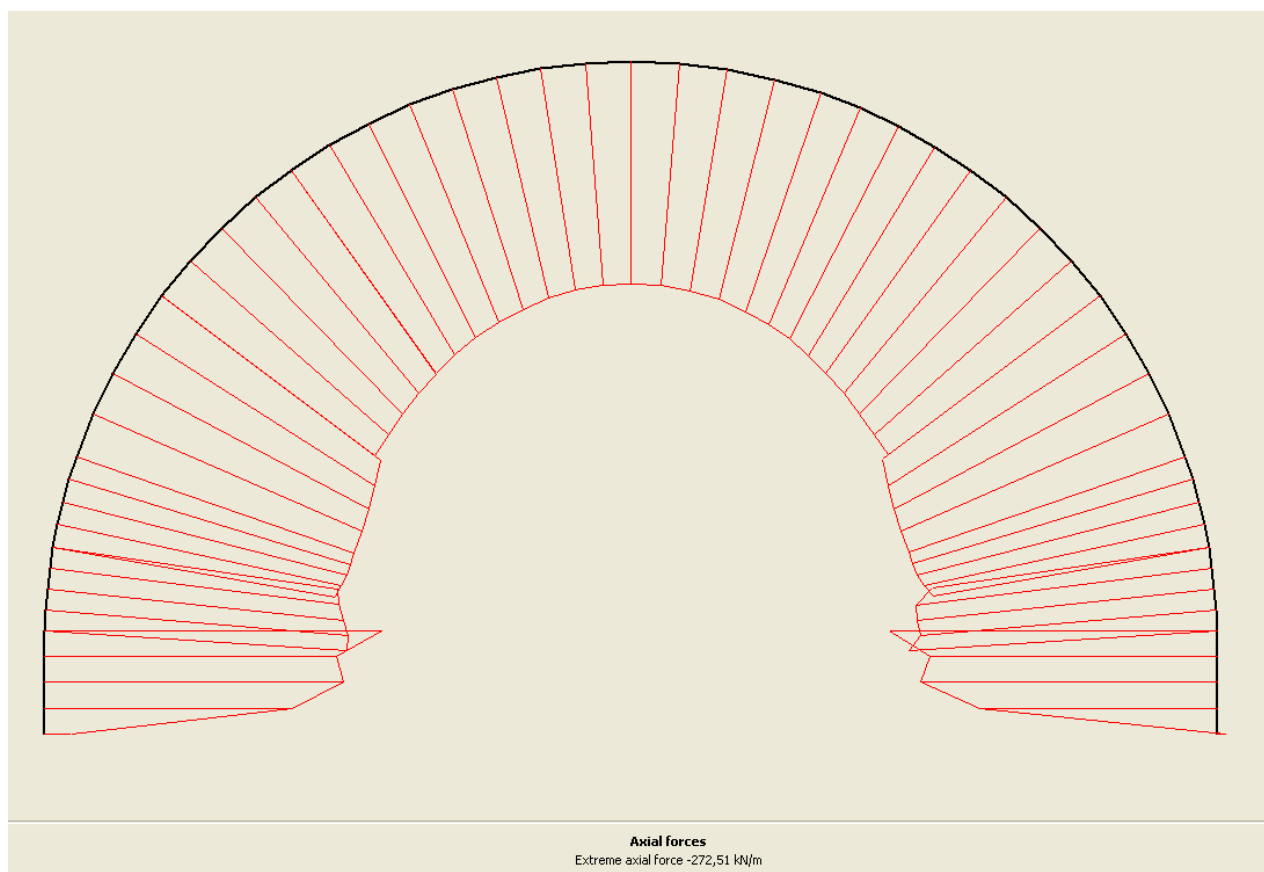
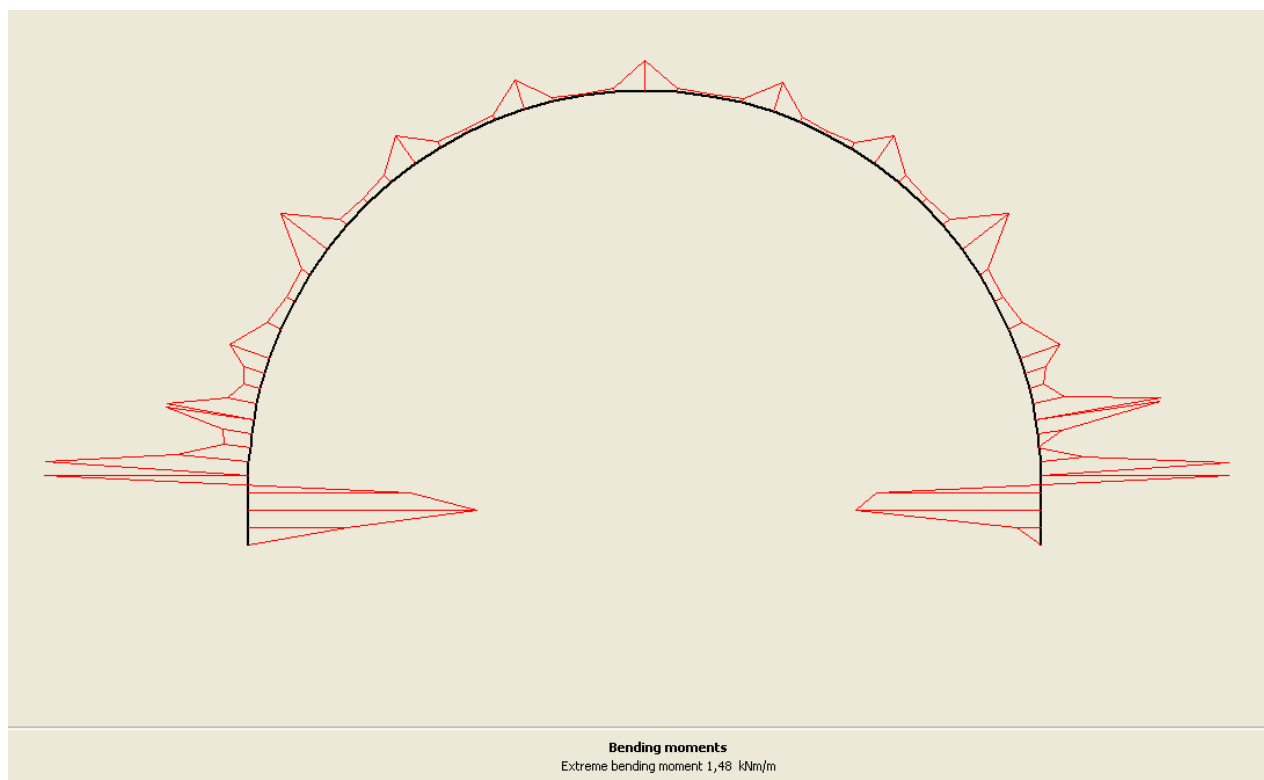


Table [12] Anchors phase no: 3

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1973	-8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3377	-4,799	1,992						
2	2675	-8,800	3,382	9,123	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3947	-4,799	3,492						
3	3335	-8,350	6,112	7,001	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4333	-4,536	4,911						
4	4043	-7,090	8,552	6,516	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4649	-3,837	6,226						
5	4819	-5,150	10,482	6,570	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4797	-2,777	7,257						
6	5387	-2,710	11,712	6,705	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	5501	-1,460	7,914						
7	6721	2,710	11,712	6,692	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	6179	1,551	7,884						
8	7115	5,150	10,482	6,574	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6189	2,777	7,257						
9	7105	7,090	8,552	6,525	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6153	3,837	6,226						
10	6895	8,350	6,112	7,021	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5569	4,536	4,911						
11	6031	8,800	3,382	9,192	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	4961	4,799	3,492						
12	5355	8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4265	4,799	1,982						
13	6451	0,000	12,142	6,767	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6137	0,000	8,142						

9. Results for phase 4

9.1 Deformations

9.1.1 Plot of total displacements

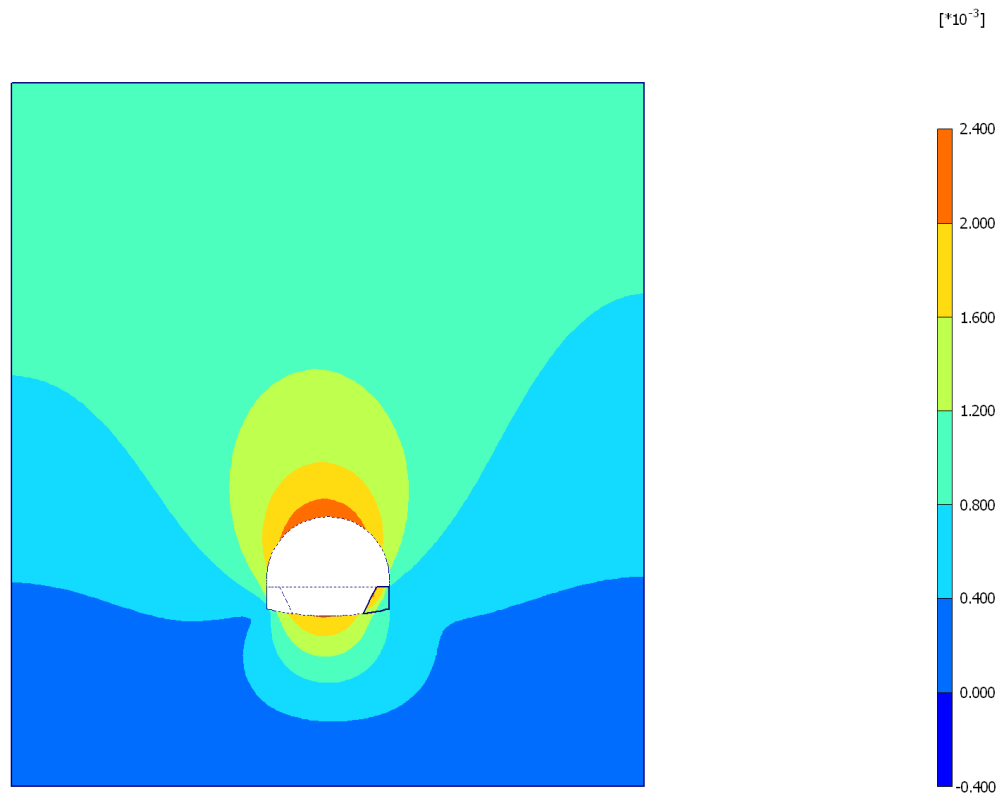


Fig. 12 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 23 - (Phase: 4)

9.2 Stresses

9.2.1 Plot of total stresses

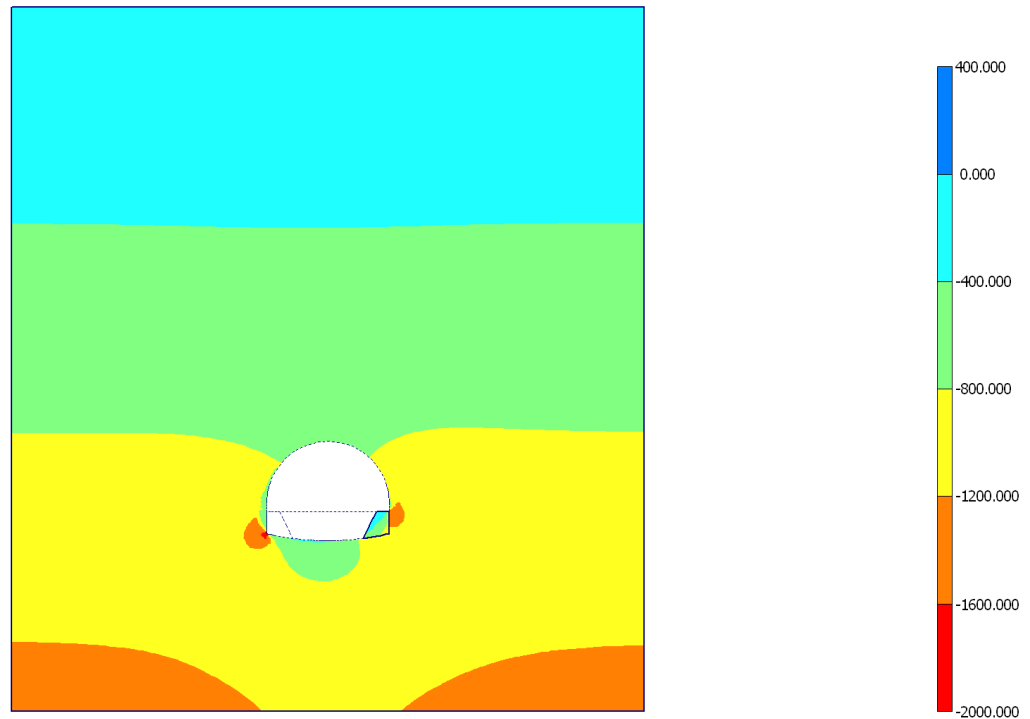


Fig. 13 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 23 - (Phase: 4)

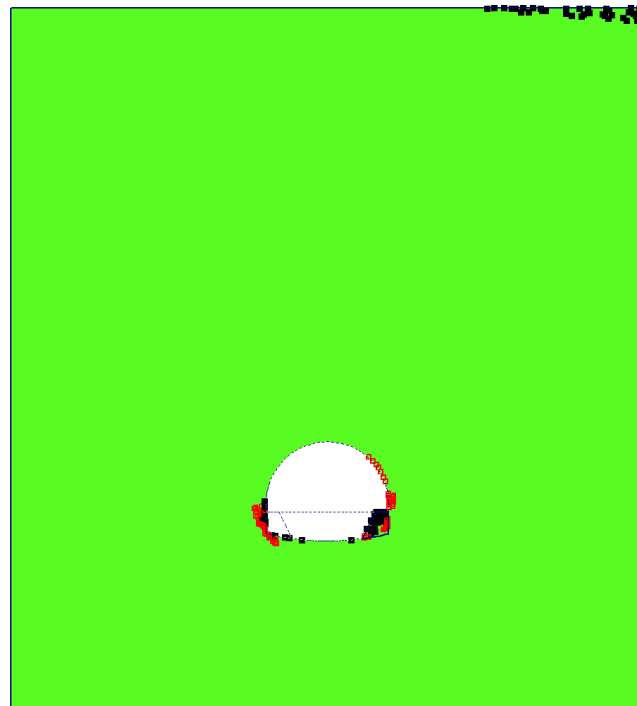
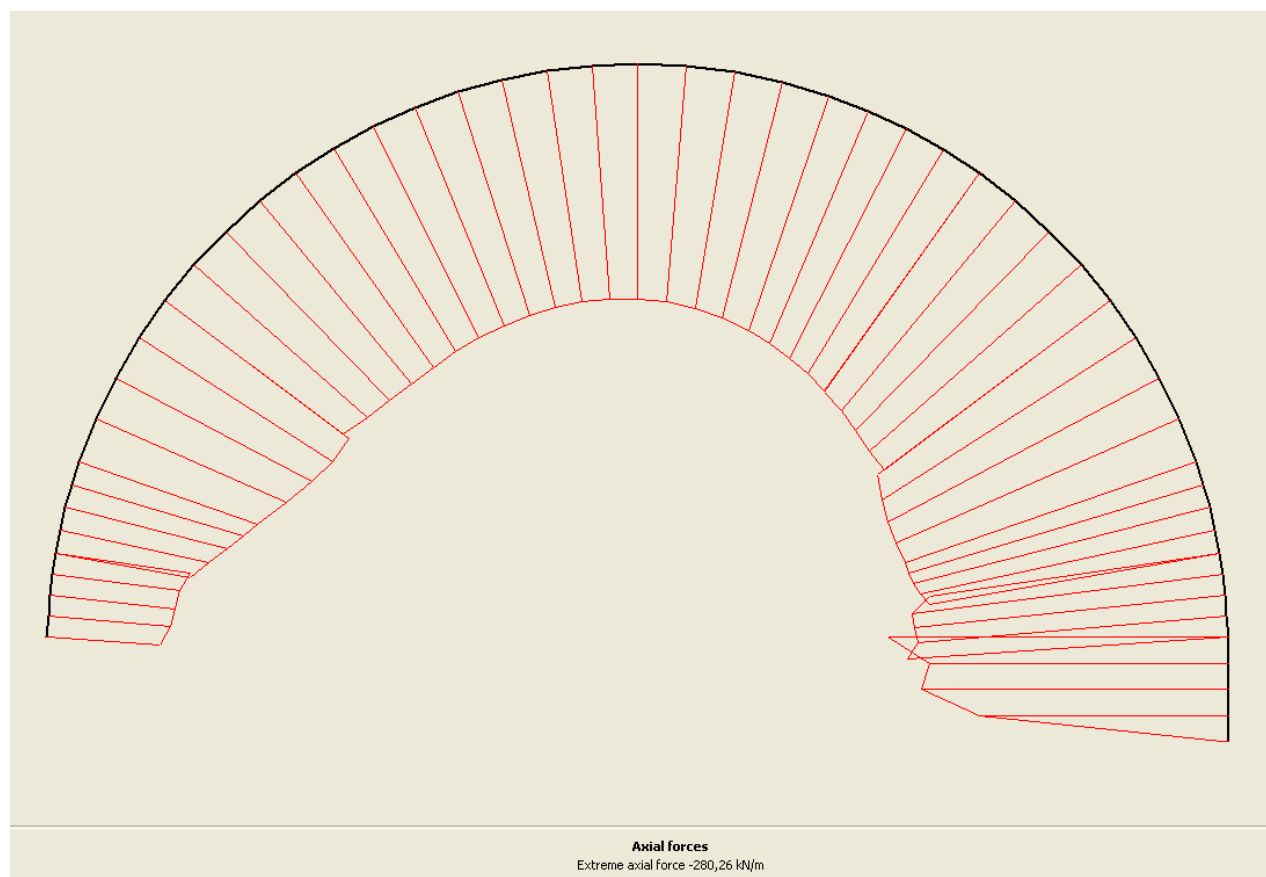
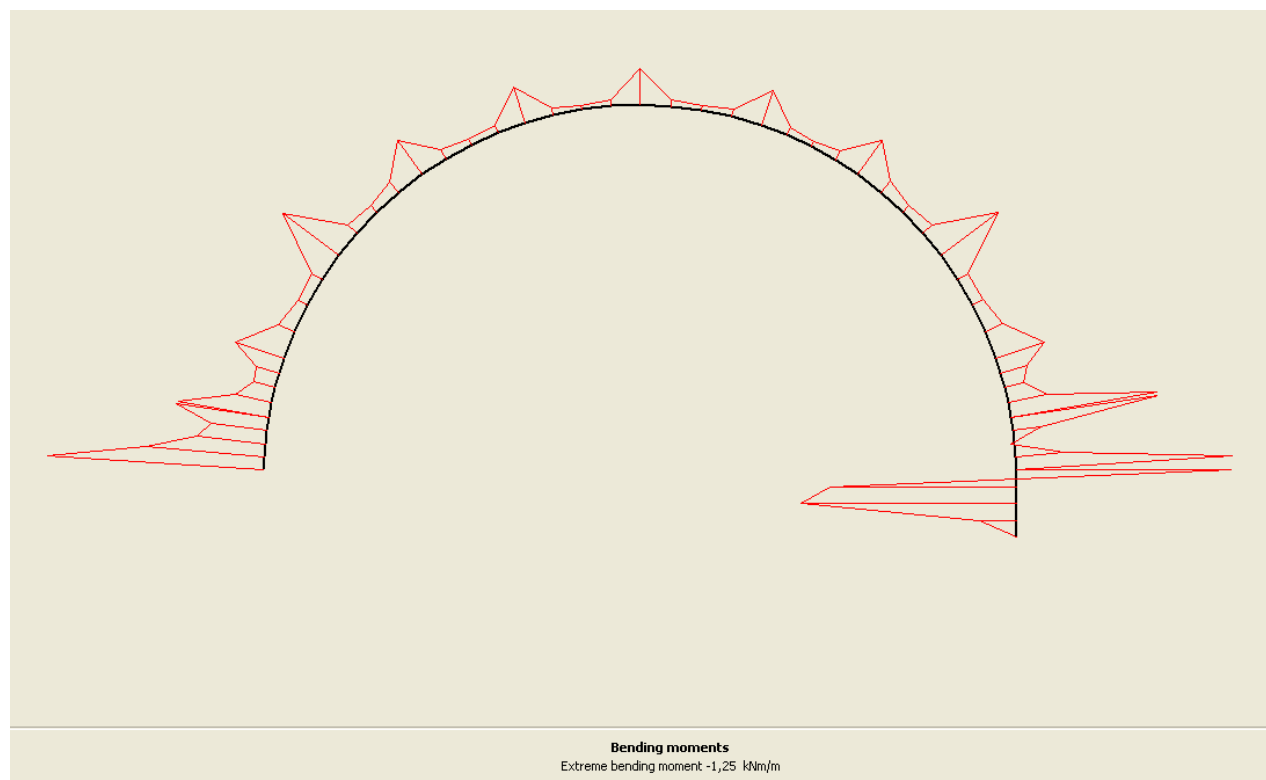


Fig. 14 Plot of plastic points
- Step no: 23 - (Phase: 4)

9.3 Structures

9.3.1 Beams



Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1973	-8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3377	-4,799	1,992						
2	2675	-8,800	3,382	12,551	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3947	-4,799	3,492						
3	3335	-8,350	6,112	8,409	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4333	-4,536	4,911						
4	4043	-7,090	8,552	7,163	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4649	-3,837	6,226						
5	4819	-5,150	10,482	6,868	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4797	-2,777	7,257						
6	5387	-2,710	11,712	6,843	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	5501	-1,460	7,914						
7	6721	2,710	11,712	6,728	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	6179	1,551	7,884						
8	7115	5,150	10,482	6,608	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6189	2,777	7,257						
9	7105	7,090	8,552	6,552	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6153	3,837	6,226						
10	6895	8,350	6,112	7,045	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5569	4,536	4,911						
11	6031	8,800	3,382	9,232	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	4961	4,799	3,492						
12	5355	8,617	0,789	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4265	4,799	1,982						
13	6451	0,000	12,142	6,838	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6137	0,000	8,142						

10. Results for phase 5

10.1 Deformations

10.1.1 Plot of total displacements

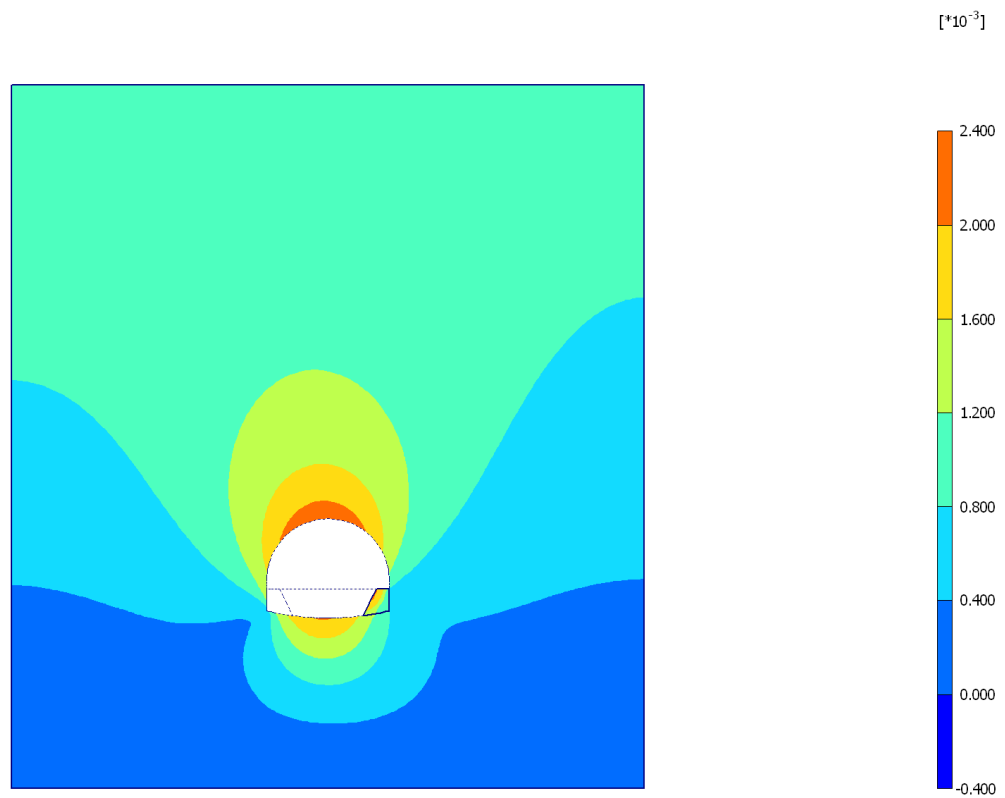


Fig. 15 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 28 - (Phase: 5)

10.2 Stresses

10.2.1 Plot of total stresses

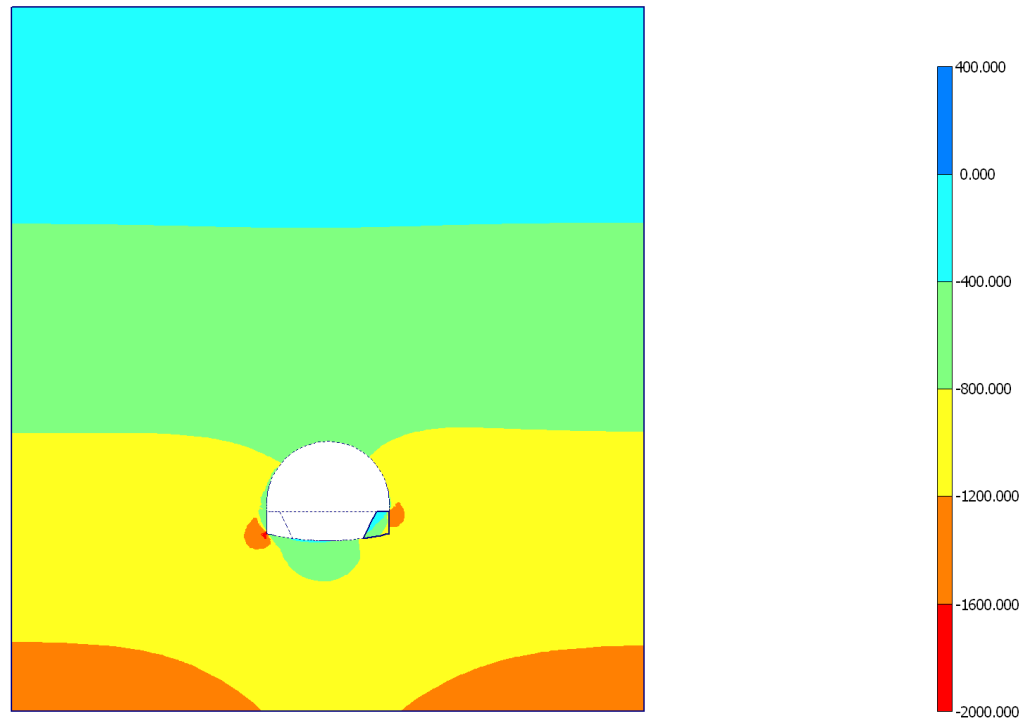


Fig. 16 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 28 - (Phase: 5)

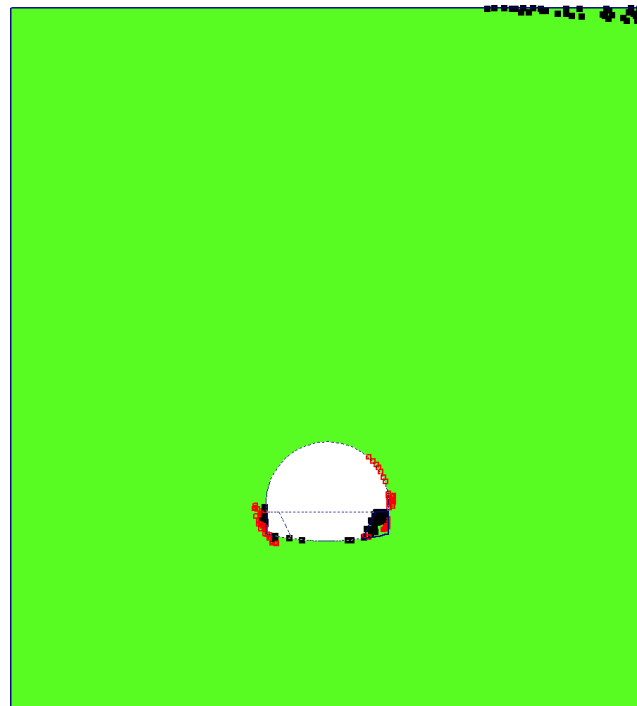
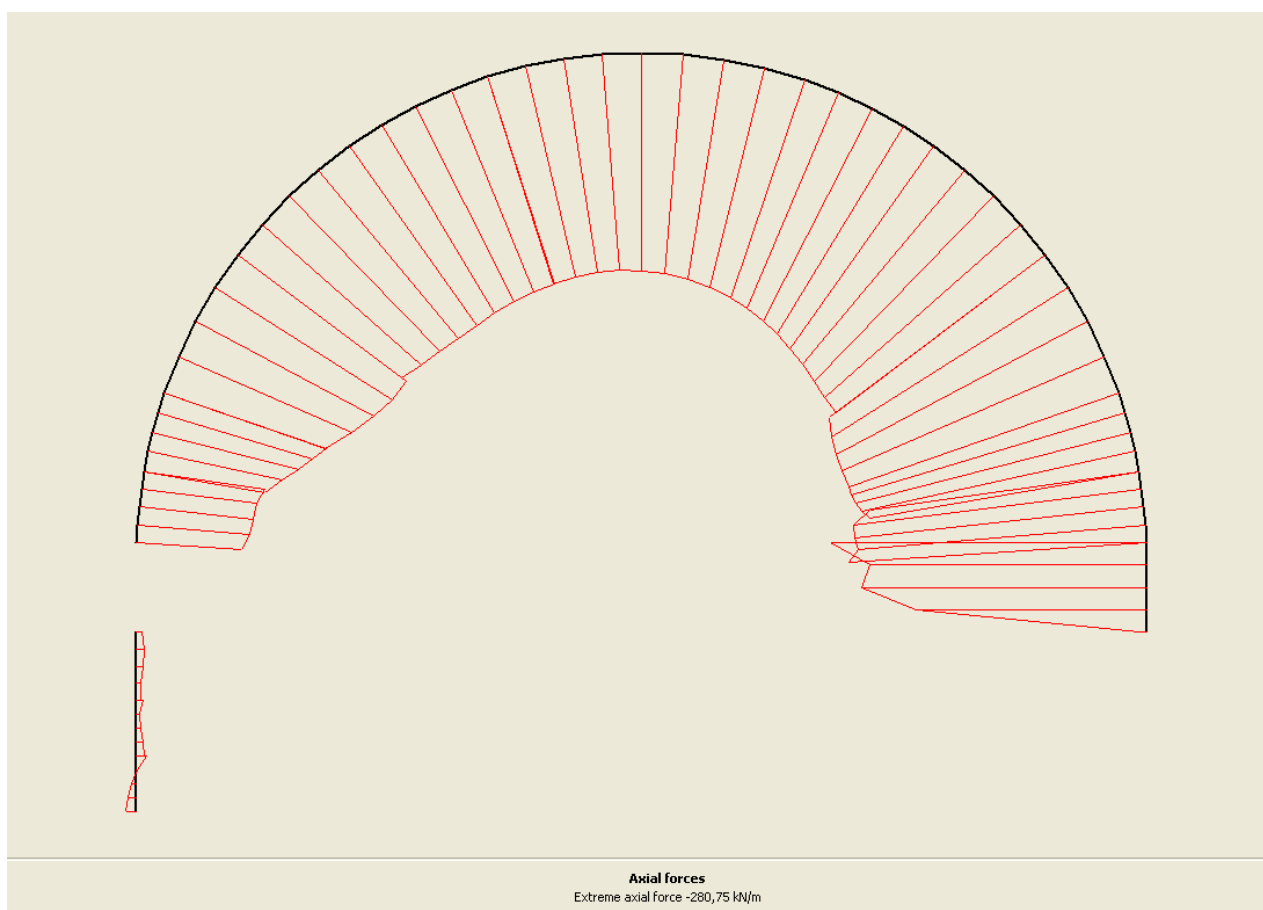
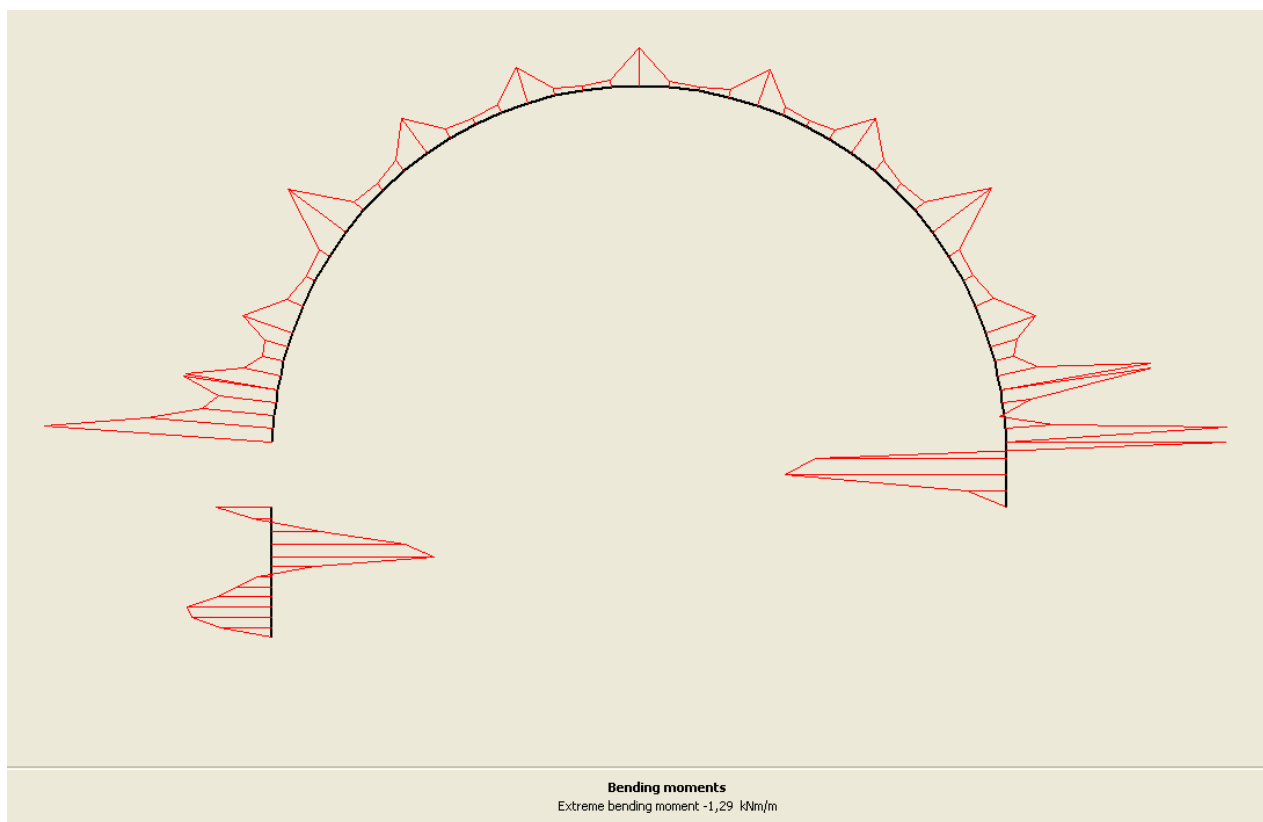


Fig. 17 Plot of plastic points
- Step no: 28 - (Phase: 5)

10.3 Structures

10.3.1 Beams



11. Results for phase 6

11.1 Deformations

11.1.1 Plot of total displacements

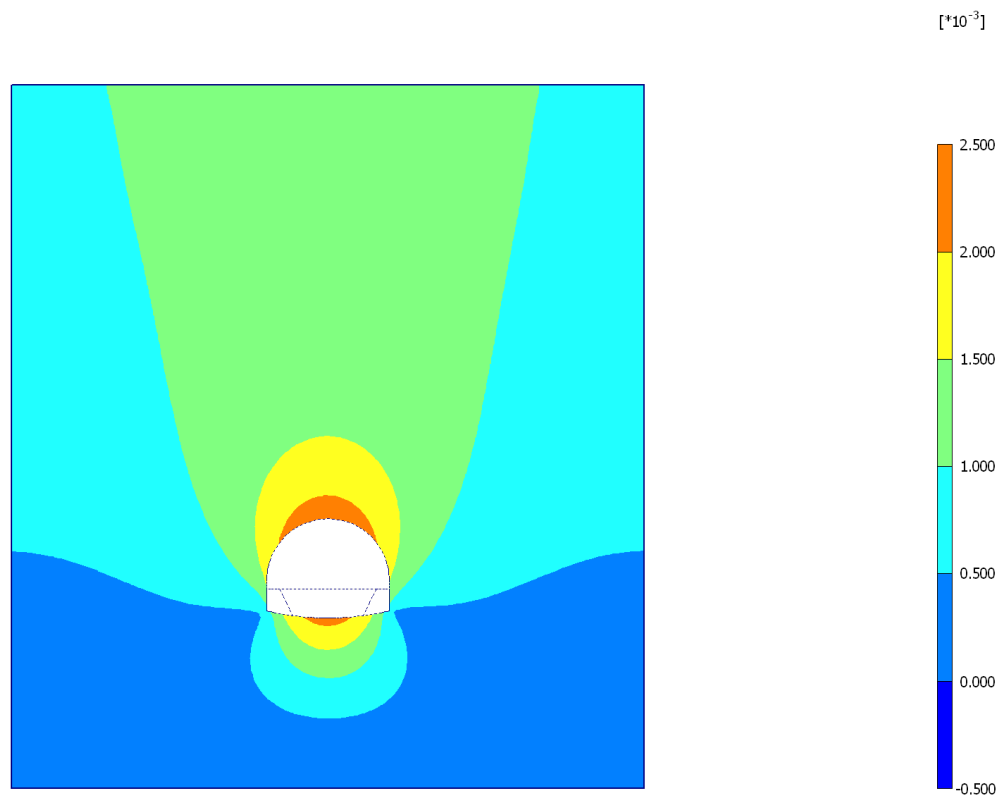


Fig. 18 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 32 - (Phase: 6)

11.2 Stresses

11.2.1 Plot of total stresses

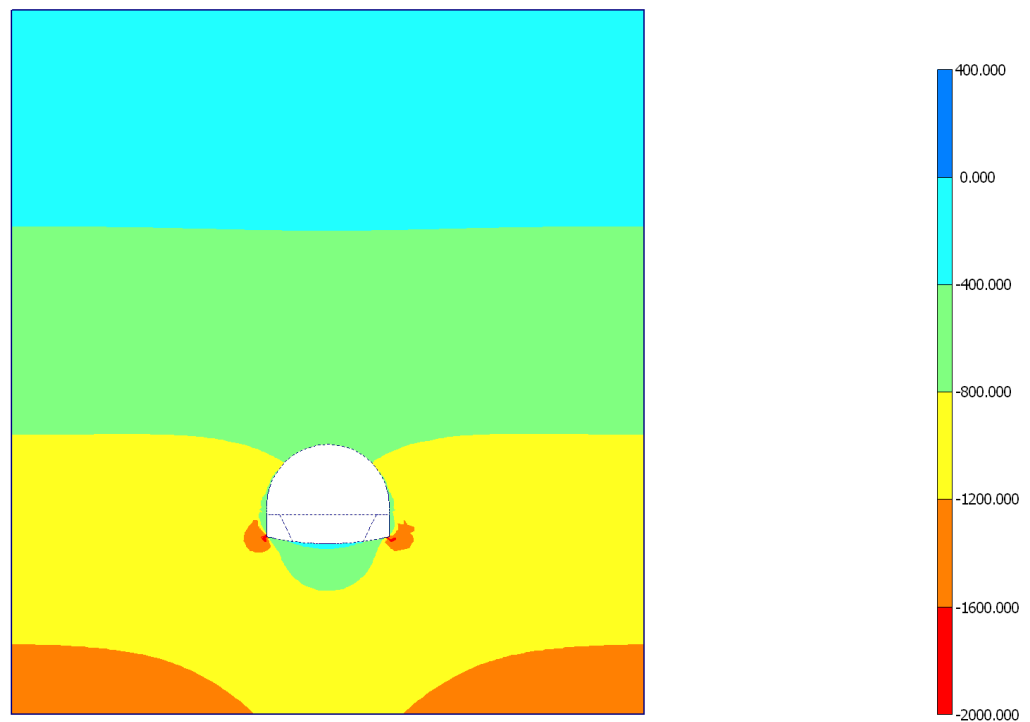


Fig. 19 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 32 - (Phase: 6)

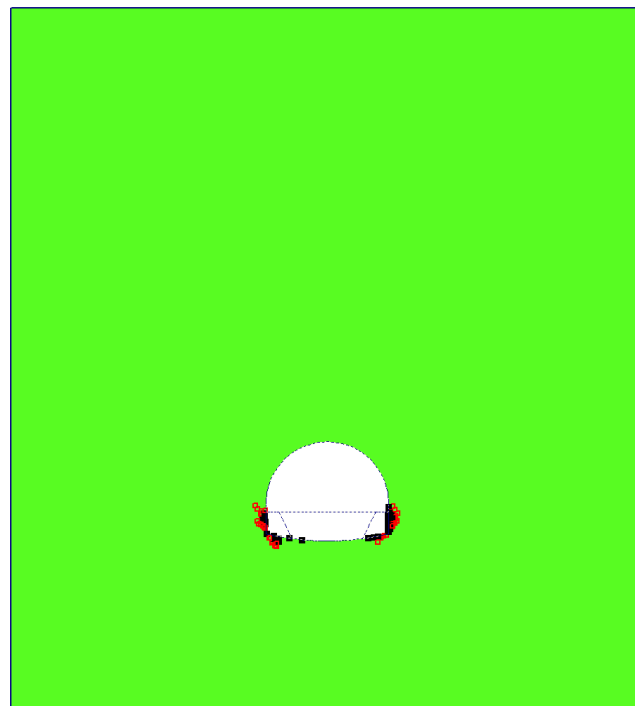
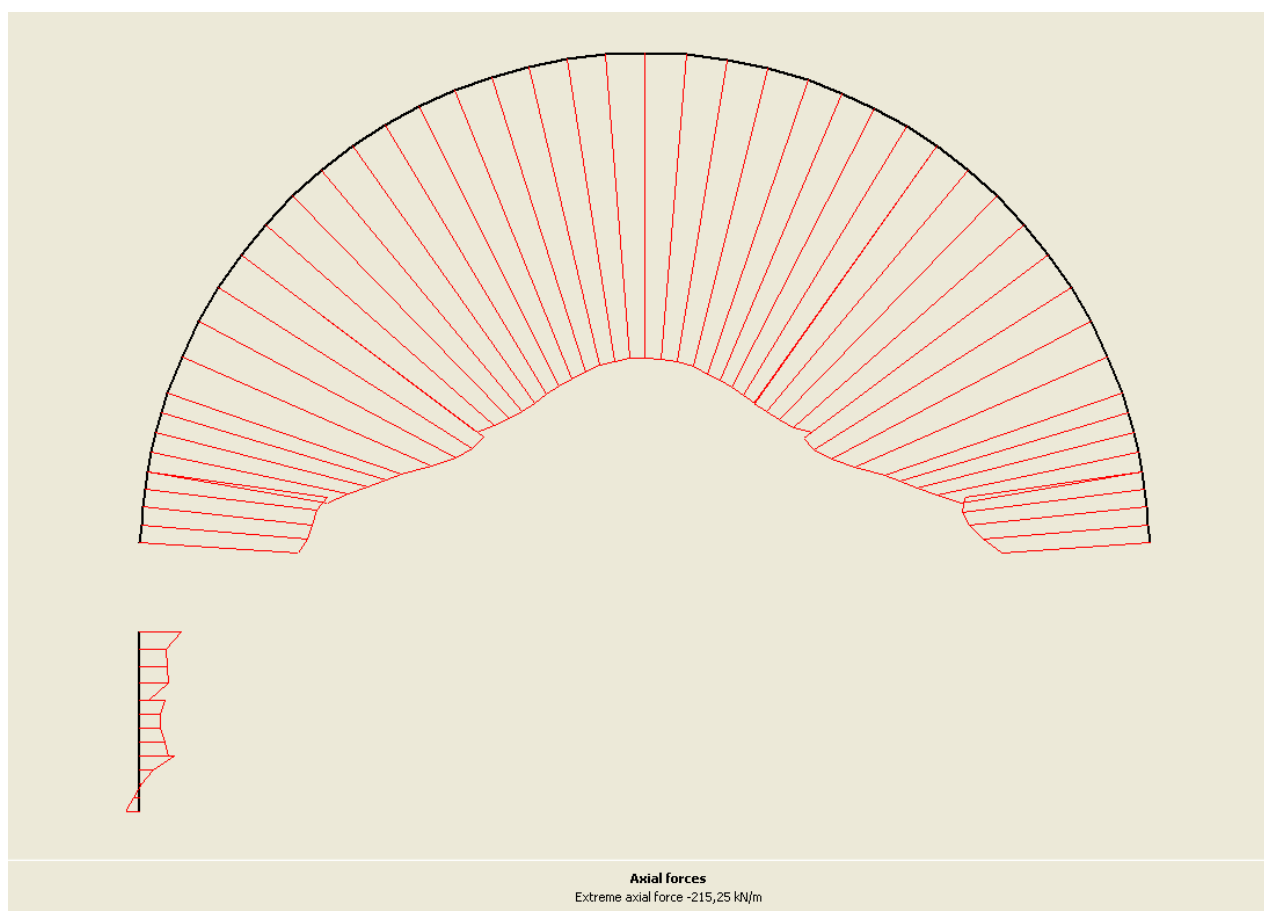
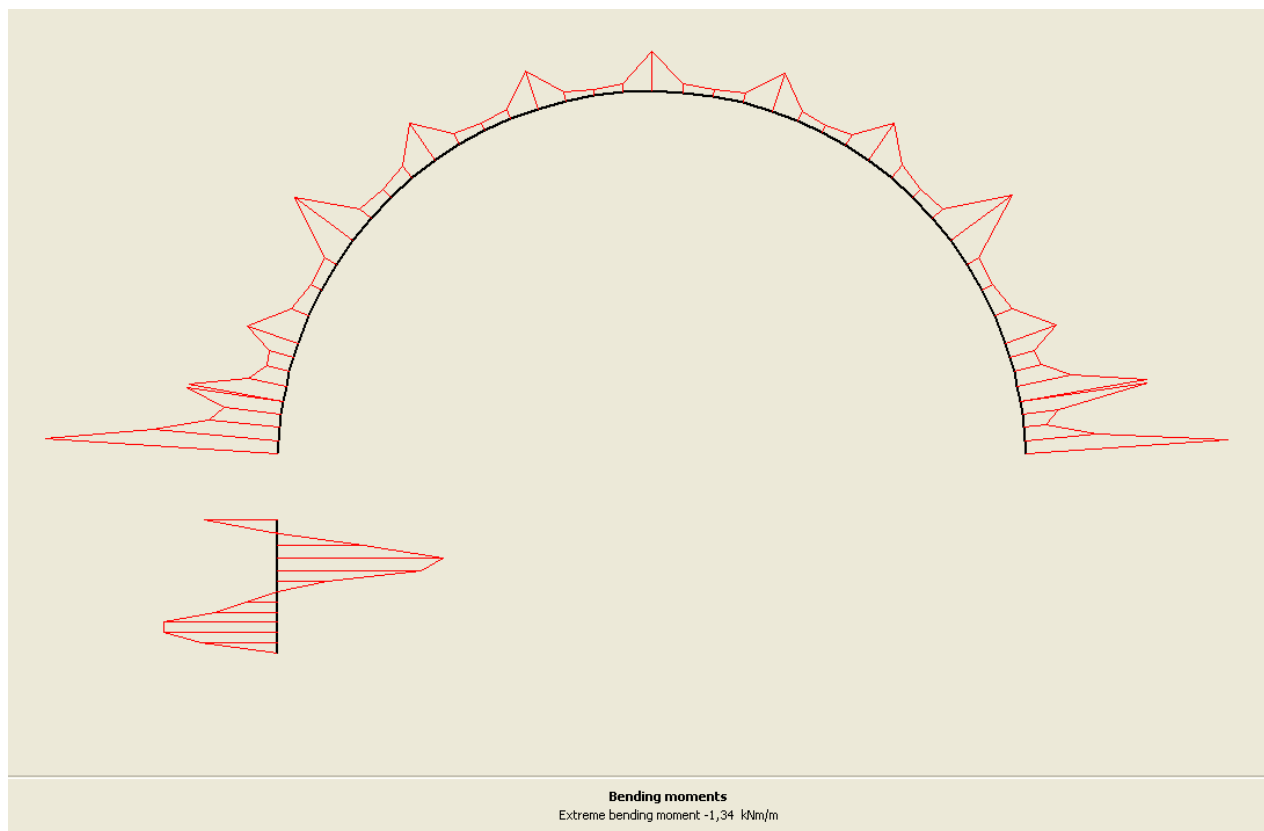


Fig. 20 Plot of plastic points
- Step no: 32 - (Phase: 6)

11.3 Structures

11.3.1 Beams



12.Results for phase 7

12.1 *Deformations*

12.1.1 Plot of total displacements

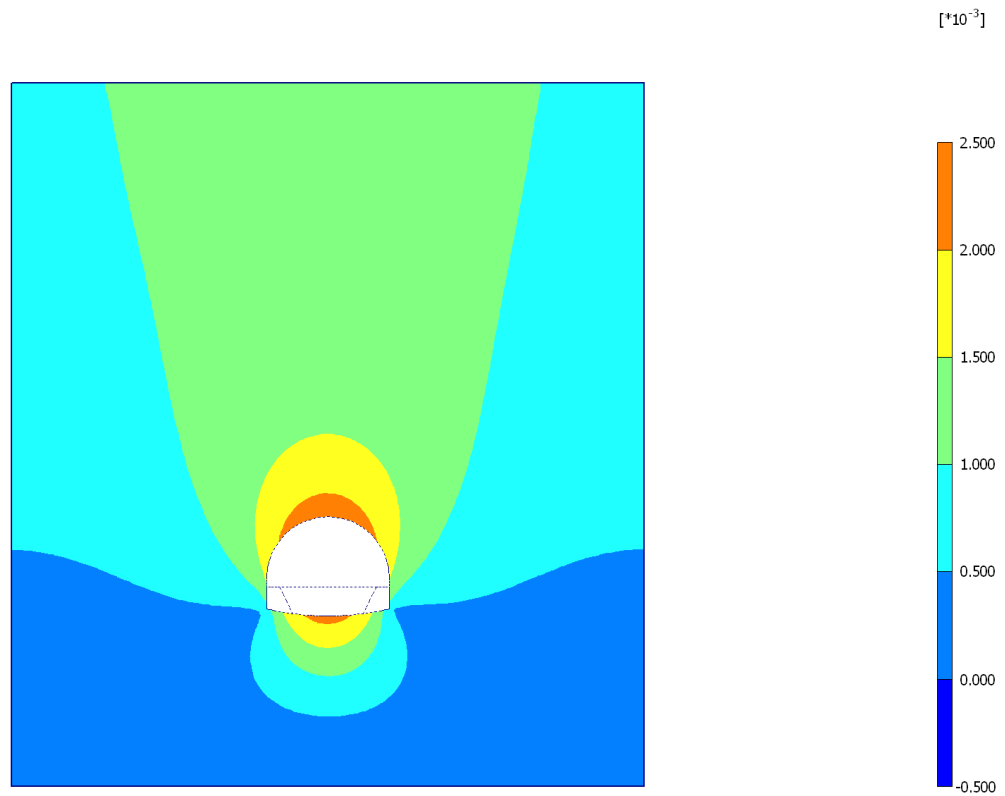


Fig. 21 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 35 - (Phase: 7)

12.2 *Stresses*

12.2.1 Plot of total stresses

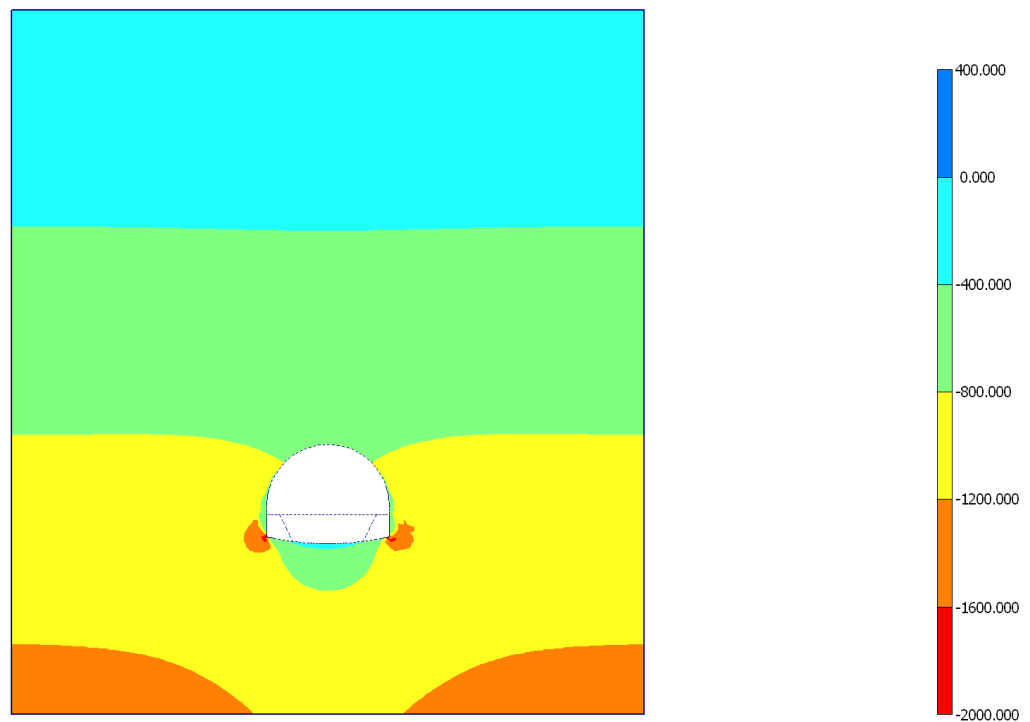


Fig. 22 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 35 - (Phase: 7)

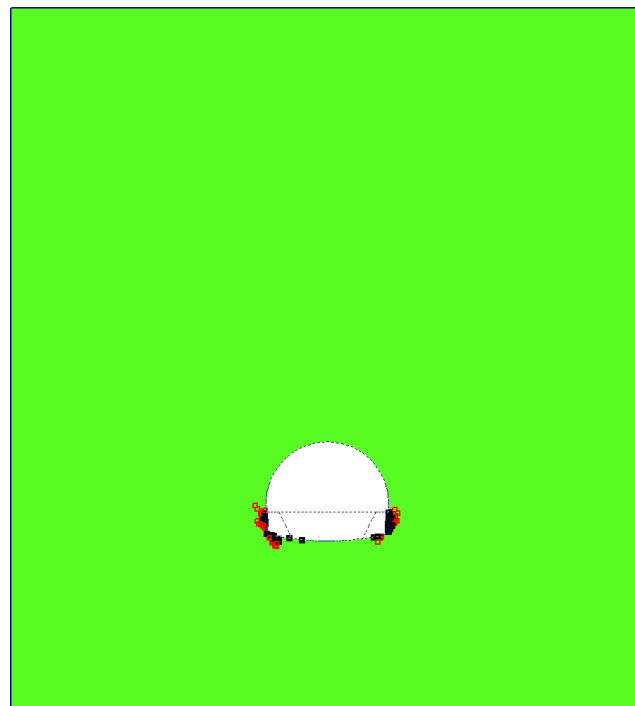


Fig. 23 Plot of plastic points
- Step no: 35 - (Phase: 7)

12.3 Structures

12.3.1 Beams

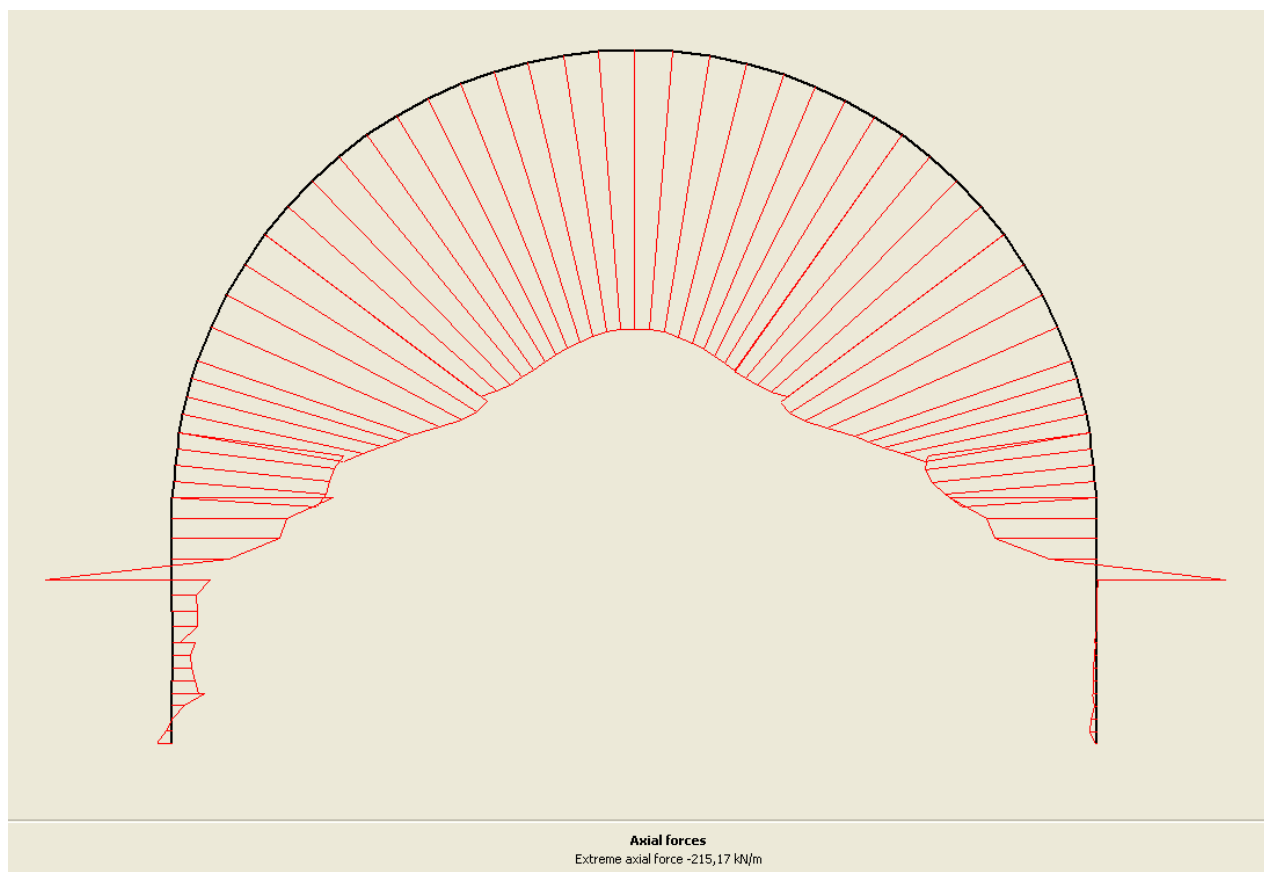
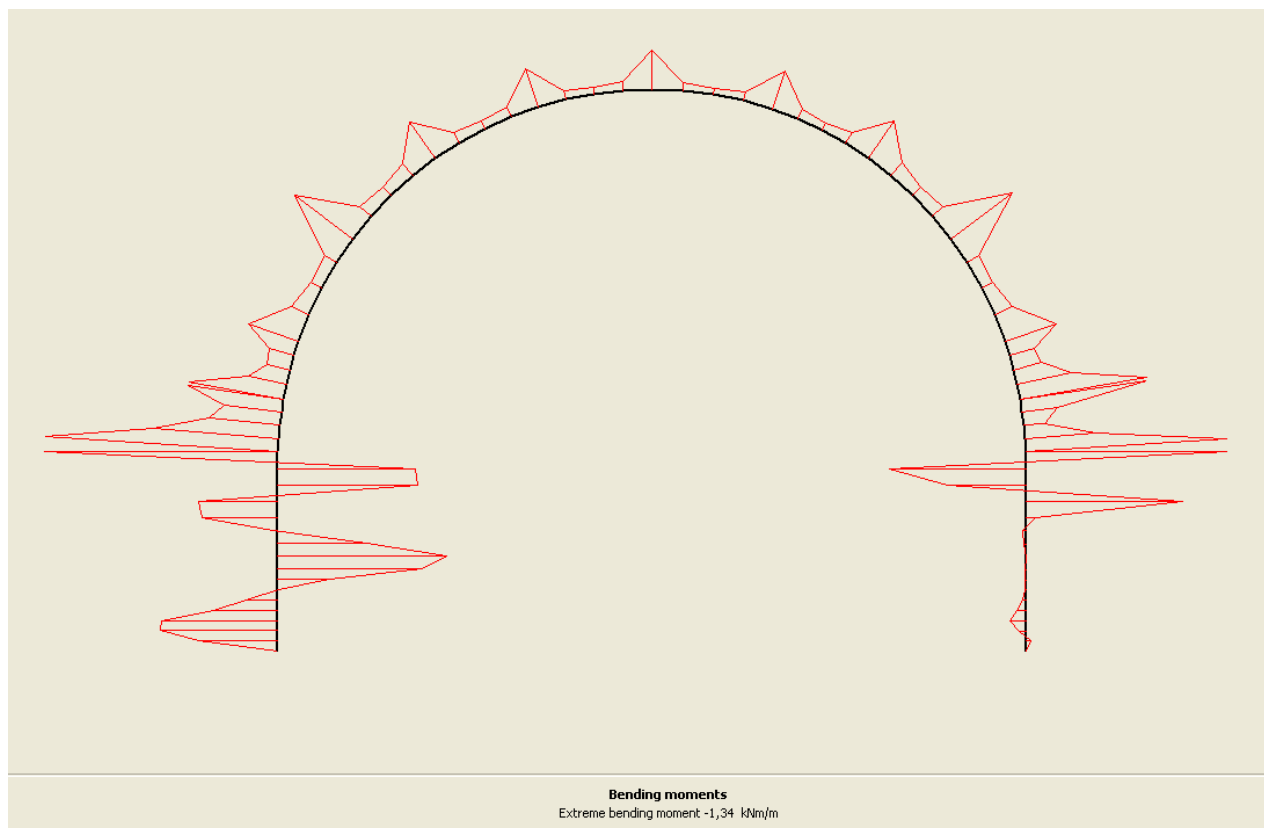


Table [16] Anchors phase no: 7

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1973	-8,617	0,789	1,815	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3377	-4,799	1,992						
2	2675	-8,800	3,382	12,666	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	3947	-4,799	3,492						
3	3335	-8,350	6,112	8,491	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	4333	-4,536	4,911						
4	4043	-7,090	8,552	7,223	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4649	-3,837	6,226						
5	4819	-5,150	10,482	6,921	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4797	-2,777	7,257						
6	5387	-2,710	11,712	6,899	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,998
	5501	-1,460	7,914						
7	6721	2,710	11,712	6,907	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	6179	1,551	7,884						
8	7115	5,150	10,482	6,916	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	6189	2,777	7,257						
9	7105	7,090	8,552	7,214	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6153	3,837	6,226						
10	6895	8,350	6,112	8,472	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5569	4,536	4,911						
11	6031	8,800	3,382	12,658	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,002
	4961	4,799	3,492						
12	5355	8,617	0,789	0,055	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4265	4,799	1,982						
13	6451	0,000	12,142	6,916	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	6137	0,000	8,142						

REPORT

07/15/2021

User: EPTISA

Title: ST-IV, CU-1 Margas. TRAMO SARRATU – APERRIBAI LINEA 5 FMB

Table [1] units**Table [2] Model dimensions****Table [3] Model**

The diagram shows a semi-circular arch structure. The arch is defined by a blue line for the main structure and a red line for a secondary path. The arch is supported by two vertical blue lines. The diagram is labeled with various numerical values along the arch and supports.

Location	Value
Top Left Support	2305
Top Right Support	2305
Left Support Base	2305
Right Support Base	2305
Left Arch Base	2305
Right Arch Base	2305
Left Arch Top	2305
Right Arch Top	2305
Left Arch Middle	2305
Right Arch Middle	2305
Left Arch Bottom	2305
Right Arch Bottom	2305
Left Arch Side	2305
Right Arch Side	2305
Left Arch Corner	2305
Right Arch Corner	2305
Left Arch Edge	2305
Right Arch Edge	2305
Left Arch Surface	2305
Right Arch Surface	2305
Left Arch Volume	2305
Right Arch Volume	2305
Left Arch Area	2305
Right Arch Area	2305
Left Arch Perimeter	2305
Right Arch Perimeter	2305
Left Arch Mass	2305
Right Arch Mass	2305
Left Arch Density	2305
Right Arch Density	2305
Left Arch Temperature	2305
Right Arch Temperature	2305
Left Arch Pressure	2305
Right Arch Pressure	2305
Left Arch Stress	2305
Right Arch Stress	2305
Left Arch Strain	2305
Right Arch Strain	2305
Left Arch Displacement	2305
Right Arch Displacement	2305
Left Arch Velocity	2305
Right Arch Velocity	2305
Left Arch Acceleration	2305
Right Arch Acceleration	2305
Left Arch Force	2305
Right Arch Force	2305
Left Arch Moment	2305
Right Arch Moment	2305
Left Arch Power	2305
Right Arch Power	2305
Left Arch Energy	2305
Right Arch Energy	2305
Left Arch Entropy	2305
Right Arch Entropy	2305
Left Arch Information	2305
Right Arch Information	2305
Left Arch Complexity	2305
Right Arch Complexity	2305
Left Arch Chaos	2305
Right Arch Chaos	2305
Left Arch Fractal	2305
Right Arch Fractal	2305
Left Arch Quantum	2305
Right Arch Quantum	2305
Left Arch Relativity	2305
Right Arch Relativity	2305
Left Arch Cosmology	2305
Right Arch Cosmology	2305
Left Arch Biology	2305
Right Arch Biology	2305
Left Arch Chemistry	2305
Right Arch Chemistry	2305
Left Arch Physics	2305
Right Arch Physics	2305
Left Arch Mathematics	2305
Right Arch Mathematics	2305
Left Arch Logic	2305
Right Arch Logic	2305
Left Arch Philosophy	2305
Right Arch Philosophy	2305
Left Arch Art	2305
Right Arch Art	2305
Left Arch Literature	2305
Right Arch Literature	2305
Left Arch Music	2305
Right Arch Music	2305
Left Arch Dance	2305
Right Arch Dance	2305
Left Arch Theater	2305
Right Arch Theater	2305
Left Arch Film	2305
Right Arch Film	2305
Left Arch Television	2305
Right Arch Television	2305
Left Arch Radio	2305
Right Arch Radio	2305
Left Arch Internet	2305
Right Arch Internet	2305
Left Arch Mobile	2305
Right Arch Mobile	2305
Left Arch Cloud	2305
Right Arch Cloud	2305
Left Arch Big Data	2305
Right Arch Big Data	2305
Left Arch Artificial Intelligence	2305
Right Arch Artificial Intelligence	2305
Left Arch Quantum Computing	2305
Right Arch Quantum Computing	2305
Left Arch Blockchain	2305
Right Arch Blockchain	2305
Left Arch Cryptocurrency	2305
Right Arch Cryptocurrency	2305
Left Arch Cybersecurity	2305
Right Arch Cybersecurity	2305
Left Arch Space Exploration	2305
Right Arch Space Exploration	2305
Left Arch Climate Change	2305
Right Arch Climate Change	2305
Left Arch Renewable Energy	2305
Right Arch Renewable Energy	2305
Left Arch Sustainable Development	2305
Right Arch Sustainable Development	2305
Left Arch Global Warming	2305
Right Arch Global Warming	2305
Left Arch Ocean Acidification	2305
Right Arch Ocean Acidification	2305
Left Arch Deforestation	2305
Right Arch Deforestation	2305
Left Arch Pollution	2305
Right Arch Pollution	2305
Left Arch Biodiversity	2305
Right Arch Biodiversity	2305
Left Arch Conservation	2305
Right Arch Conservation	2305
Left Arch Endangered Species	2305
Right Arch Endangered Species	2305
Left Arch Wildlife	2305
Right Arch Wildlife	2305
Left Arch Marine Life	2305
Right Arch Marine Life	2305
Left Arch Terrestrial Life	2305
Right Arch Terrestrial Life	2305
Left Arch Aquatic Life	2305
Right Arch Aquatic Life	2305
Left Arch Invertebrates	2305
Right Arch Invertebrates	2305
Left Arch Vertebrates	2305
Right Arch Vertebrates	2305
Left Arch Mammals	2305

Fig. 1 Plot of geometry model with structures

3. Mesh data

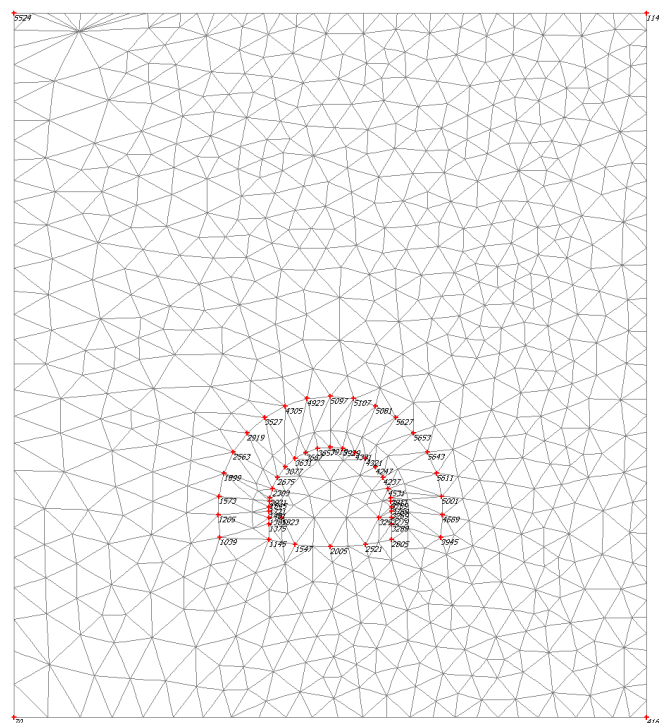


Fig. 2 Plot of the mesh with significant nodes

4. Material data

Table [4] Soil data sets parameters

<i>Mohr-Coulomb</i>		1
Type		Margas RMR_20
γ_{unsat}	[kN/m ³]	Drained
γ_{sat}	[kN/m ³]	27,00
k_x	[m/day]	0,000
k_y	[m/day]	0,000
c_{init}	[-]	0,500
c_k	[-]	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	730000,000
ν	[-]	0,300
G_{ref}	[kN/m ²]	280769,231
E_{oed}	[kN/m ²]	982692,308
c_{ref}	[kN/m ²]	100,00
ϕ	[°]	38,00
ψ	[°]	0,00
E_{inc}	[kN/m ² /m]	0,00
y_{ref}	[m]	0,000
$C_{\text{increment}}$	[kN/m ² /m]	0,00
$T_{\text{str.}}$	[kN/m ²]	0,00
$R_{\text{inter.}}$	[-]	1,00
Interface permeability		Neutral

Table [5] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]	v [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
1	ST_IV Gunita 0,18 + Cercha TH_21	3,18E6	7760,00	4,70	0,20	1E15	1E15
2	ST_V Gunita 0,30 + Cercha HEB_180	5,72E6	40700,00	7,99	0,20	1E15	1E15

Table [6] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L spacing [m]
1	Bulon f25	103000,00	184,000	184,000	1,00

5. Calculation phases

Table [7] List of phases

Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step
Initial phase	0	0		-	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic analysis	Staged construction	1	2
<Phase 2>	2	1	Plastic analysis	Staged construction	3	8
<Phase 3>	3	2	Plastic analysis	Staged construction	9	31
<Phase 4>	4	3	Plastic analysis	Staged construction	32	42
<Phase 5>	5	4	Plastic analysis	Staged construction	43	44
<Phase 6>	6	5	Plastic analysis	Staged construction	45	53
<Phase 7>	7	6	Plastic analysis	Staged construction	54	55

6. Results for phase 1

6.1 Deformations

6.1.1 Plot of total displacements

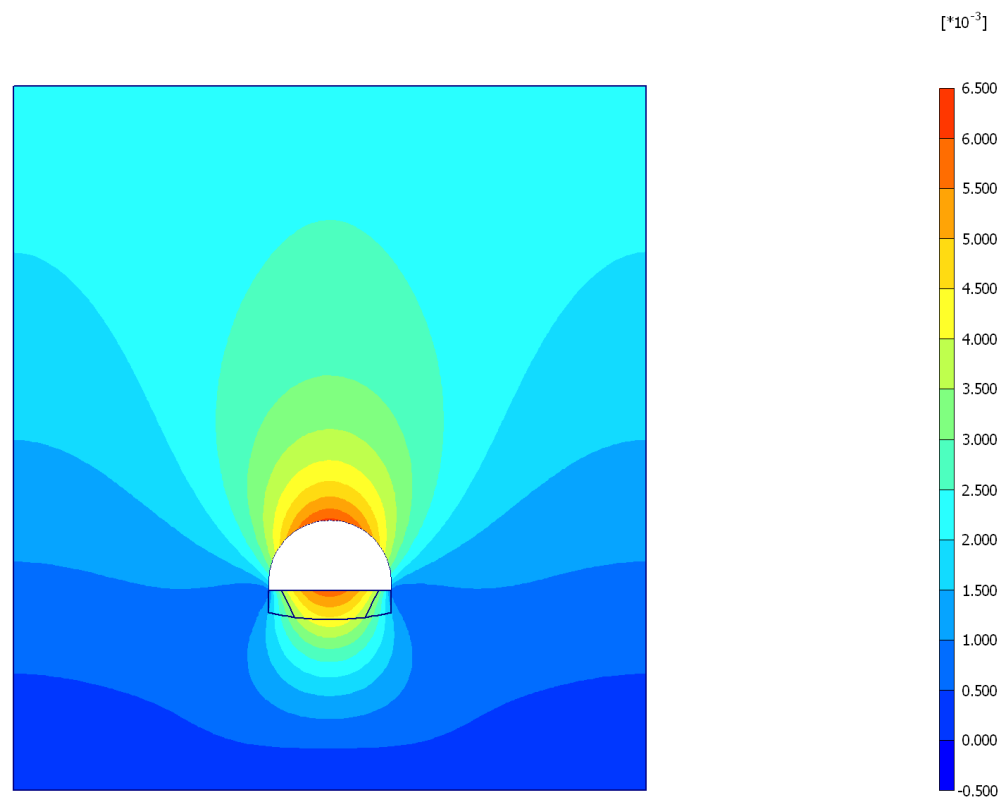


Fig. 3 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

6.2 Stresses

6.2.1 Plot of total stresses

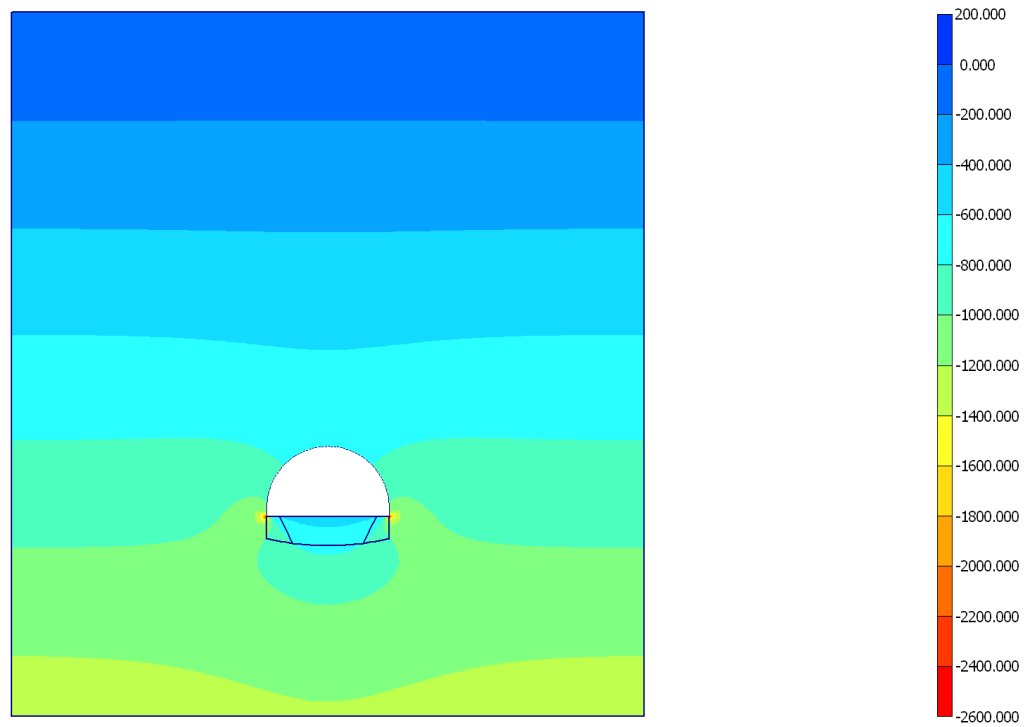


Fig. 4 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

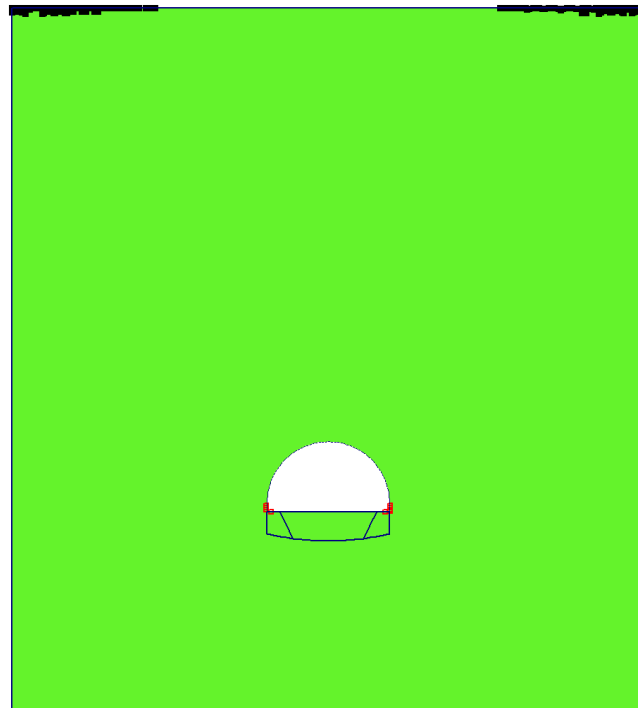


Fig. 5 Plot of plastic points
- Step no: 2 - (Phase: 1)

6.3 Structures

6.3.1 Anchors

Table [8] Anchors phase no: 1

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1039	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1375	-4,799	2,155						
2	1205	-8,800	2,882	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1481	-4,799	3,155						
3	1573	-8,740	4,322	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	1845	-4,758	3,939						
4	1899	-8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	2303	-4,536	4,911						
5	2563	-7,600	7,782	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2675	-4,116	5,811						
6	2919	-6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3077	-3,519	6,606						
7	3527	-5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	3631	-2,777	7,257						
8	4923	-1,820	11,952	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3657	-0,980	8,041						
9	5107	1,820	11,952	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3929	0,980	8,041						
10	5081	3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4331	1,917	7,742						
11	5627	5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4321	2,777	7,257						
12	5653	6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4247	3,519	6,606						
13	4531	4,536	4,911	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5611	8,350	6,112						
14	5643	7,600	7,782	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4237	4,116	5,811						
15	3789	4,758	3,939	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5001	8,740	4,322						
16	4669	8,800	2,882	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	3269	4,799	3,155						
17	3945	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3289	4,799	2,155						
18	4305	-3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3667	-1,917	7,742						
19	5097	0,000	12,142	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3919	0,000	8,142						

7. Results for phase 2

7.1 Deformations

7.1.1 Plot of total displacements

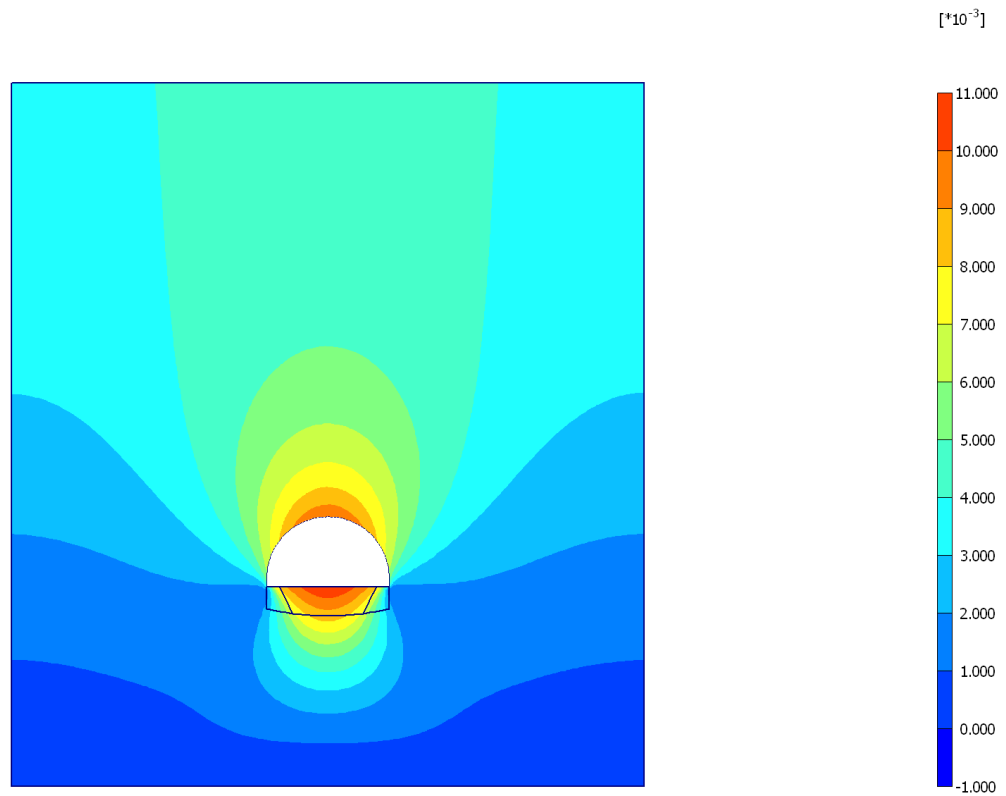


Fig. 8 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 8 - (Phase: 2)

7.2 Stresses

7.2.1 Plot of total stresses

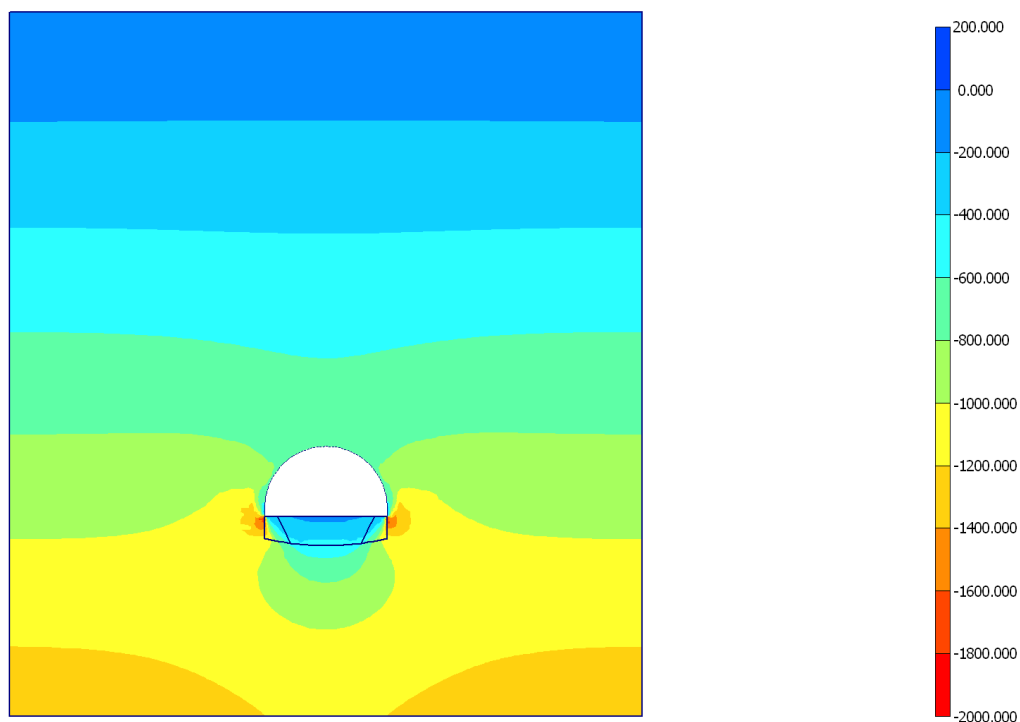


Fig. 9 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 8 - (Phase: 2)

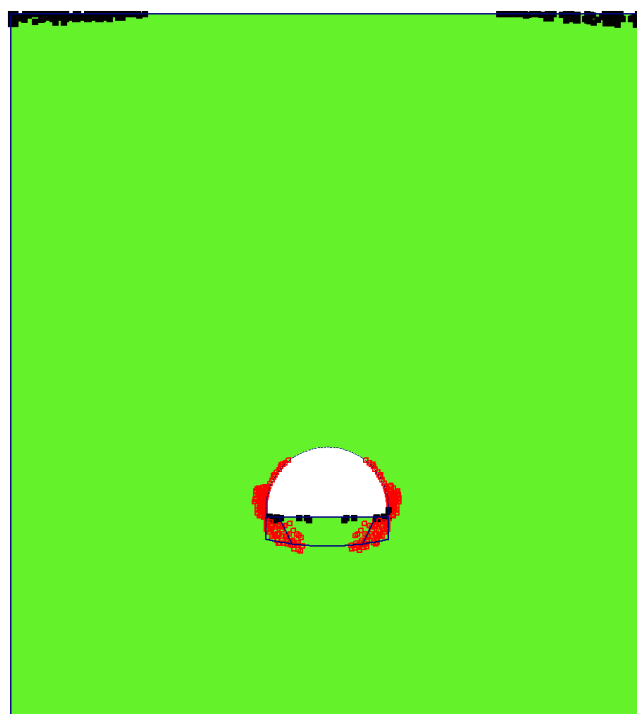


Fig. 10 Plot of plastic points
- Step no: 8 - (Phase: 2)

7.3 Structures

7.3.1 Beams

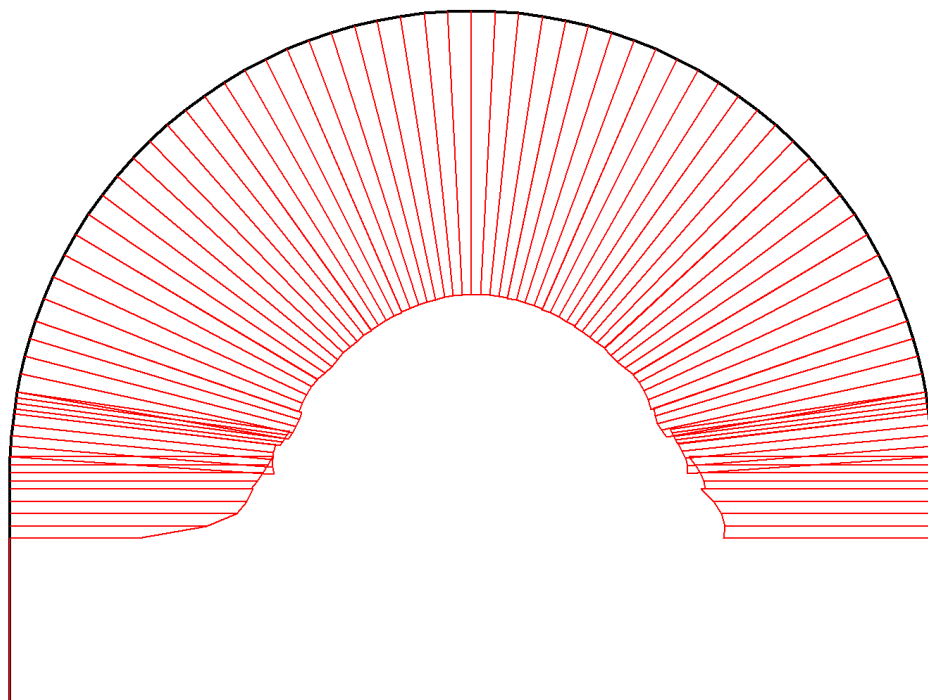


Fig. 11 Axial forces in beam
Extreme value -877,54 kN/m (Phase: 2)

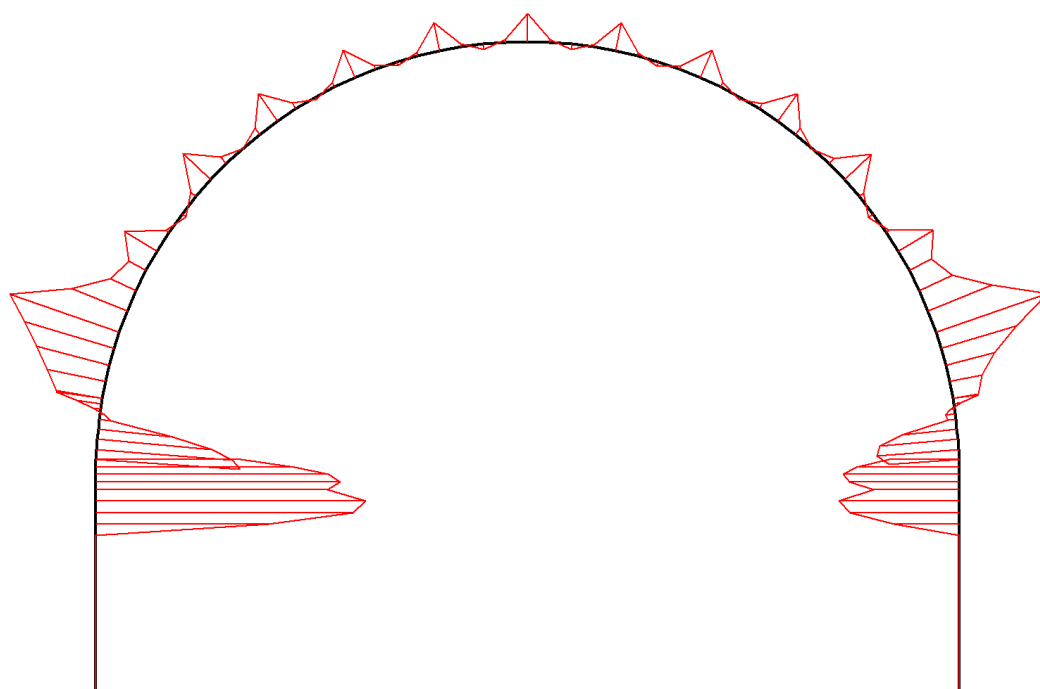


Fig. 12 Bending moments in beam
Extreme value 18,07 kNm/m (Phase: 2)

Table [9] Anchors phase no: 2

Anchor no.	Node	x-coord. [m]	y-coord. [m]	F [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	EA [kN]	Rotation [°]	Le [m]
1	1039	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1375	-4,799	2,155						
2	1205	-8,800	2,882	47,300	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1481	-4,799	3,155						
3	1573	-8,740	4,322	42,030	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	1845	-4,758	3,939						
4	1899	-8,350	6,112	26,586	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	2303	-4,536	4,911						
5	2563	-7,600	7,782	23,058	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2675	-4,116	5,811						
6	2919	-6,510	9,262	22,007	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3077	-3,519	6,606						
7	3527	-5,150	10,482	21,648	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	3631	-2,777	7,257						
8	4923	-1,820	11,952	21,983	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3657	-0,980	8,041						
9	5107	1,820	11,952	22,088	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3929	0,980	8,041						
10	5081	3,560	11,392	21,995	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4331	1,917	7,742						
11	5627	5,150	10,482	21,979	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4321	2,777	7,257						
12	5653	6,510	9,262	22,521	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4247	3,519	6,606						
13	4531	4,536	4,911	27,866	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5611	8,350	6,112						
14	5643	7,600	7,782	23,636	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4237	4,116	5,811						
15	3789	4,758	3,939	42,697	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5001	8,740	4,322						
16	4669	8,800	2,882	48,289	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	3269	4,799	3,155						
17	3945	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3289	4,799	2,155						
18	4305	-3,560	11,392	21,771	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3667	-1,917	7,742						
19	5097	0,000	12,142	22,105	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3919	0,000	8,142						

8. Results for phase 3

8.1 Deformations

8.1.1 Plot of total displacements

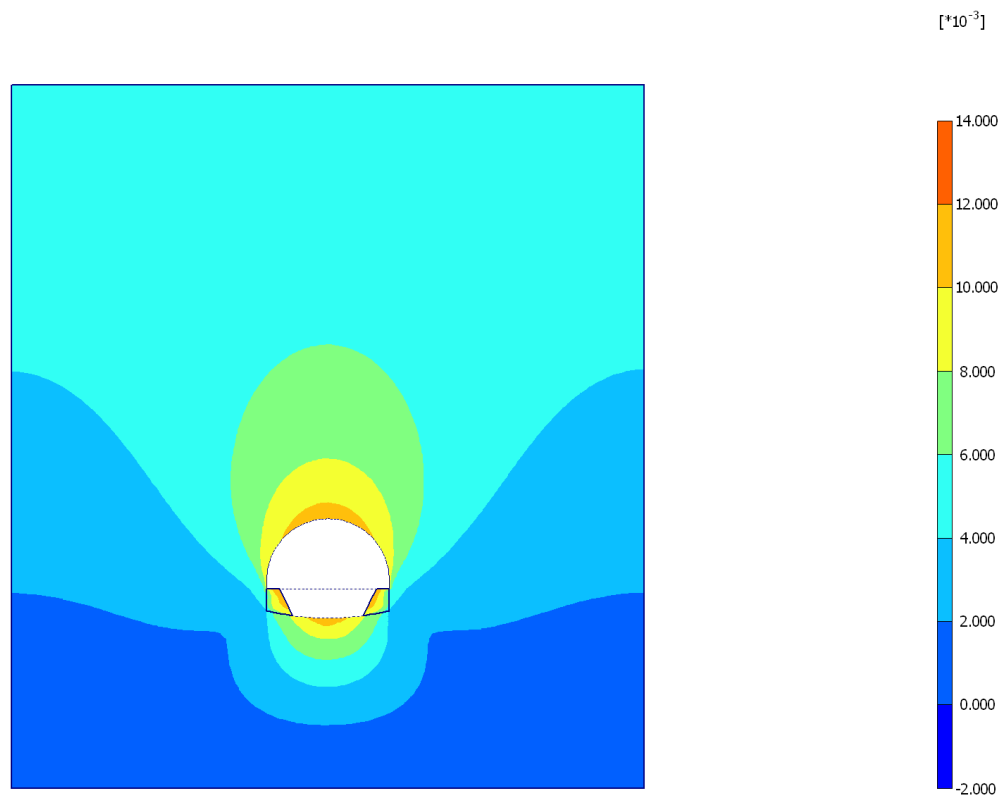


Fig. 13 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 31 - (Phase: 3)

8.2 Stresses

8.2.1 Plot of total stresses

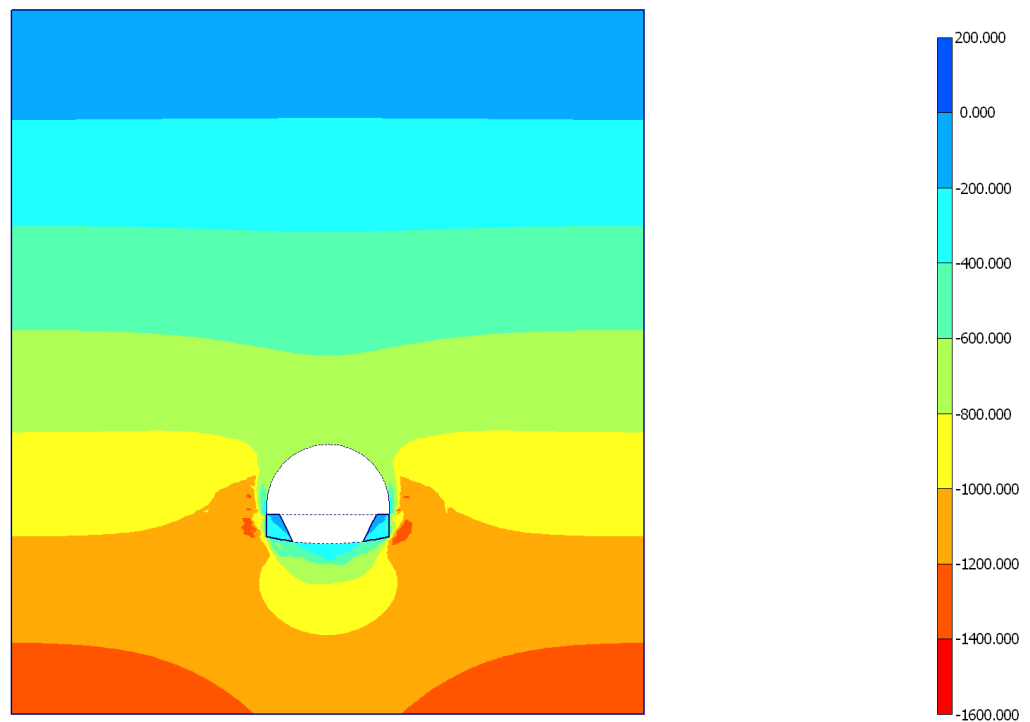


Fig. 14 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 31 - (Phase: 3)

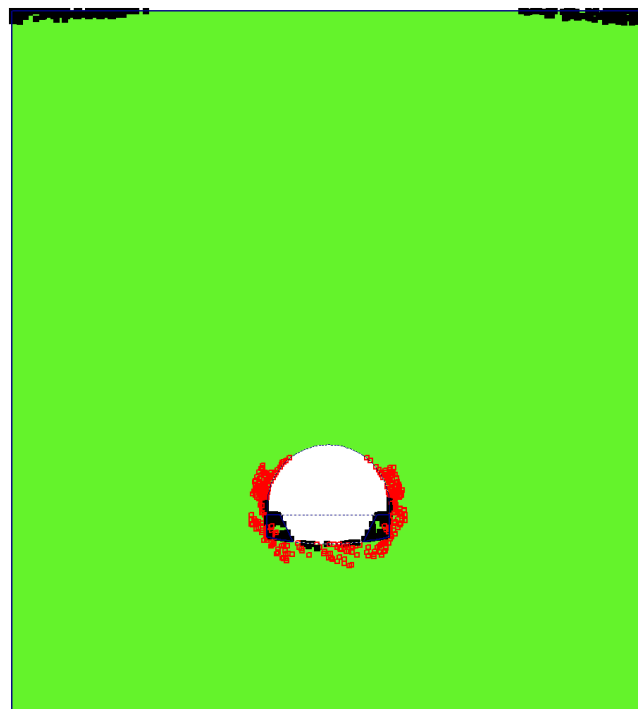


Fig. 15 Plot of plastic points
- Step no: 31 - (Phase: 3)

8.3 Structures

8.3.1 Beams

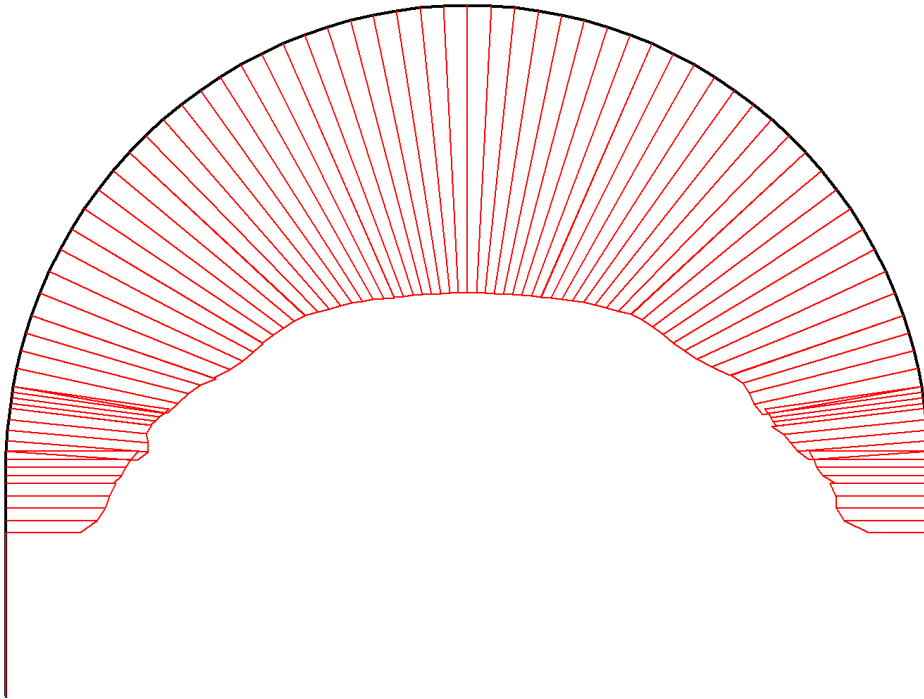


Fig. 16 Axial forces in beam
Extreme value -935,86 kN/m (Phase: 3)

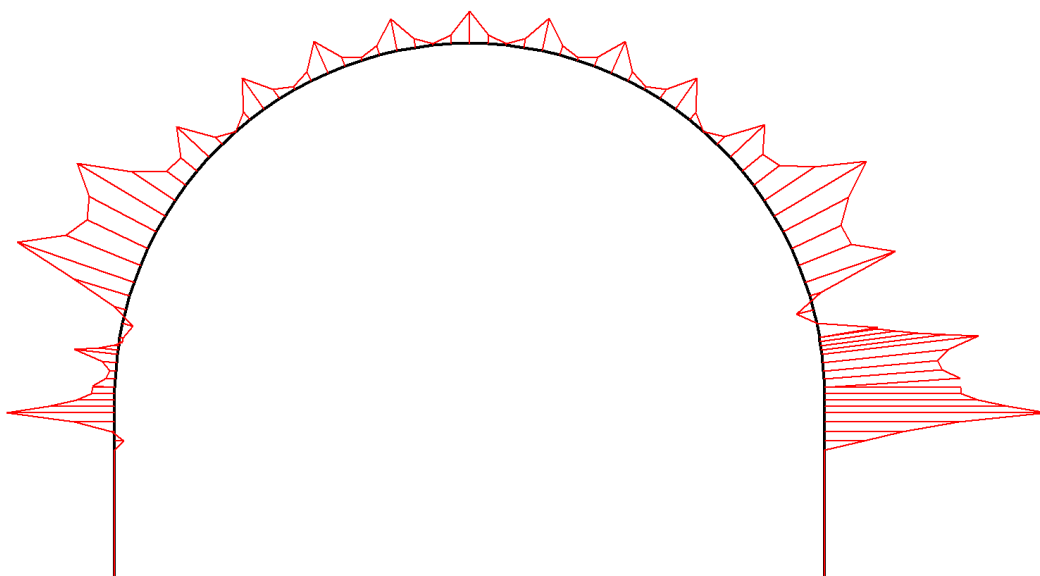


Fig. 17 Bending moments in beam
Extreme value -17,40 kNm/m (Phase: 3)

9. Results for phase 4

9.1 Deformations

9.1.1 Plot of total displacements

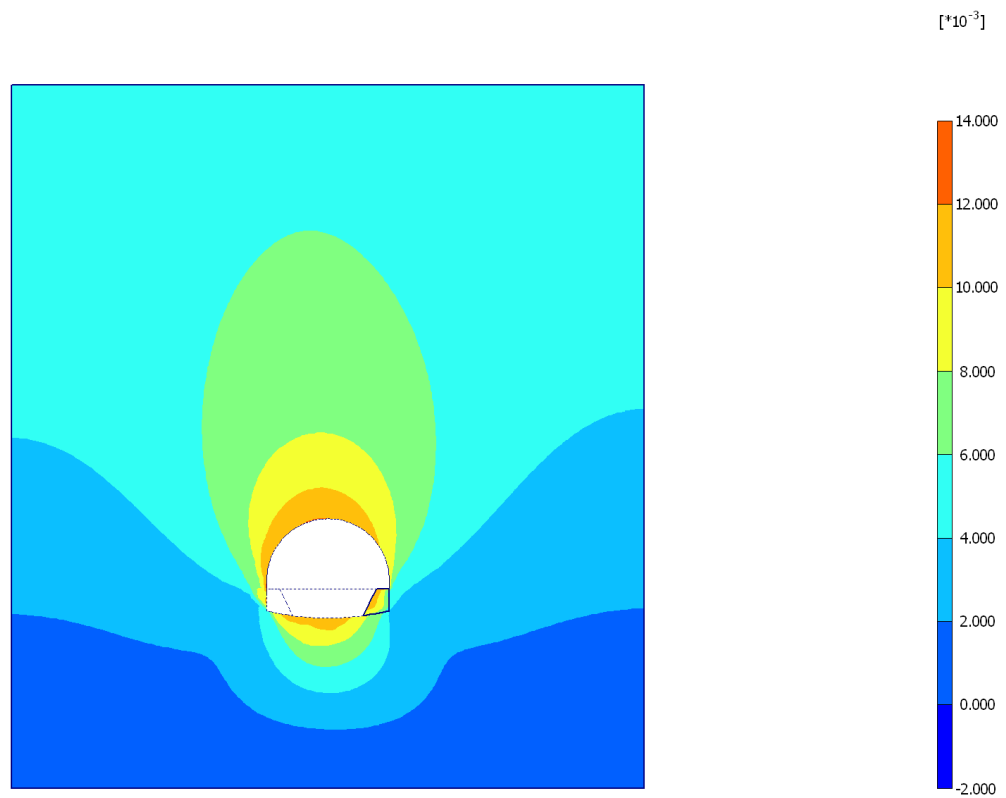


Fig. 18 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 42 - (Phase: 4)

9.2 Stresses

9.2.1 Plot of total stresses

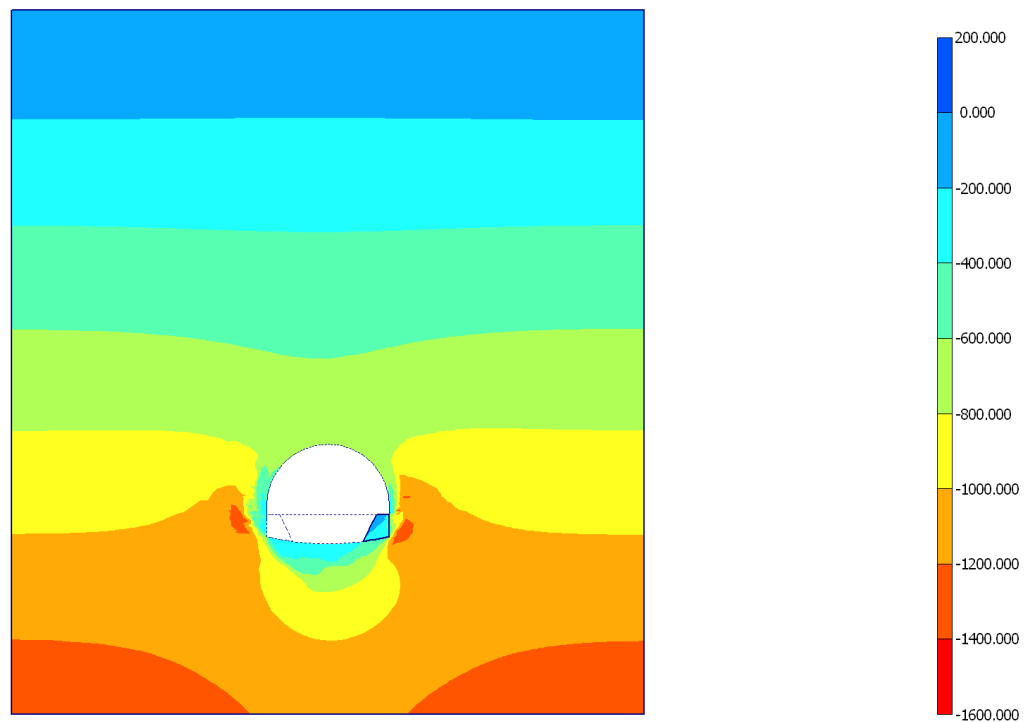


Fig. 19 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 42 - (Phase: 4)

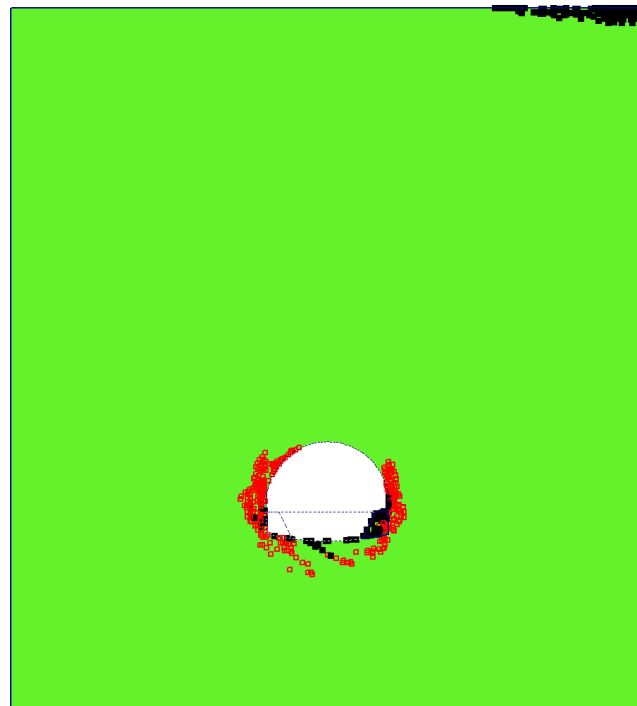


Fig. 20 Plot of plastic points
- Step no: 42 - (Phase: 4)

9.3 Structures

9.3.1 Beams

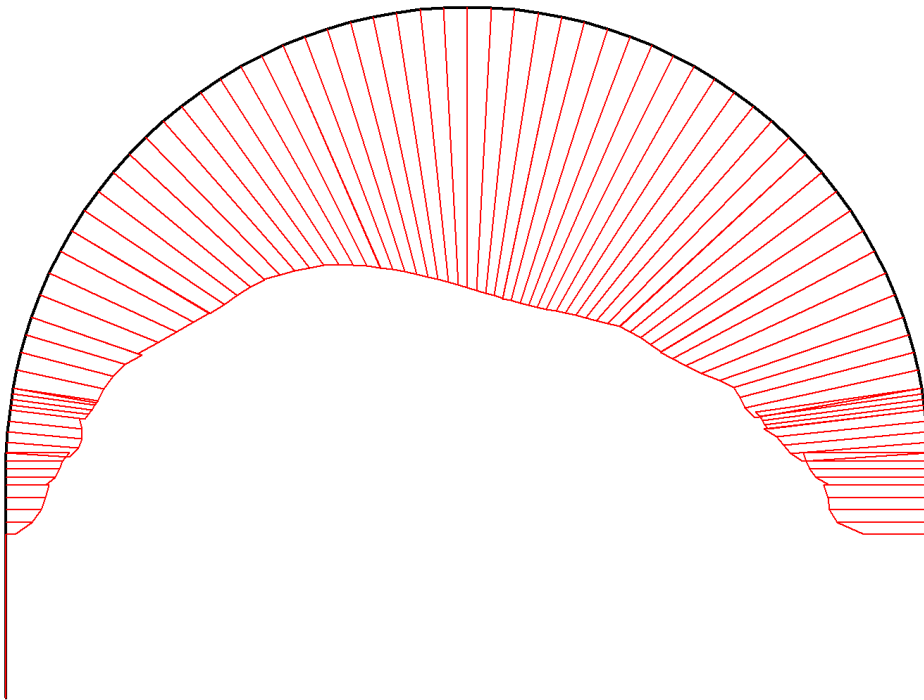


Fig. 21 Axial forces in beam
Extreme value -937,26 kN/m (Phase: 4)

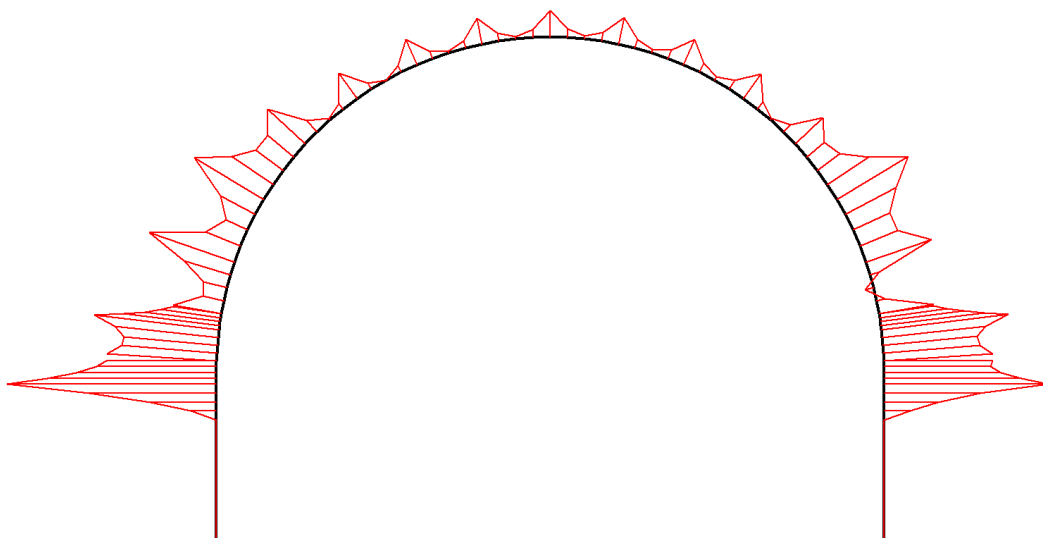


Fig. 22 Bending moments in beam
Extreme value -22,50 kNm/m (Phase: 4)

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	1039	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1375	-4,799	2,155						
2	1205	-8,800	2,882	133,242	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1481	-4,799	3,155						
3	1573	-8,740	4,322	97,363	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	1845	-4,758	3,939						
4	1899	-8,350	6,112	66,739	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	2303	-4,536	4,911						
5	2563	-7,600	7,782	44,727	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2675	-4,116	5,811						
6	2919	-6,510	9,262	33,396	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3077	-3,519	6,606						
7	3527	-5,150	10,482	29,696	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	3631	-2,777	7,257						
8	4923	-1,820	11,952	26,210	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3657	-0,980	8,041						
9	5107	1,820	11,952	25,099	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3929	0,980	8,041						
10	5081	3,560	11,392	25,426	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4331	1,917	7,742						
11	5627	5,150	10,482	26,503	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4321	2,777	7,257						
12	5653	6,510	9,262	28,621	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4247	3,519	6,606						
13	4531	4,536	4,911	53,561	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5611	8,350	6,112						
14	5643	7,600	7,782	35,015	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4237	4,116	5,811						
15	3789	4,758	3,939	74,534	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5001	8,740	4,322						
16	4669	8,800	2,882	102,028	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	3269	4,799	3,155						
17	3945	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3289	4,799	2,155						
18	4305	-3,560	11,392	27,577	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3667	-1,917	7,742						
19	5097	0,000	12,142	25,385	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3919	0,000	8,142						

10. Results for phase 5

10.1 Deformations

10.1.1 Plot of total displacements

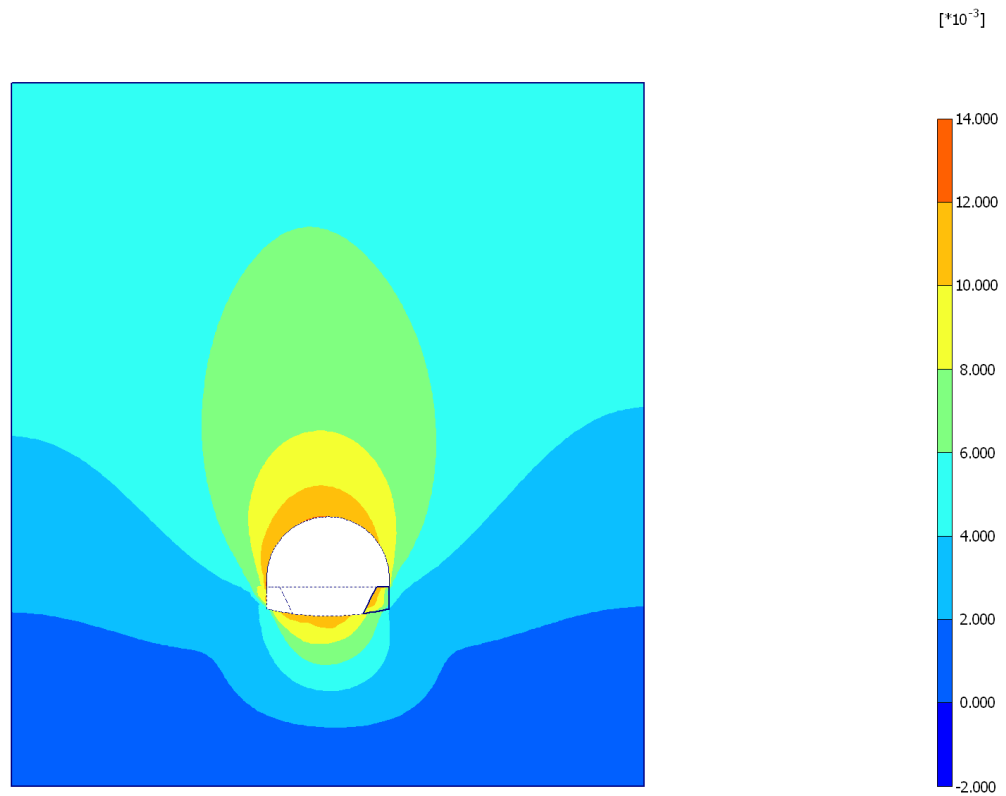


Fig. 23 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 44 - (Phase: 5)

10.2 Stresses

10.2.1 Plot of total stresses

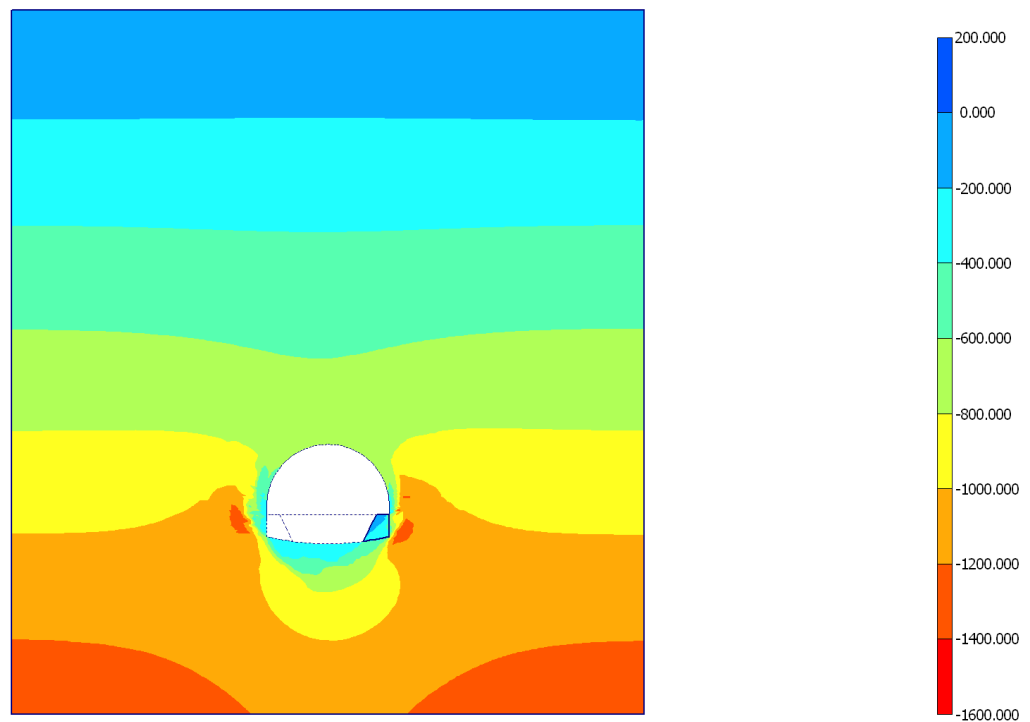


Fig. 24 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 44 - (Phase: 5)

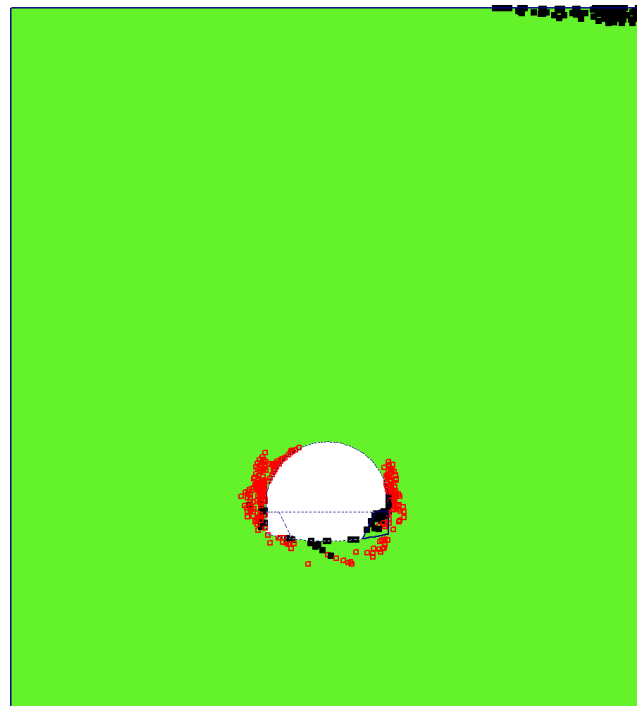


Fig. 25 Plot of plastic points
- Step no: 44 - (Phase: 5)

10.3 Structures

10.3.1 Beams

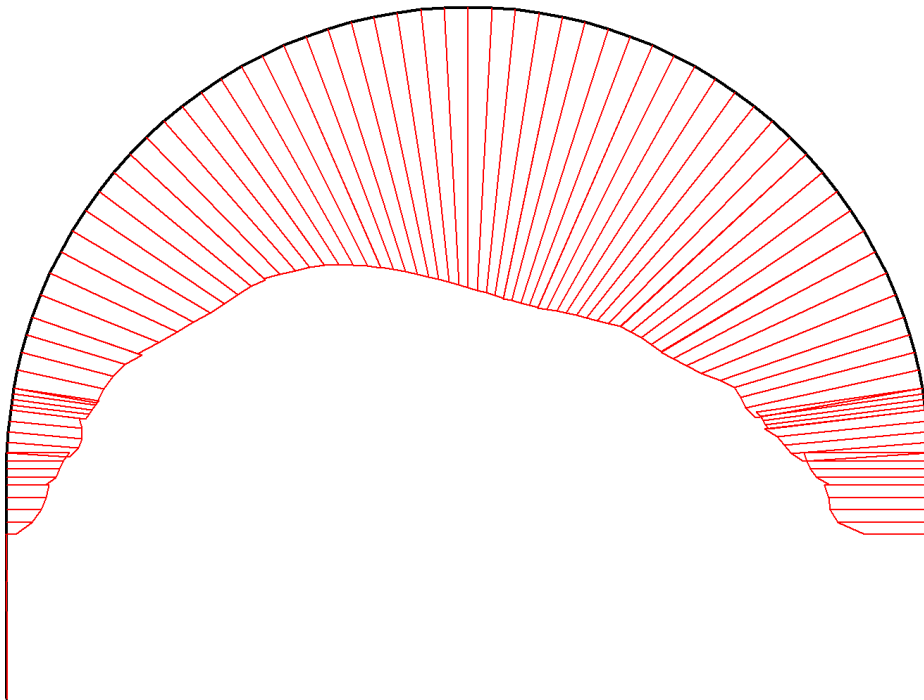


Fig. 26 Axial forces in beam
Extreme value -937,09 kN/m (Phase: 5)

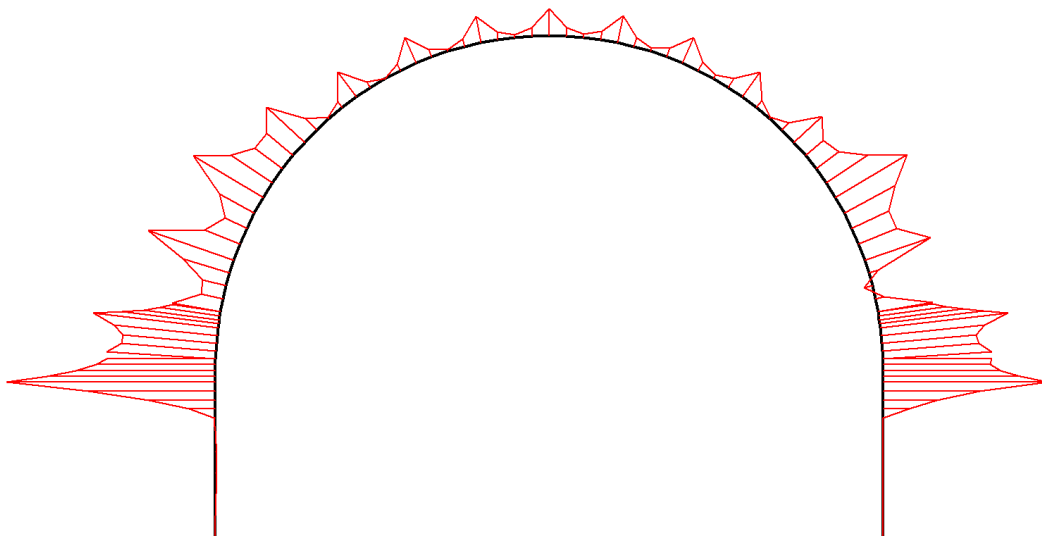


Fig. 27 Bending moments in beam
Extreme value -22,44 kNm/m (Phase: 5)

Table [12] Anchors phase no: 5

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	1039	-8,654	1,089	0,123	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1375	-4,799	2,155						
2	1205	-8,800	2,882	133,396	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1481	-4,799	3,155						
3	1573	-8,740	4,322	97,501	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	1845	-4,758	3,939						
4	1899	-8,350	6,112	66,847	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	2303	-4,536	4,911						
5	2563	-7,600	7,782	44,821	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2675	-4,116	5,811						
6	2919	-6,510	9,262	33,452	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3077	-3,519	6,606						
7	3527	-5,150	10,482	29,732	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	3631	-2,777	7,257						
8	4923	-1,820	11,952	26,231	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3657	-0,980	8,041						
9	5107	1,820	11,952	25,111	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3929	0,980	8,041						
10	5081	3,560	11,392	25,435	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4331	1,917	7,742						
11	5627	5,150	10,482	26,511	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4321	2,777	7,257						
12	5653	6,510	9,262	28,628	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4247	3,519	6,606						
13	4531	4,536	4,911	53,576	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5611	8,350	6,112						
14	5643	7,600	7,782	35,025	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4237	4,116	5,811						
15	3789	4,758	3,939	74,546	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5001	8,740	4,322						
16	4669	8,800	2,882	102,049	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	3269	4,799	3,155						
17	3945	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3289	4,799	2,155						
18	4305	-3,560	11,392	27,603	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3667	-1,917	7,742						
19	5097	0,000	12,142	25,401	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3919	0,000	8,142						

11. Results for phase 6

11.1 Deformations

11.1.1 Plot of total displacements

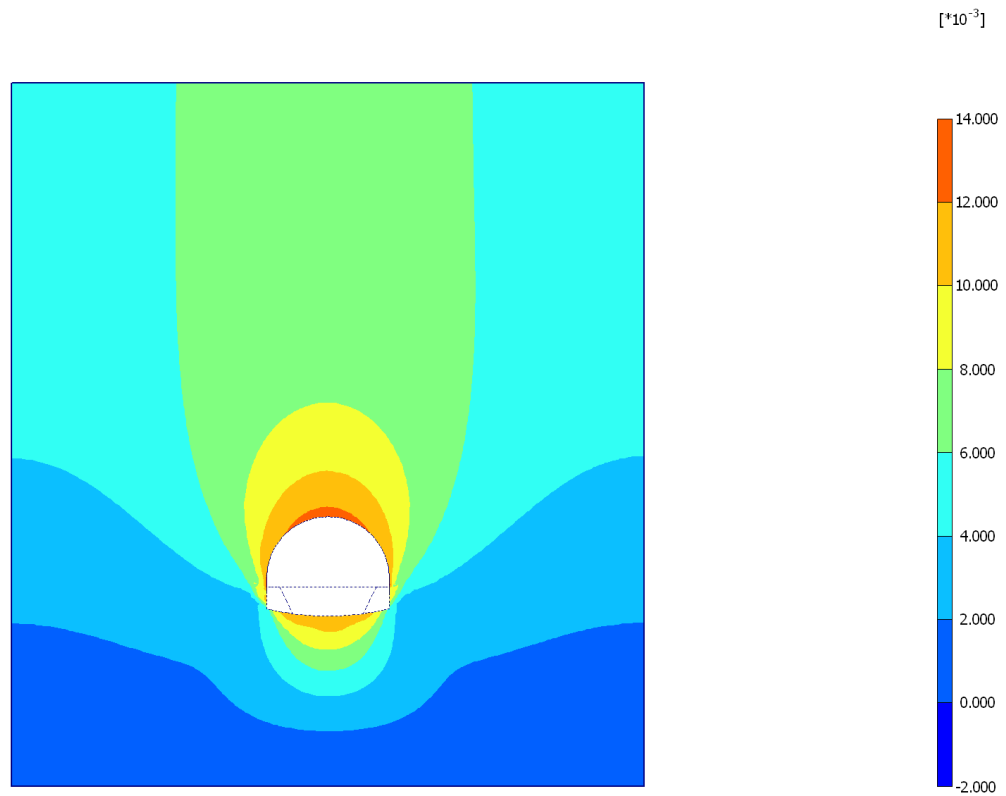


Fig. 28 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 53 - (Phase: 6)

11.2 Stresses

11.2.1 Plot of total stresses

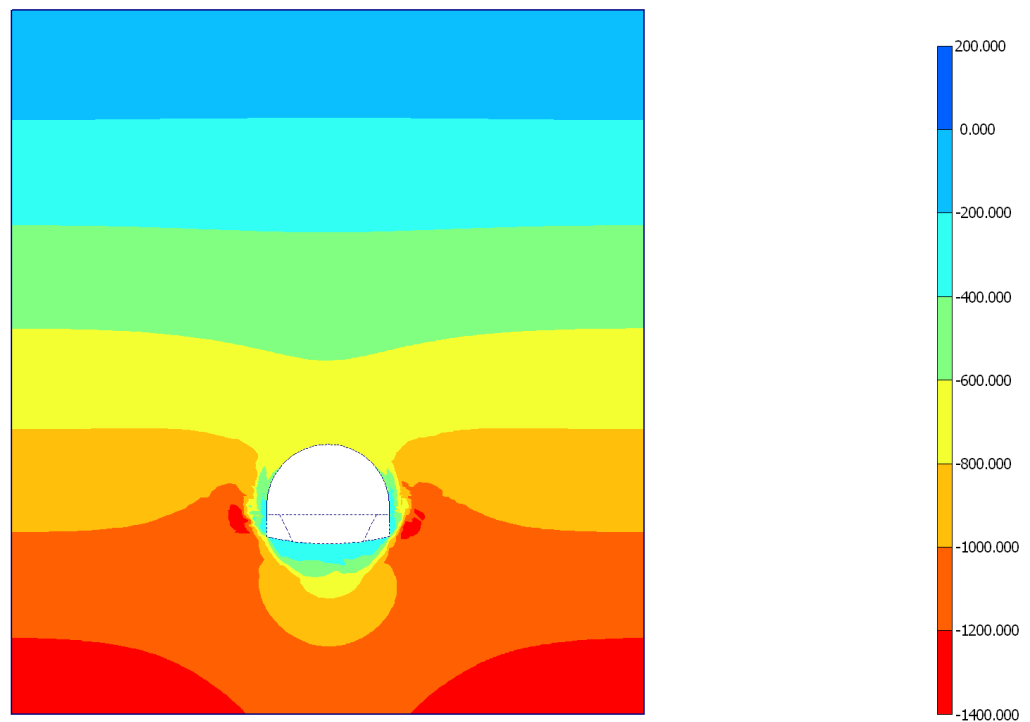


Fig. 29 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 53 - (Phase: 6)

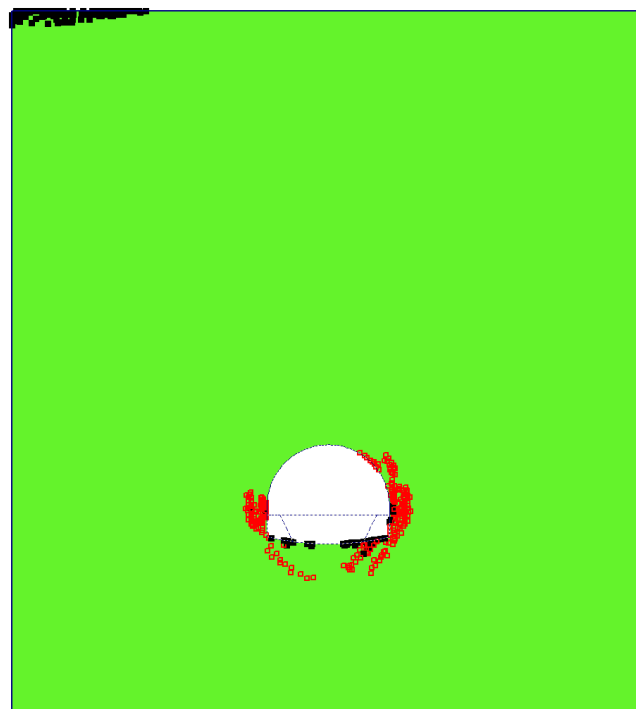


Fig. 30 Plot of plastic points
- Step no: 53 - (Phase: 6)

11.3 Structures

11.3.1 Beams

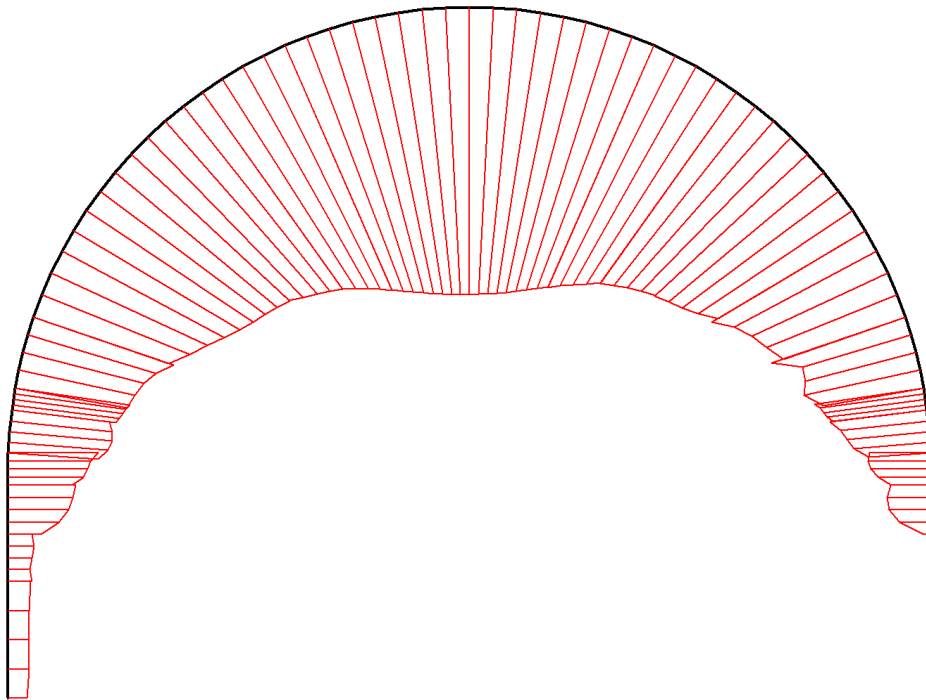


Fig. 31 Axial forces in beam
Extreme value -896,50 kN/m (Phase: 6)

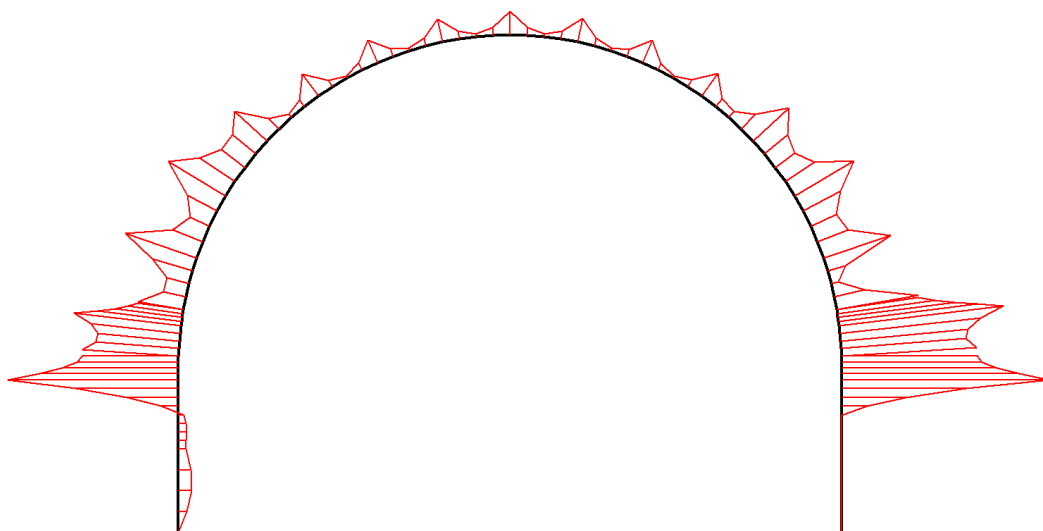


Fig. 32 Bending moments in beam
Extreme value -27,47 kNm/m (Phase: 6)

12.Results for phase 7

12.1 Deformations

12.1.1 Plot of total displacements

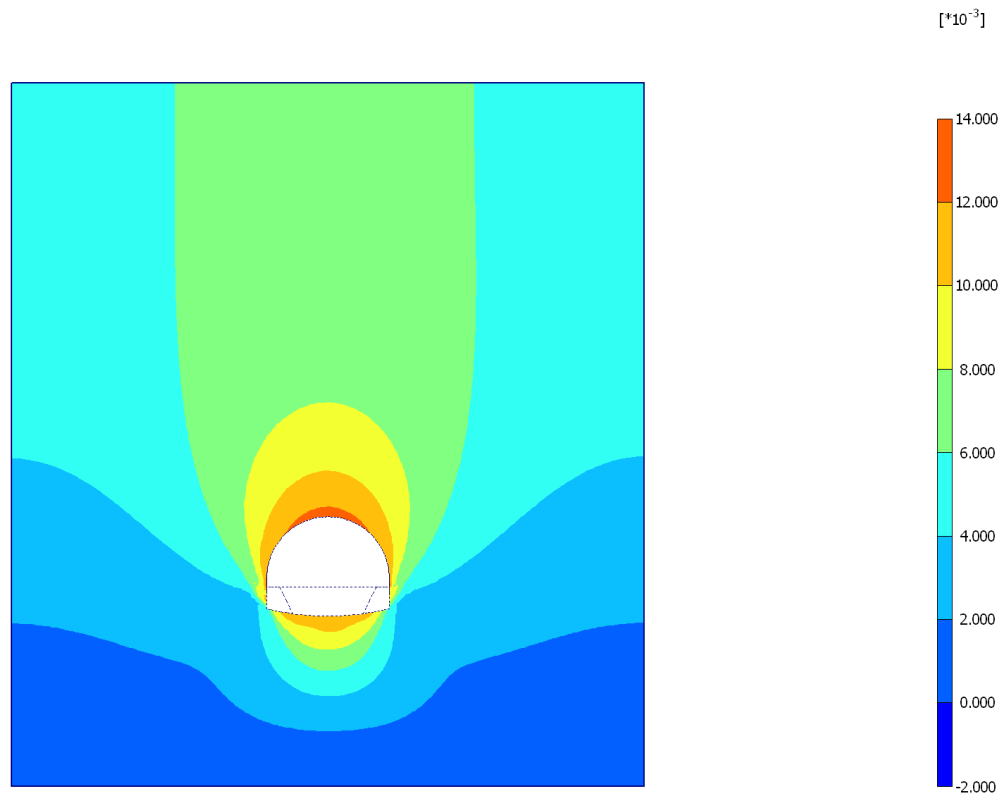


Fig. 33 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 55 - (Phase: 7)

12.2 Stresses

12.2.1 Plot of total stresses

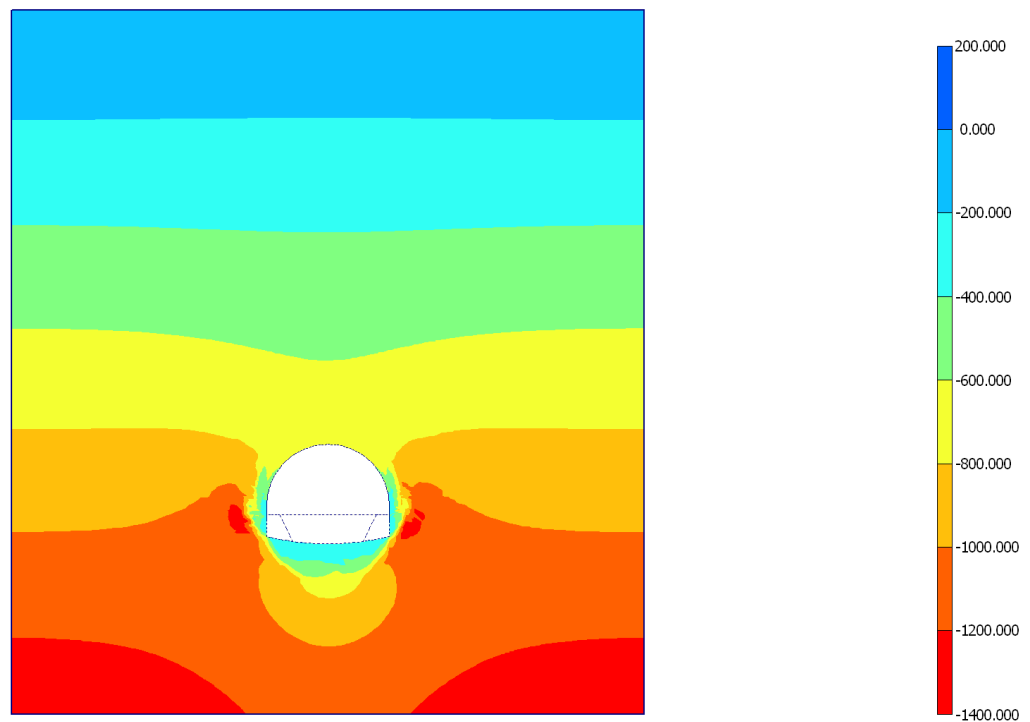


Fig. 34 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 55 - (Phase: 7)

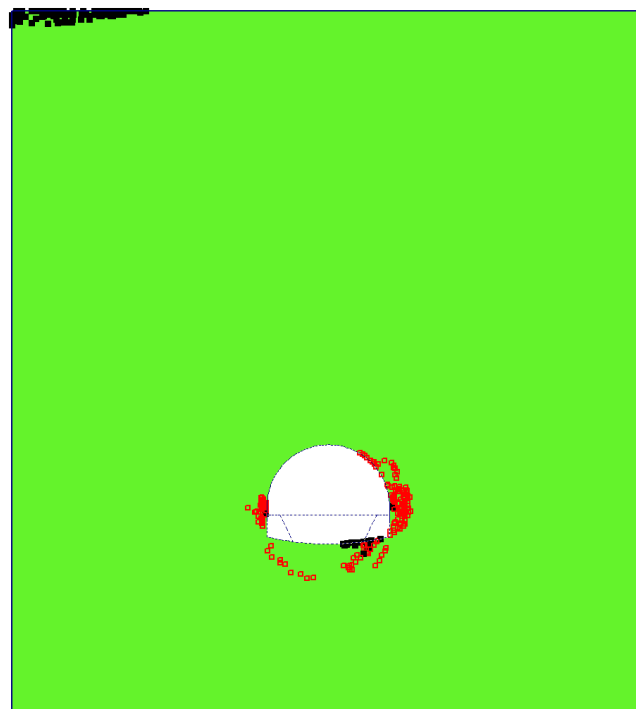


Fig. 35 Plot of plastic points
- Step no: 55 - (Phase: 7)

12.3 Structures

12.3.1 Beams

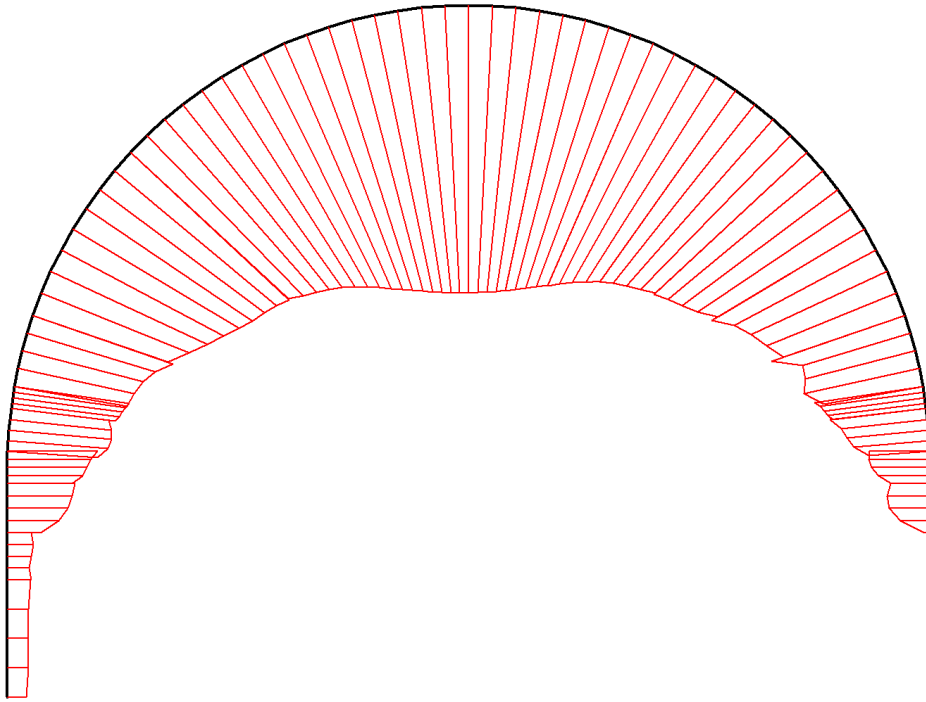


Fig. 36 Axial forces in beam
Extreme value -896,47 kN/m (Phase: 7)

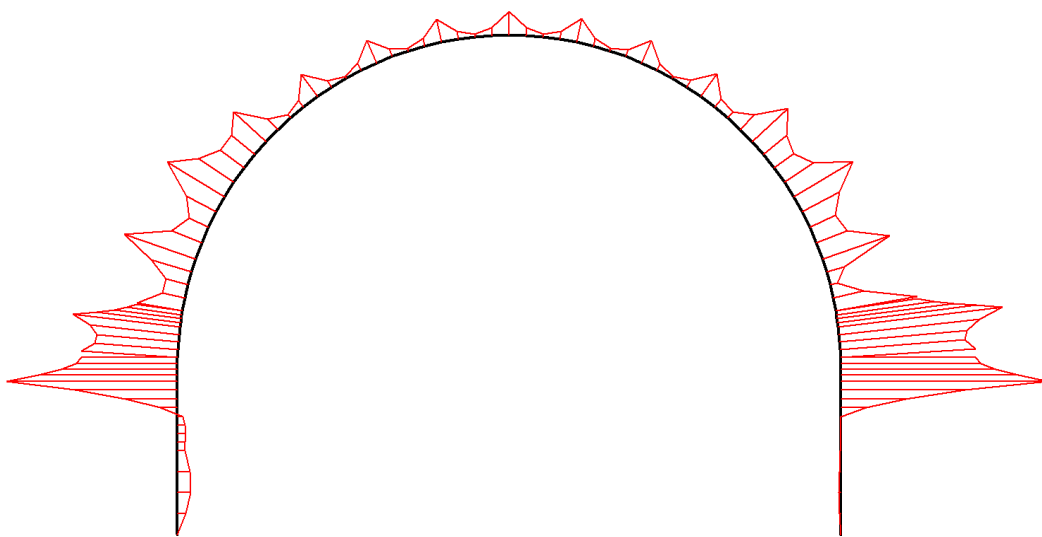


Fig. 37 Bending moments in beam
Extreme value -27,48 kNm/m (Phase: 7)

REPORT

07/15/2021

User: EPTISA

Title: ST-V, CU-1 Margas. TRAMO SARRATU – APERRIBAI LINEA 5 FMB

1. General Information

Table [1] units

Type	Unit
Length	m
Force	kN
Time	day

Table [2] Model dimensions

	min.	max.
X	-24,800	24,800
Y	-13,000	42,142

Table [3] Model

Model	Plane Strain
Element	15-Noded

2. Structures

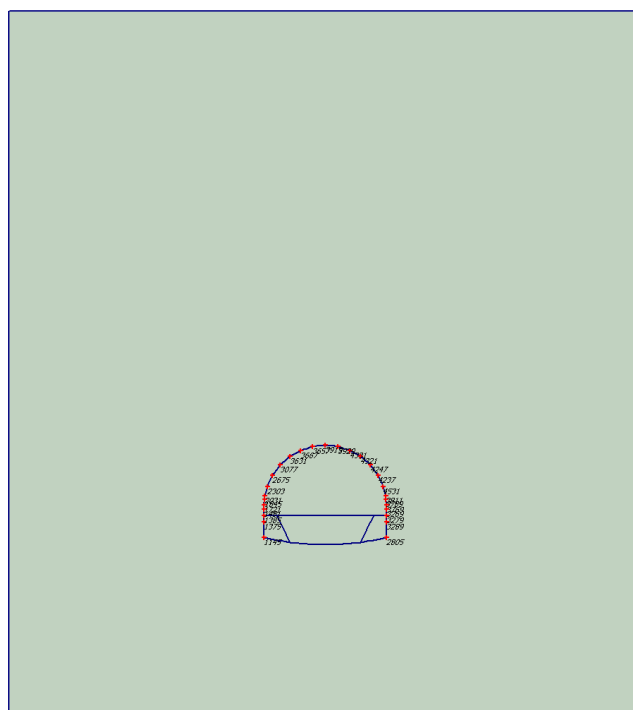


Fig. 1 Plot of geometry model with structures

3. Mesh data

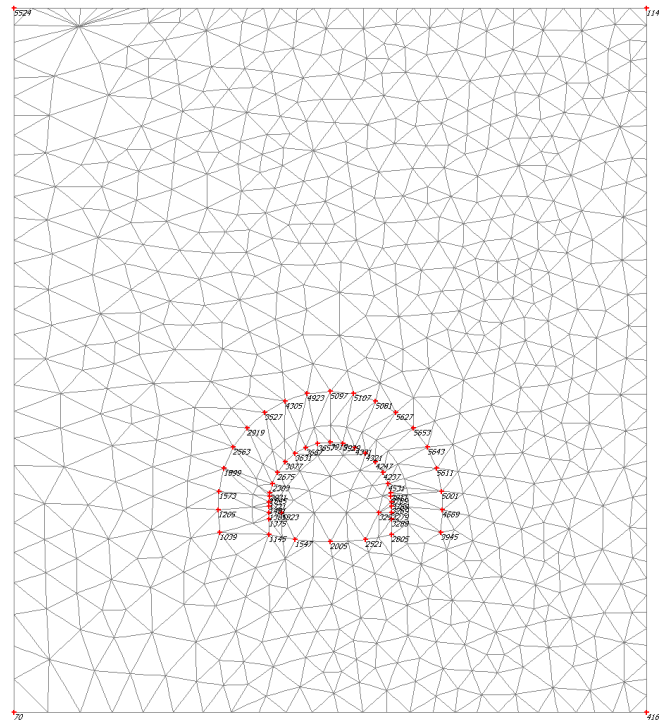


Fig. 2 Plot of the mesh with significant nodes

4. Material data

Table [4] Soil data sets parameters

Mohr-Coulomb		1
Type		Margas RMR_10
γ_{unsat}	[kN/m ³]	27,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	27,00
k_x	[m/day]	0,000
k_y	[m/day]	0,000
c_{init}	[-]	0,500
c_k	[-]	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	490000,000
ν	[-]	0,300
G_{ref}	[kN/m ²]	188461,538
E_{oed}	[kN/m ²]	659615,385
c_{ref}	[kN/m ²]	65,00
ϕ	[°]	31,50
ψ	[°]	0,00
E_{inc}	[kN/m ² /m]	0,00
y_{ref}	[m]	0,000
c_{incement}	[kN/m ² /m]	0,00
$T_{\text{str.}}$	[kN/m ²]	0,00
$R_{\text{inter.}}$	[-]	1,00
Interface permeability		Neutral

Table [5] Beam data sets parameters

no.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]	v [-]	Mp [kNm/m]	Np [kN/m]
1	ST_IV Gunita 0,18 + Cercha TH_21	3,18E6	7760,00	4,70	0,20	1E15	1E15
2	ST_V Gunita 0,30 + Cercha HEB_180	5,72E6	40700,00	7,99	0,20	1E15	1E15

Table [6] Anchor data sets parameters

no.	Identification	EA [kN]	Fmax,comp [kN]	Fmax,tens [kN]	L spacing [m]
1	Bulon f25	103000,00	184,000	184,000	1,00

5. Calculation phases

Table [7] List of phases

Phase	Ph-No.	Start phase	Calculation type	Load input	First step	Last step
Initial phase	0	0		-	0	0
<Phase 1>	1	0	Plastic analysis	Staged construction	1	2
<Phase 2>	2	1	Plastic analysis	Staged construction	3	22
<Phase 3>	3	2	Plastic analysis	Staged construction	23	65
<Phase 4>	4	3	Plastic analysis	Staged construction	66	78
<Phase 5>	5	4	Plastic analysis	Staged construction	79	80
<Phase 6>	6	5	Plastic analysis	Staged construction	81	88
<Phase 7>	7	6	Plastic analysis	Staged construction	89	91

6. Results for phase 1

6.1 Deformations

6.1.1 Plot of total displacements

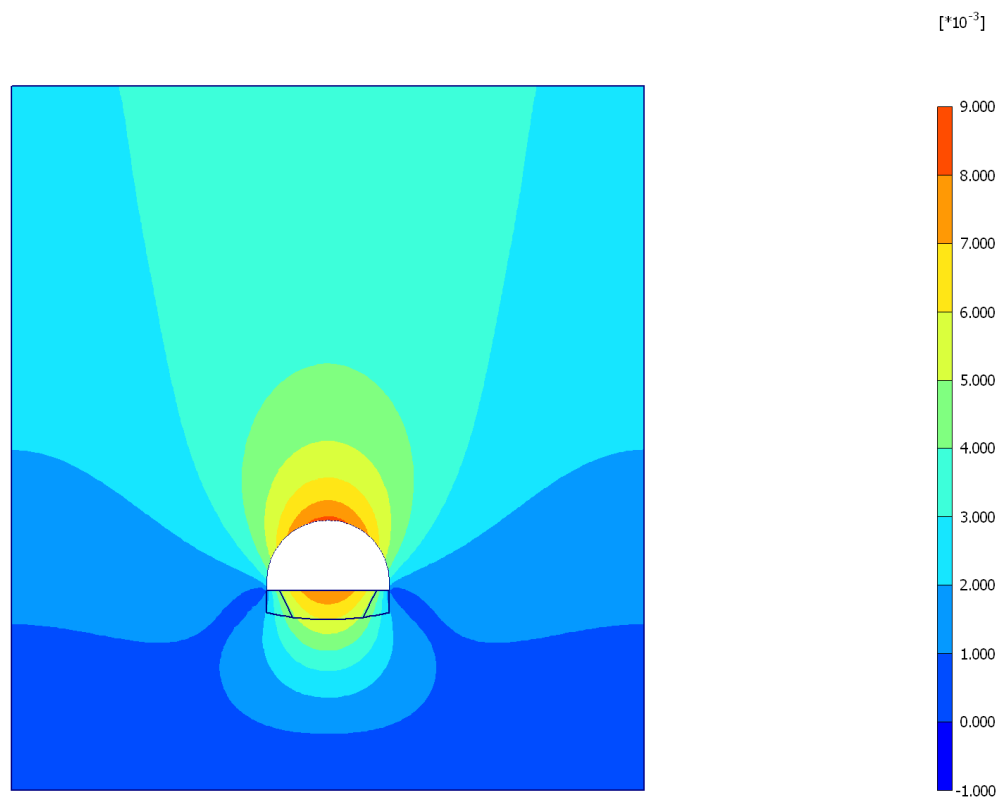


Fig. 3 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

6.2 Stresses

6.2.1 Plot of total stresses

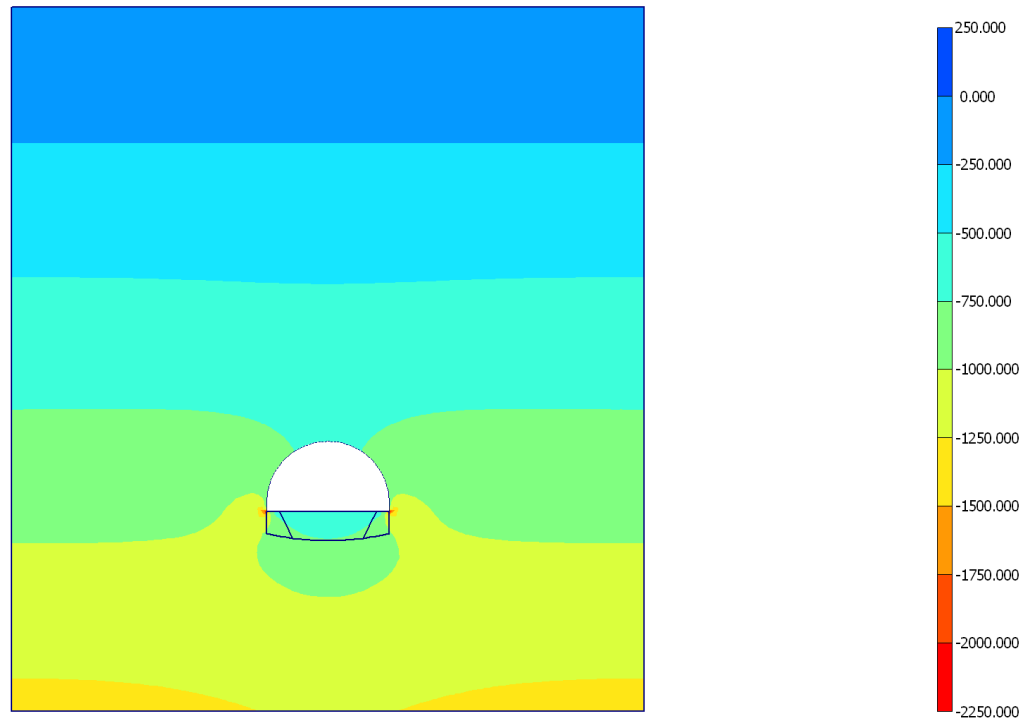


Fig. 4 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 2 - (Phase: 1)

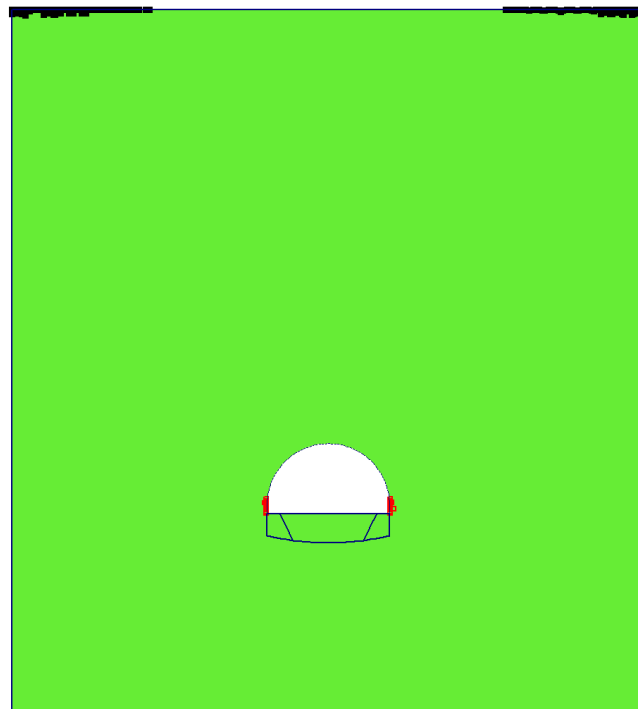


Fig. 5 Plot of plastic points
- Step no: 2 - (Phase: 1)

6.3.1 Anchors

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	1039	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1375	-4,799	2,155						
2	1205	-8,800	2,882	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1481	-4,799	3,155						
3	1573	-8,740	4,322	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	1845	-4,758	3,939						
4	1899	-8,350	6,112	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	2303	-4,536	4,911						
5	2563	-7,600	7,782	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2675	-4,116	5,811						
6	2919	-6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3077	-3,519	6,606						
7	3527	-5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	3631	-2,777	7,257						
8	4923	-1,820	11,952	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3657	-0,980	8,041						
9	5107	1,820	11,952	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3929	0,980	8,041						
10	5081	3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4331	1,917	7,742						
11	5627	5,150	10,482	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4321	2,777	7,257						
12	5653	6,510	9,262	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4247	3,519	6,606						
13	4531	4,536	4,911	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5611	8,350	6,112						
14	5643	7,600	7,782	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4237	4,116	5,811						
15	3789	4,758	3,939	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5001	8,740	4,322						
16	4669	8,800	2,882	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	3269	4,799	3,155						
17	3945	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3289	4,799	2,155						
18	4305	-3,560	11,392	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3667	-1,917	7,742						
19	5097	0,000	12,142	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3919	0,000	8,142						

7. Results for phase 2

7.1 Deformations

7.1.1 Plot of total displacements

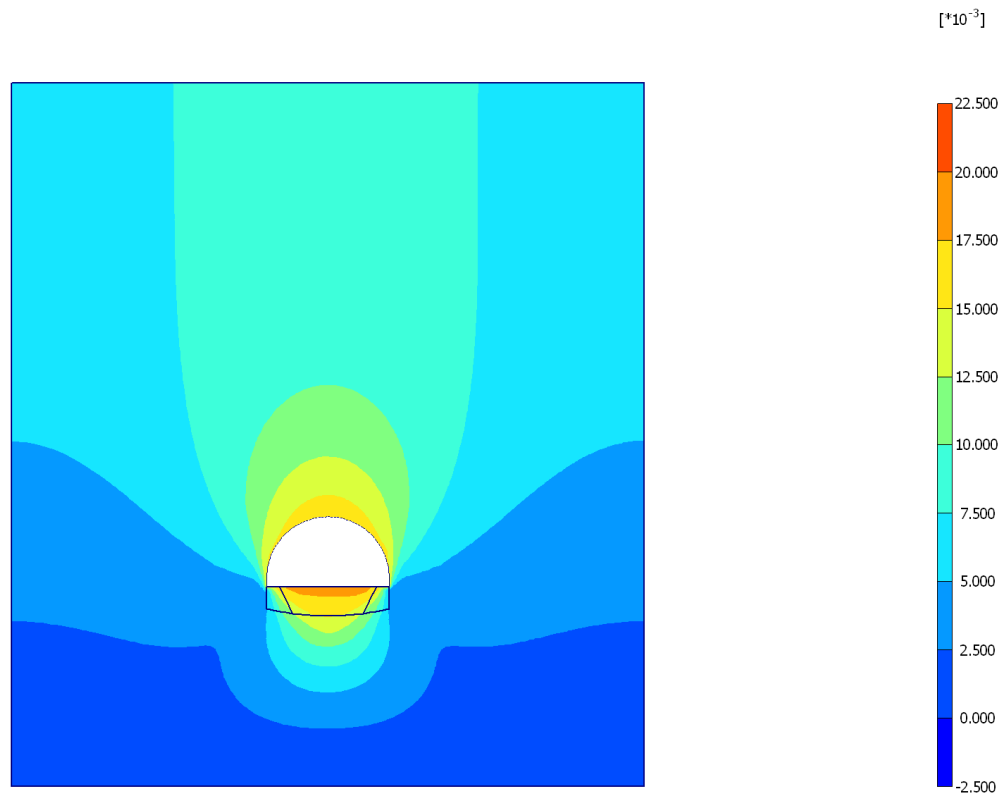


Fig. 8 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 22 - (Phase: 2)

7.2 Stresses

7.2.1 Plot of total stresses

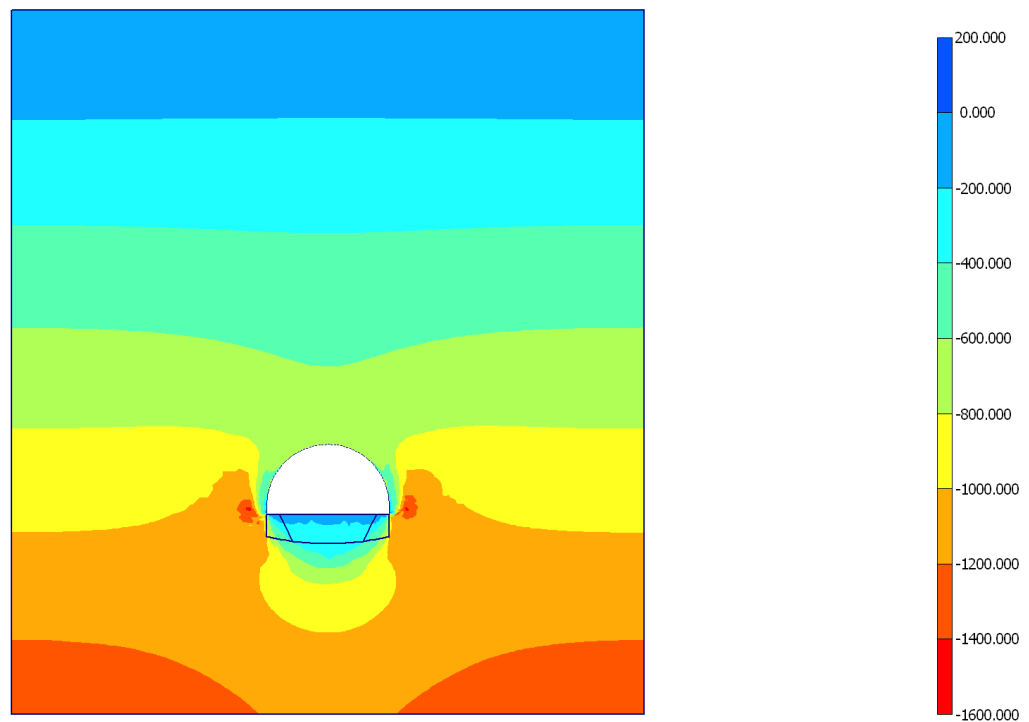


Fig. 9 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 22 - (Phase: 2)

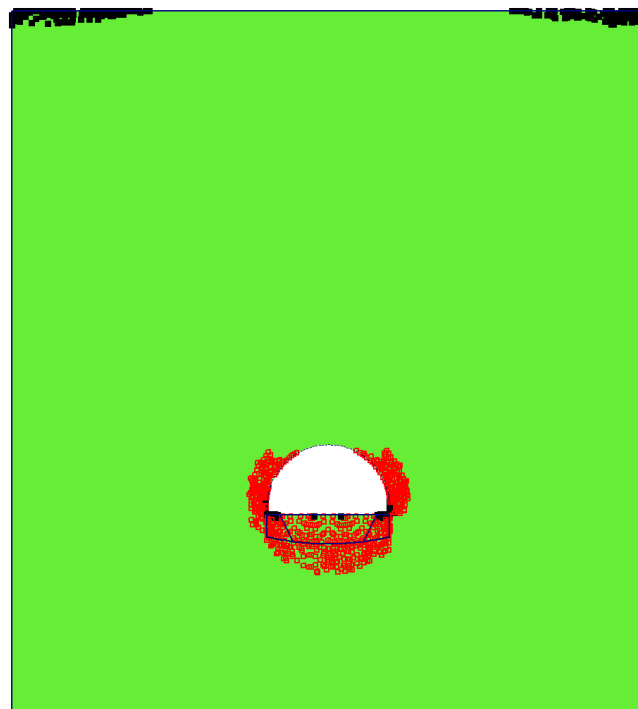


Fig. 10 Plot of plastic points
- Step no: 22 - (Phase: 2)

7.3 Structures

7.3.1 Beams

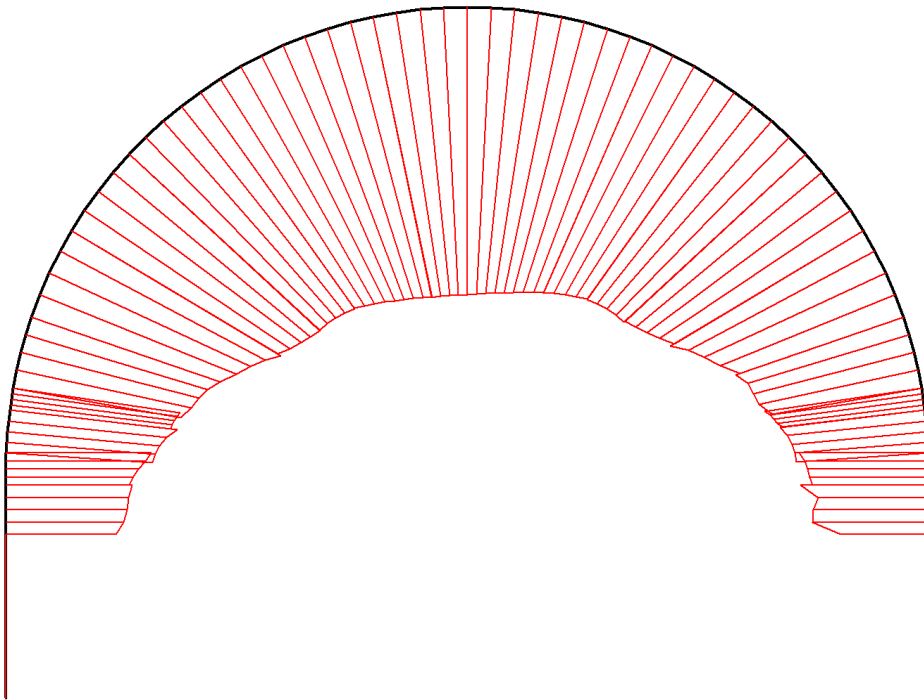


Fig. 11 Axial forces in beam
Extreme value $-1,12 \cdot 10^3$ kN/m (Phase: 2)

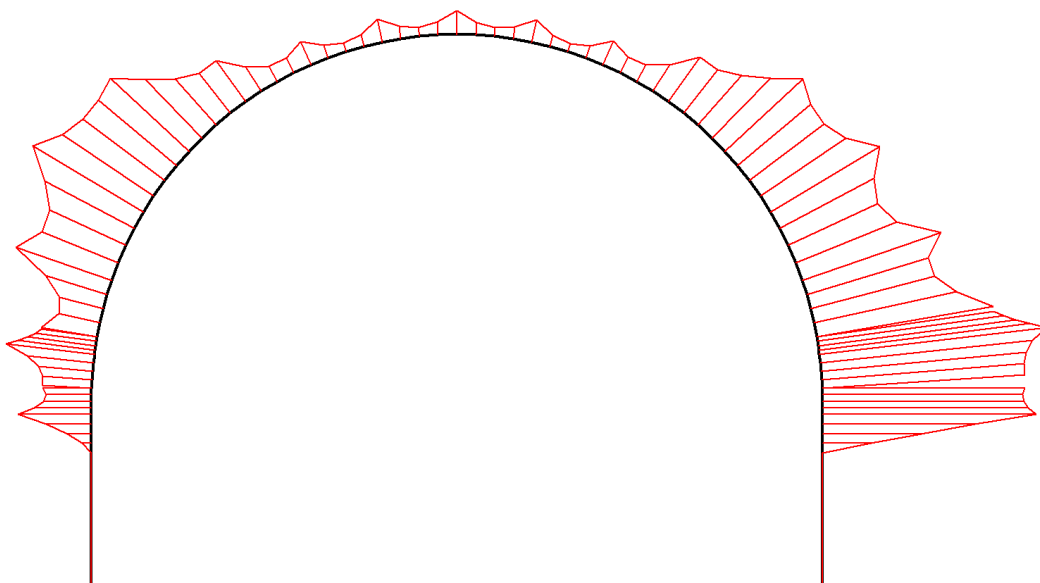


Fig. 12 Bending moments in beam
Extreme value $-67,54$ kNm/m (Phase: 2)

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	1039	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1375	-4,799	2,155						
2	1205	-8,800	2,882	145,613	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1481	-4,799	3,155						
3	1573	-8,740	4,322	128,618	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	1845	-4,758	3,939						
4	1899	-8,350	6,112	100,509	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	2303	-4,536	4,911						
5	2563	-7,600	7,782	68,923	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2675	-4,116	5,811						
6	2919	-6,510	9,262	46,657	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3077	-3,519	6,606						
7	3527	-5,150	10,482	38,510	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	3631	-2,777	7,257						
8	4923	-1,820	11,952	36,573	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3657	-0,980	8,041						
9	5107	1,820	11,952	36,987	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3929	0,980	8,041						
10	5081	3,560	11,392	37,738	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4331	1,917	7,742						
11	5627	5,150	10,482	40,034	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4321	2,777	7,257						
12	5653	6,510	9,262	49,803	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4247	3,519	6,606						
13	4531	4,536	4,911	103,793	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5611	8,350	6,112						
14	5643	7,600	7,782	72,653	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4237	4,116	5,811						
15	3789	4,758	3,939	138,832	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5001	8,740	4,322						
16	4669	8,800	2,882	175,830	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	3269	4,799	3,155						
17	3945	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3289	4,799	2,155						
18	4305	-3,560	11,392	36,889	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3667	-1,917	7,742						
19	5097	0,000	12,142	36,606	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3919	0,000	8,142						

8. Results for phase 3

8.1 Deformations

8.1.1 Plot of total displacements

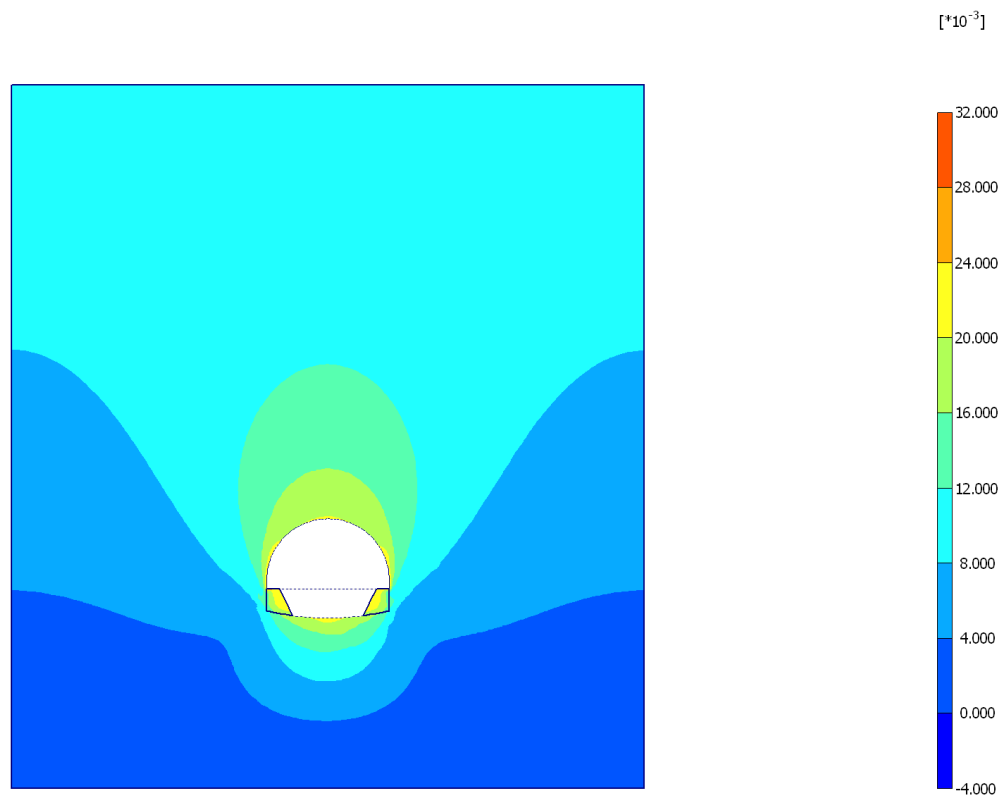


Fig. 13 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 65 - (Phase: 3)

8.2 Stresses

8.2.1 Plot of total stresses

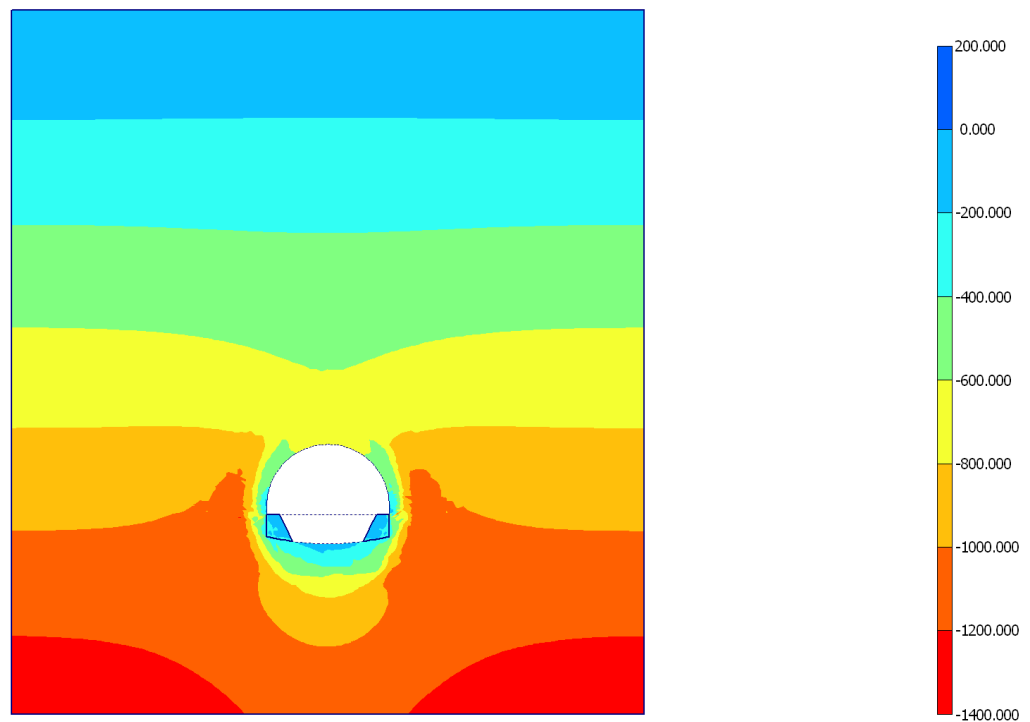


Fig. 14 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 65 - (Phase: 3)

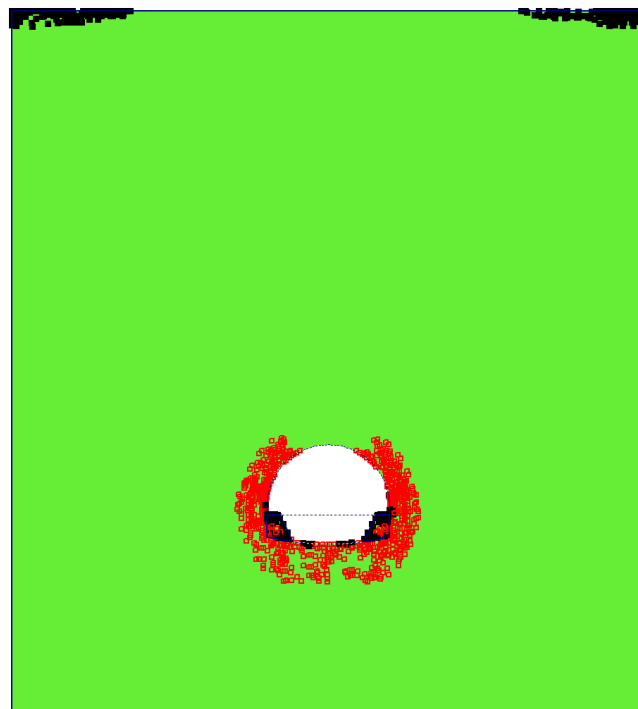


Fig. 15 Plot of plastic points
- Step no: 65 - (Phase: 3)

8.3 Structures

8.3.1 Beams

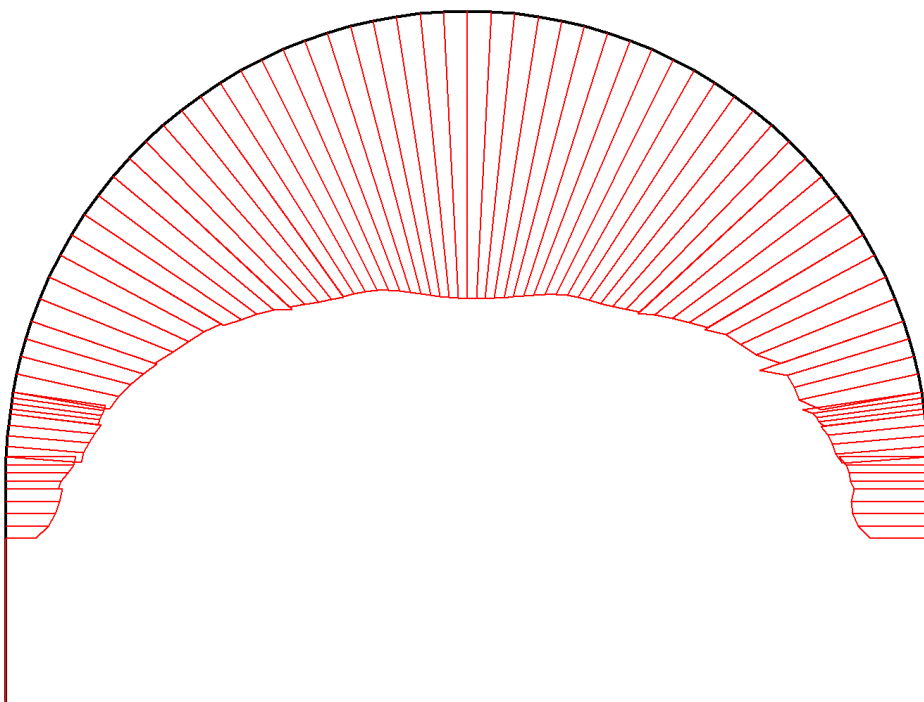


Fig. 16 Axial forces in beam
Extreme value $-1,06 \cdot 10^3$ kN/m (Phase: 3)

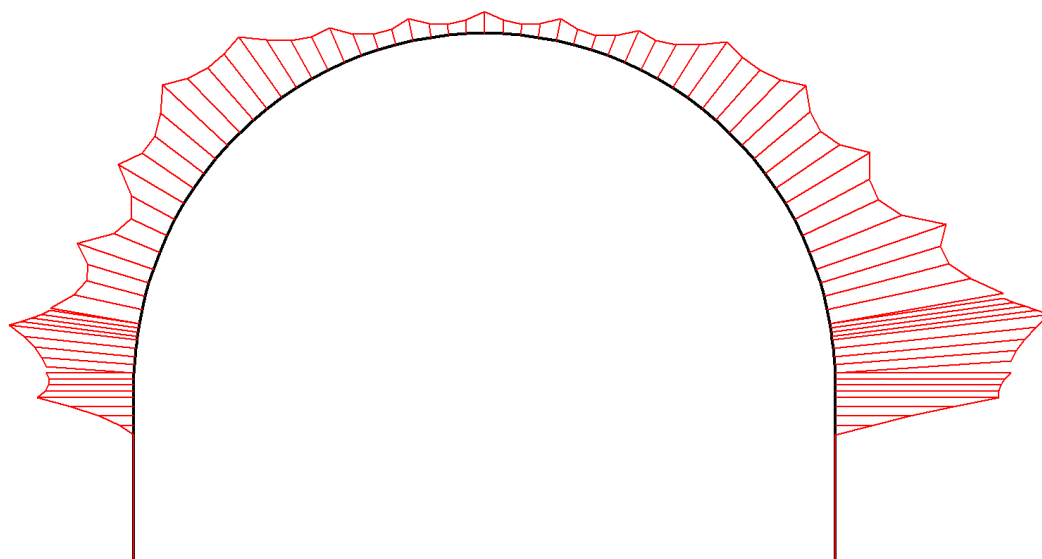


Fig. 17 Bending moments in beam
Extreme value $-105,53$ kNm/m (Phase: 3)

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	1039	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1375	-4,799	2,155						
2	1205	-8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1481	-4,799	3,155						
3	1573	-8,740	4,322	170,846	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	1845	-4,758	3,939						
4	1899	-8,350	6,112	139,418	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	2303	-4,536	4,911						
5	2563	-7,600	7,782	107,370	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2675	-4,116	5,811						
6	2919	-6,510	9,262	75,533	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3077	-3,519	6,606						
7	3527	-5,150	10,482	53,666	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	3631	-2,777	7,257						
8	4923	-1,820	11,952	43,158	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3657	-0,980	8,041						
9	5107	1,820	11,952	42,950	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3929	0,980	8,041						
10	5081	3,560	11,392	44,456	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4331	1,917	7,742						
11	5627	5,150	10,482	51,991	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4321	2,777	7,257						
12	5653	6,510	9,262	72,237	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4247	3,519	6,606						
13	4531	4,536	4,911	139,268	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5611	8,350	6,112						
14	5643	7,600	7,782	102,463	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4237	4,116	5,811						
15	3789	4,758	3,939	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5001	8,740	4,322						
16	4669	8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	3269	4,799	3,155						
17	3945	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3289	4,799	2,155						
18	4305	-3,560	11,392	45,026	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3667	-1,917	7,742						
19	5097	0,000	12,142	42,773	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3919	0,000	8,142						

9. Results for phase 4

9.1 Deformations

9.1.1 Plot of total displacements

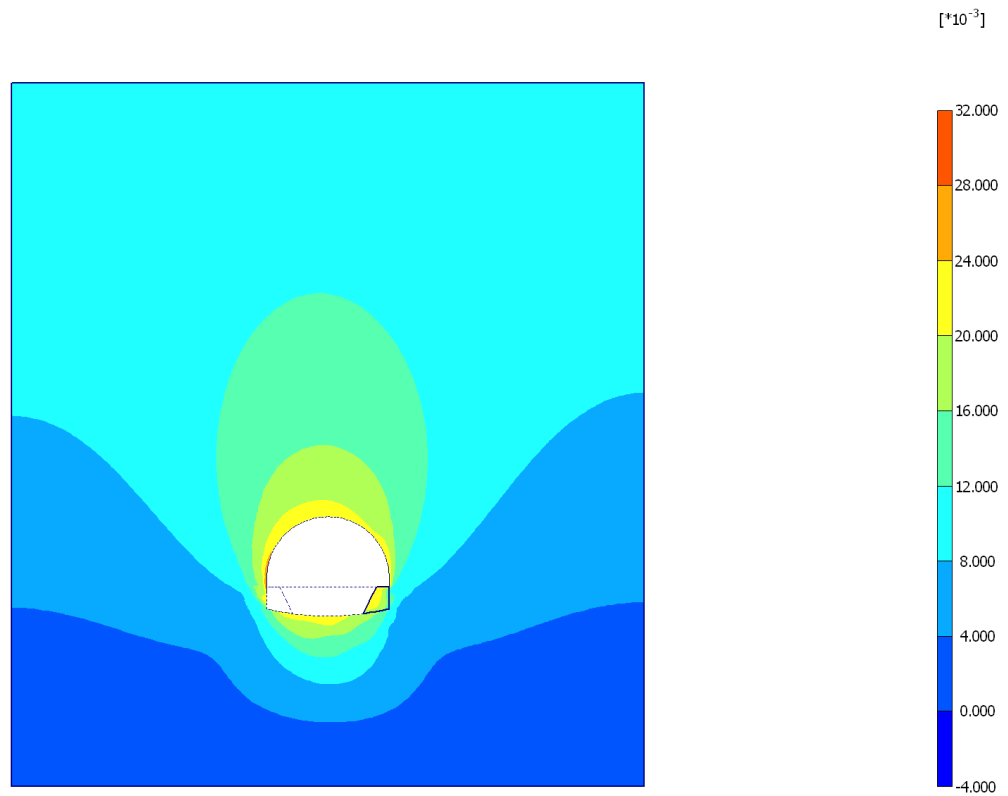


Fig. 18 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 78 - (Phase: 4)

9.2 Stresses

9.2.1 Plot of total stresses

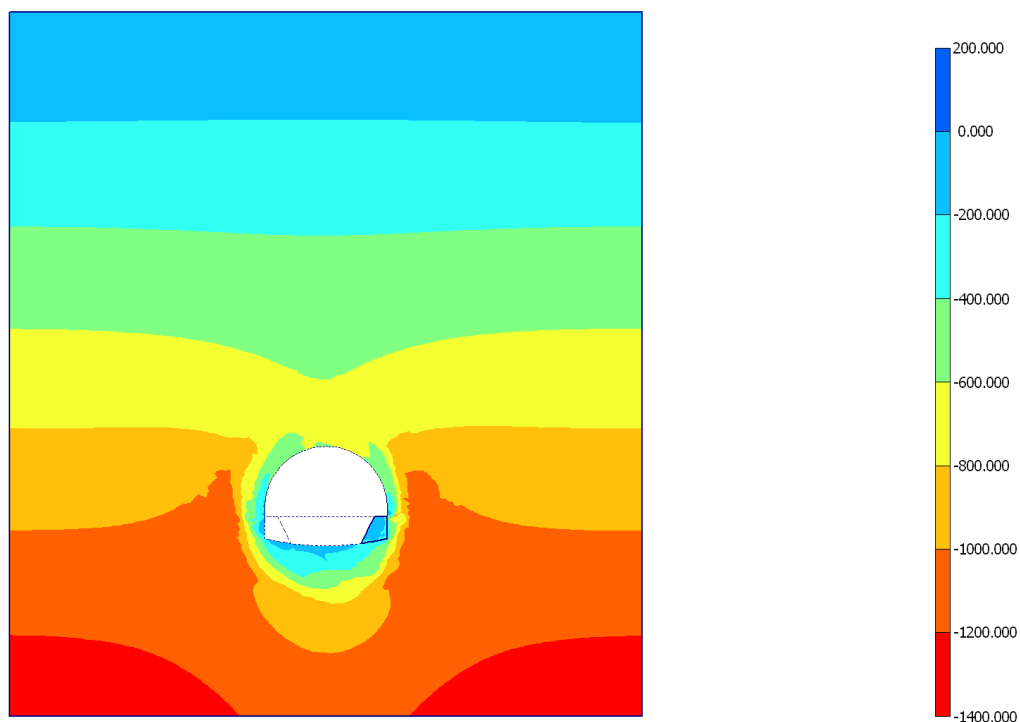


Fig. 19 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 78 - (Phase: 4)

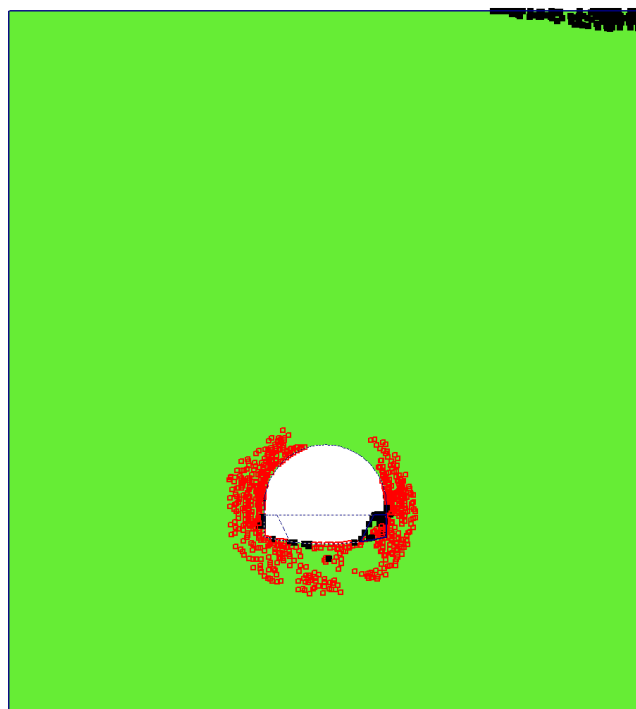


Fig. 20 Plot of plastic points
- Step no: 78 - (Phase: 4)

9.3 Structures

9.3.1 Beams

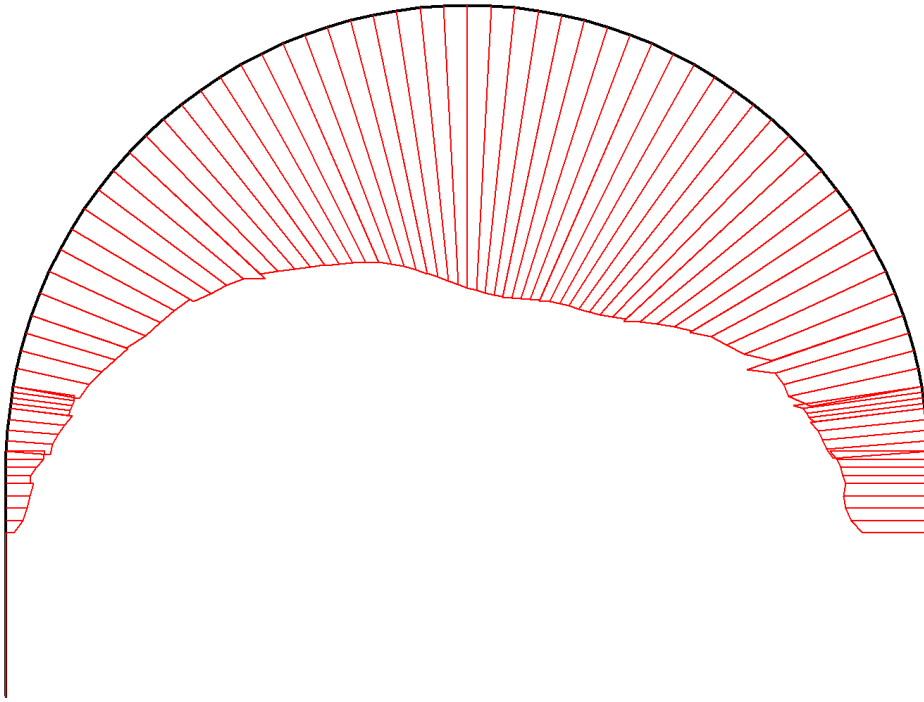


Fig. 21 Axial forces in beam
Extreme value $-1,02 \cdot 10^3$ kN/m (Phase: 4)

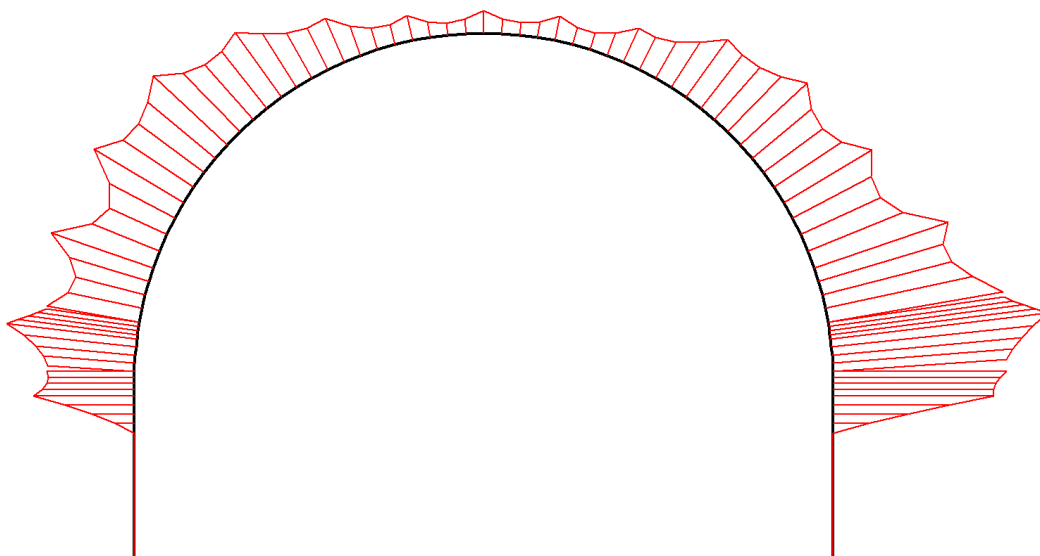


Fig. 22 Bending moments in beam
Extreme value $-107,31$ kNm/m (Phase: 4)

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	1039	-8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1375	-4,799	2,155						
2	1205	-8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1481	-4,799	3,155						
3	1573	-8,740	4,322	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	1845	-4,758	3,939						
4	1899	-8,350	6,112	176,498	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	2303	-4,536	4,911						
5	2563	-7,600	7,782	125,662	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2675	-4,116	5,811						
6	2919	-6,510	9,262	86,536	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3077	-3,519	6,606						
7	3527	-5,150	10,482	61,901	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	3631	-2,777	7,257						
8	4923	-1,820	11,952	46,164	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3657	-0,980	8,041						
9	5107	1,820	11,952	45,096	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3929	0,980	8,041						
10	5081	3,560	11,392	46,216	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4331	1,917	7,742						
11	5627	5,150	10,482	53,515	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4321	2,777	7,257						
12	5653	6,510	9,262	73,656	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4247	3,519	6,606						
13	4531	4,536	4,911	141,012	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5611	8,350	6,112						
14	5643	7,600	7,782	103,923	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4237	4,116	5,811						
15	3789	4,758	3,939	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5001	8,740	4,322						
16	4669	8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	3269	4,799	3,155						
17	3945	8,654	1,089	0,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3289	4,799	2,155						
18	4305	-3,560	11,392	49,625	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3667	-1,917	7,742						
19	5097	0,000	12,142	45,325	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3919	0,000	8,142						

10. Results for phase 5

10.1 Deformations

10.1.1 Plot of total displacements

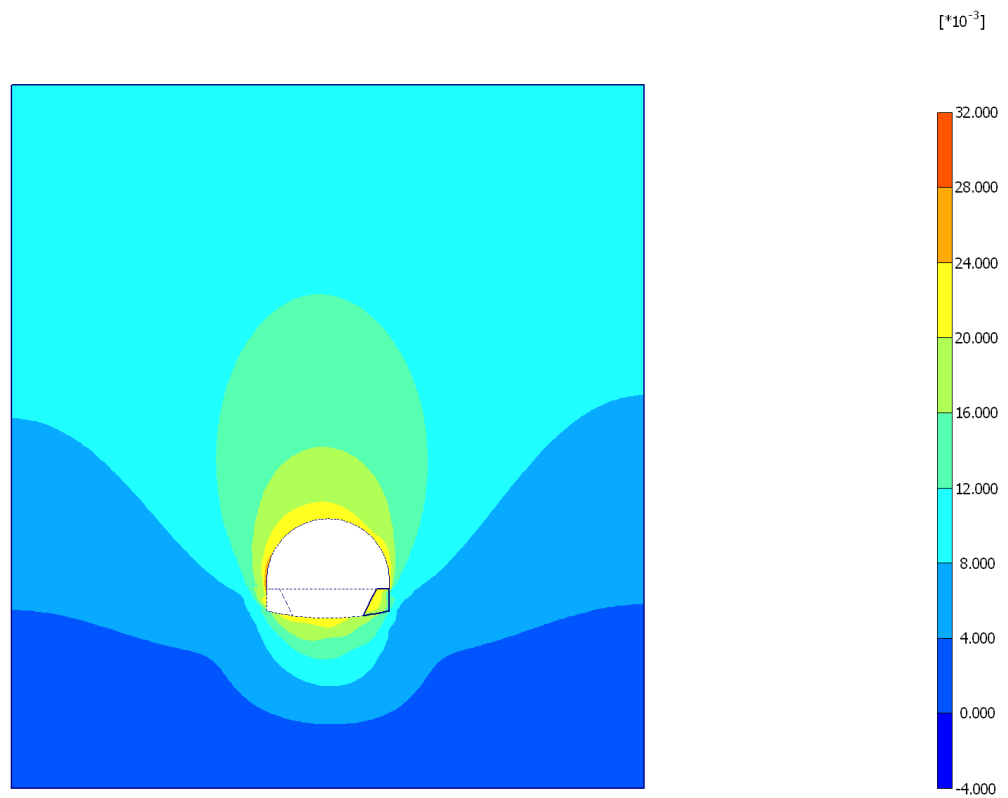


Fig. 23 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 80 - (Phase: 5)

10.2 Stresses

10.2.1 Plot of total stresses

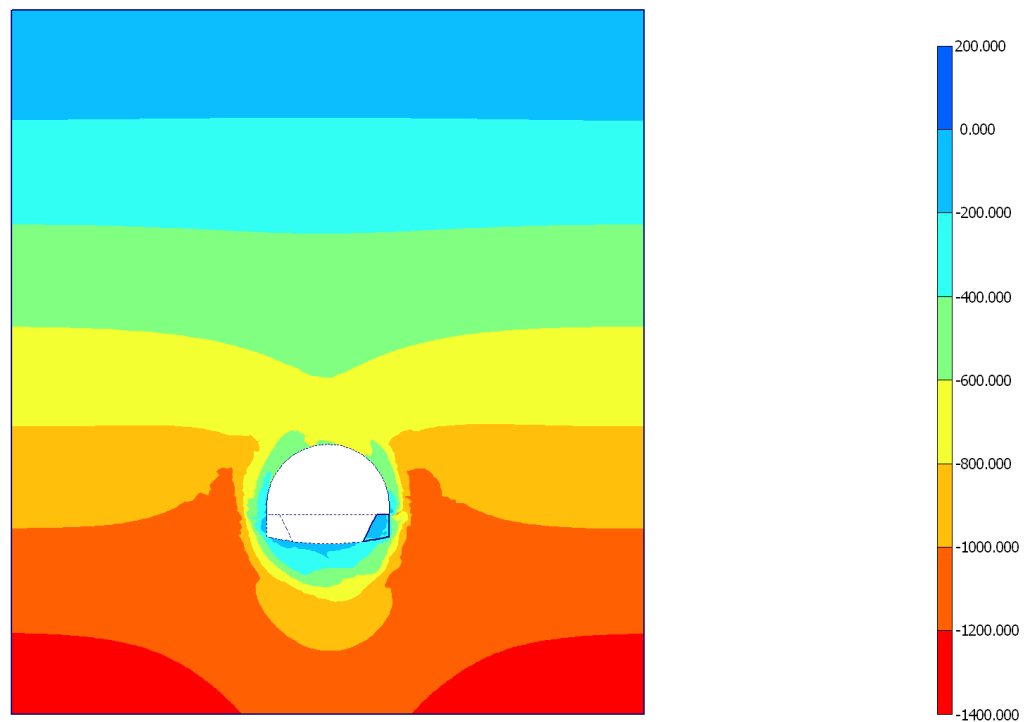


Fig. 24 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 80 - (Phase: 5)

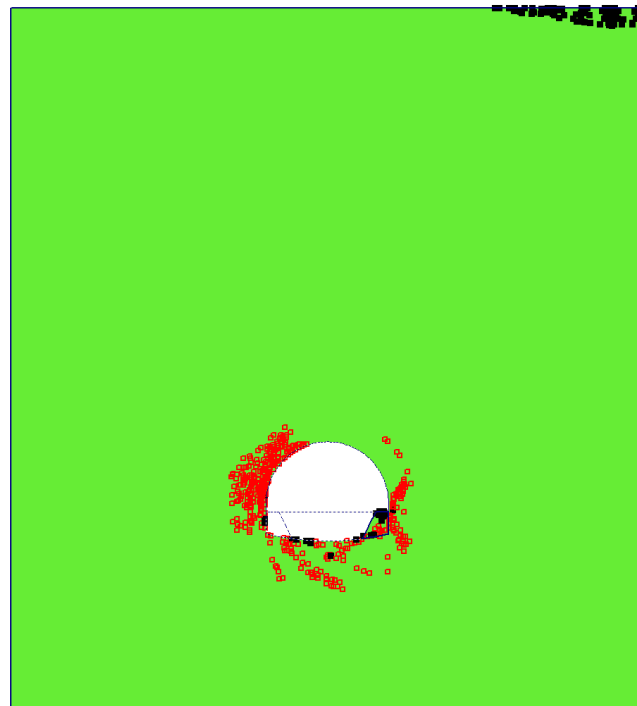


Fig. 25 Plot of plastic points
- Step no: 80 - (Phase: 5)

10.3 Structures

10.3.1 Beams

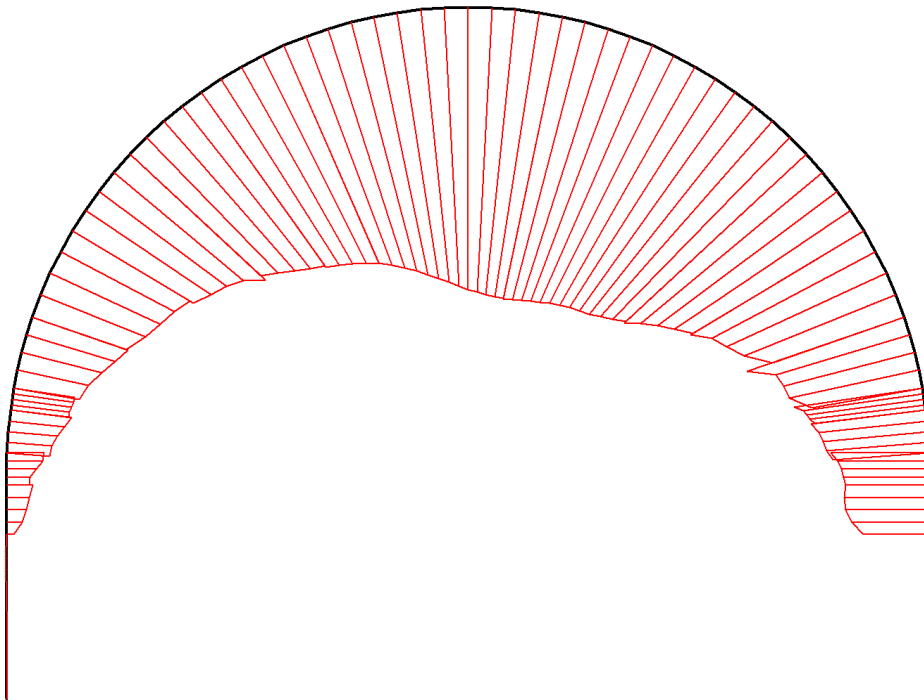


Fig. 26 Axial forces in beam
Extreme value $-1,02 \cdot 10^3$ kN/m (Phase: 5)

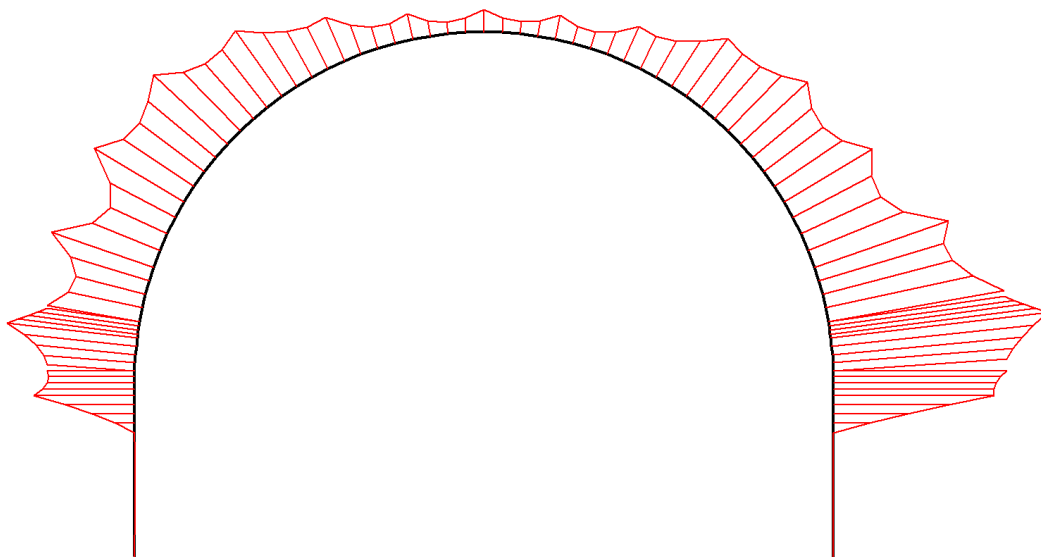


Fig. 27 Bending moments in beam
Extreme value $-107,32$ kNm/m (Phase: 5)

11. Results for phase 6

11.1 Deformations

11.1.1 Plot of total displacements

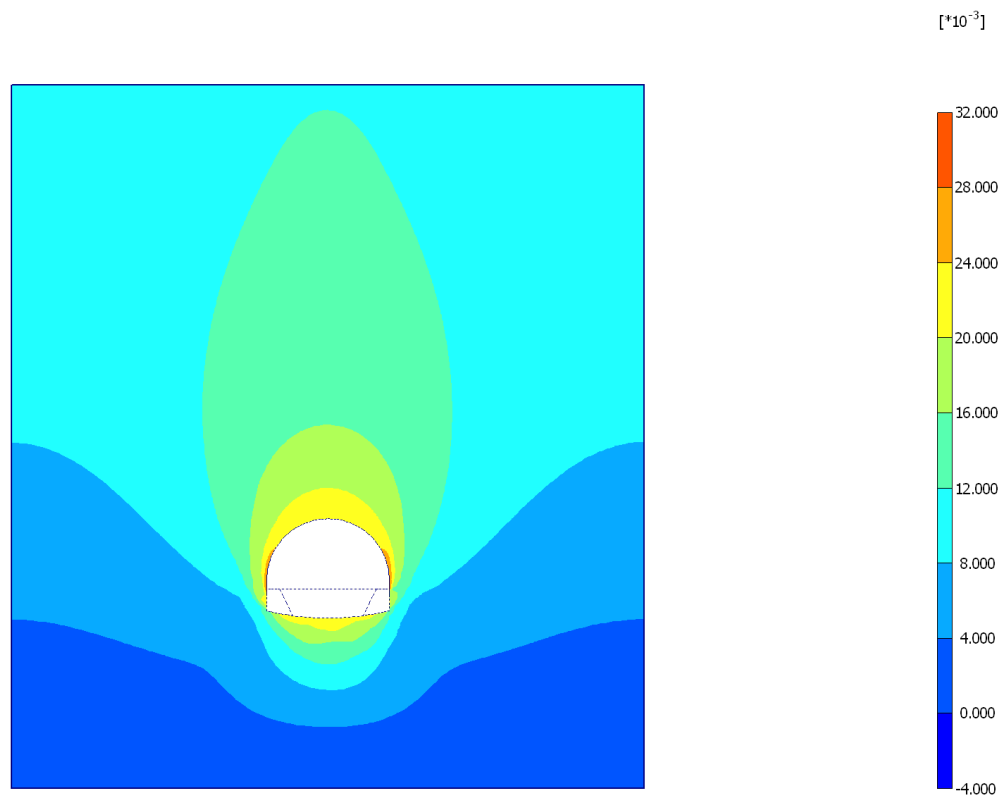


Fig. 28 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 88 - (Phase: 6)

11.2 Stresses

11.2.1 Plot of total stresses

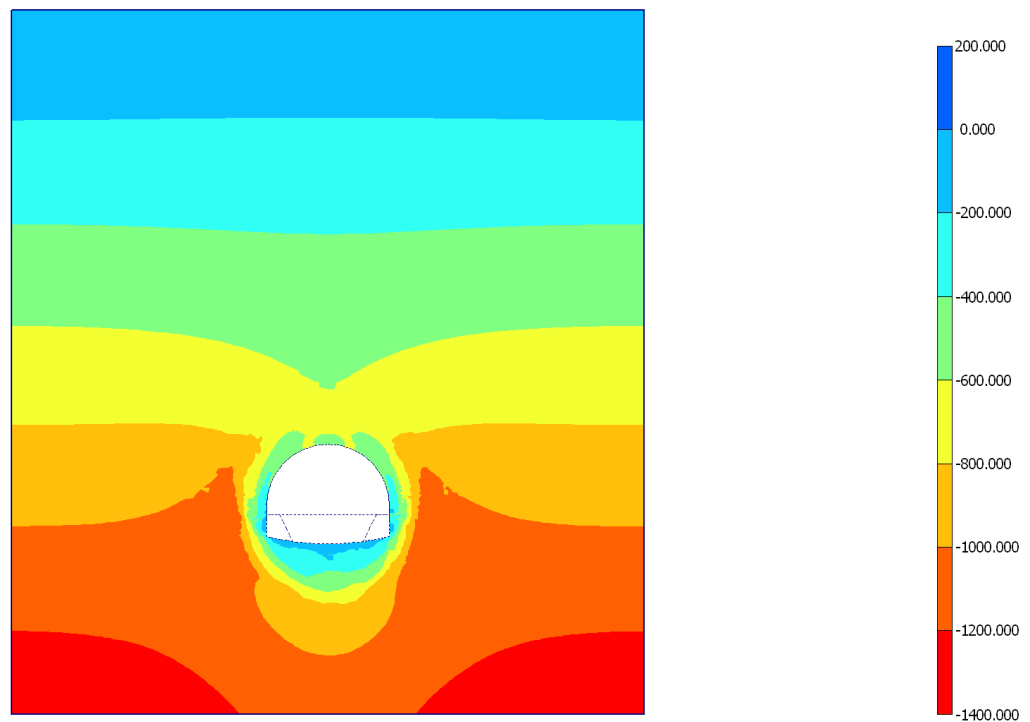


Fig. 29 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 88 - (Phase: 6)

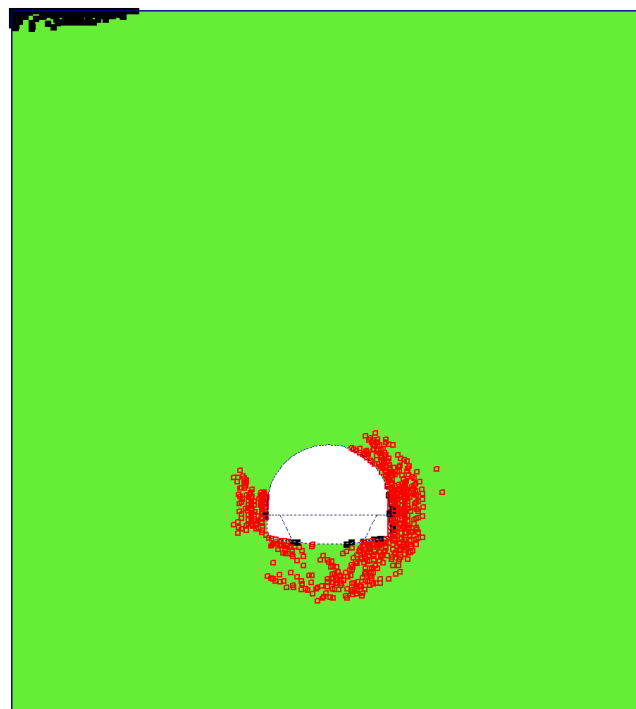


Fig. 30 Plot of plastic points
- Step no: 88 - (Phase: 6)

11.3 Structures

11.3.1 Beams

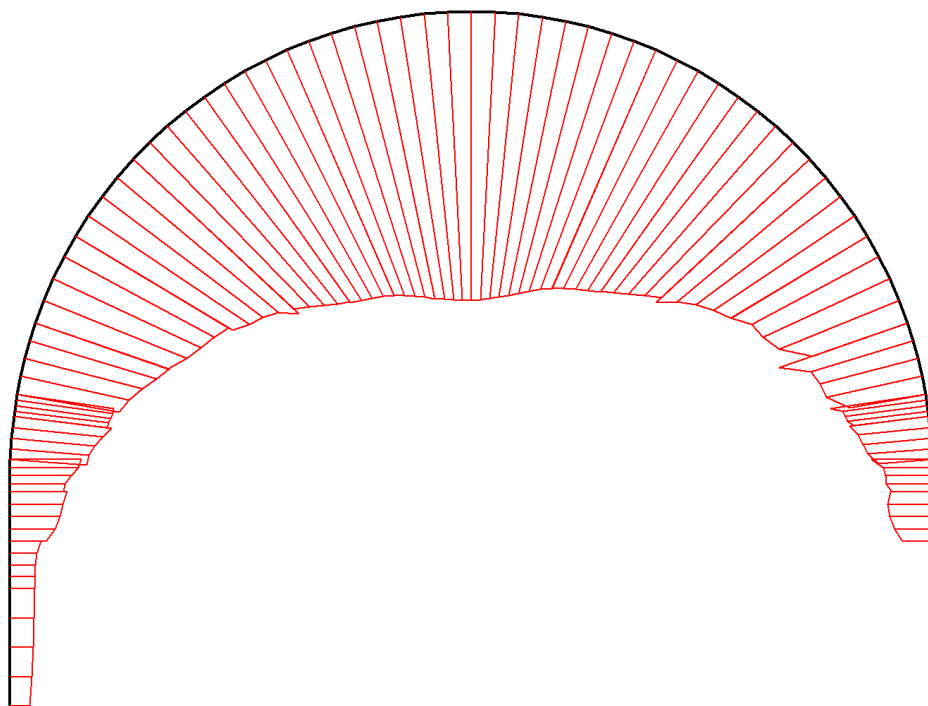


Fig. 31 Axial forces in beam
Extreme value -939,32 kN/m (Phase: 6)

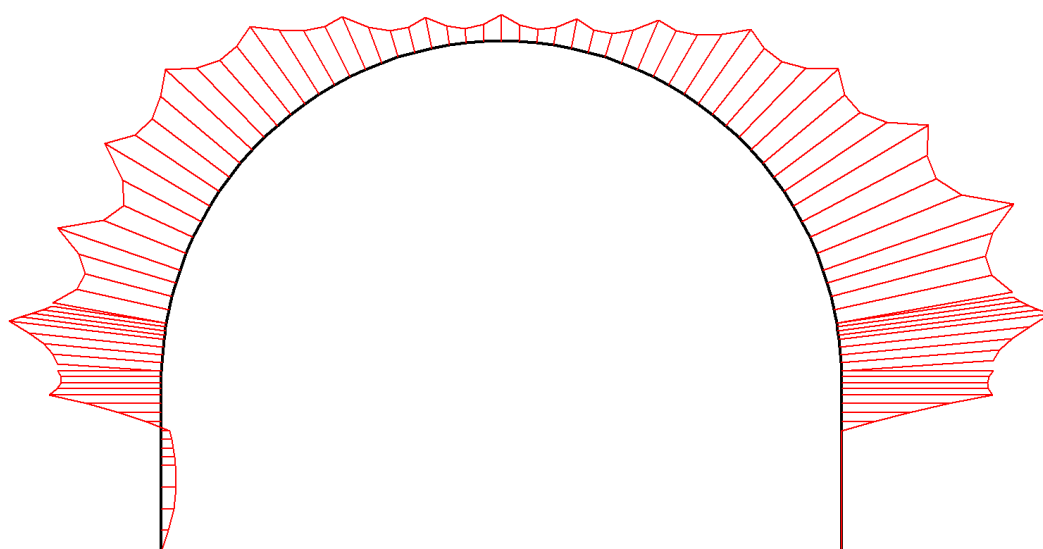


Fig. 32 Bending moments in beam
Extreme value -92,43 kNm/m (Phase: 6)

12. Results for phase 7

12.1 Deformations

12.1.1 Plot of total displacements

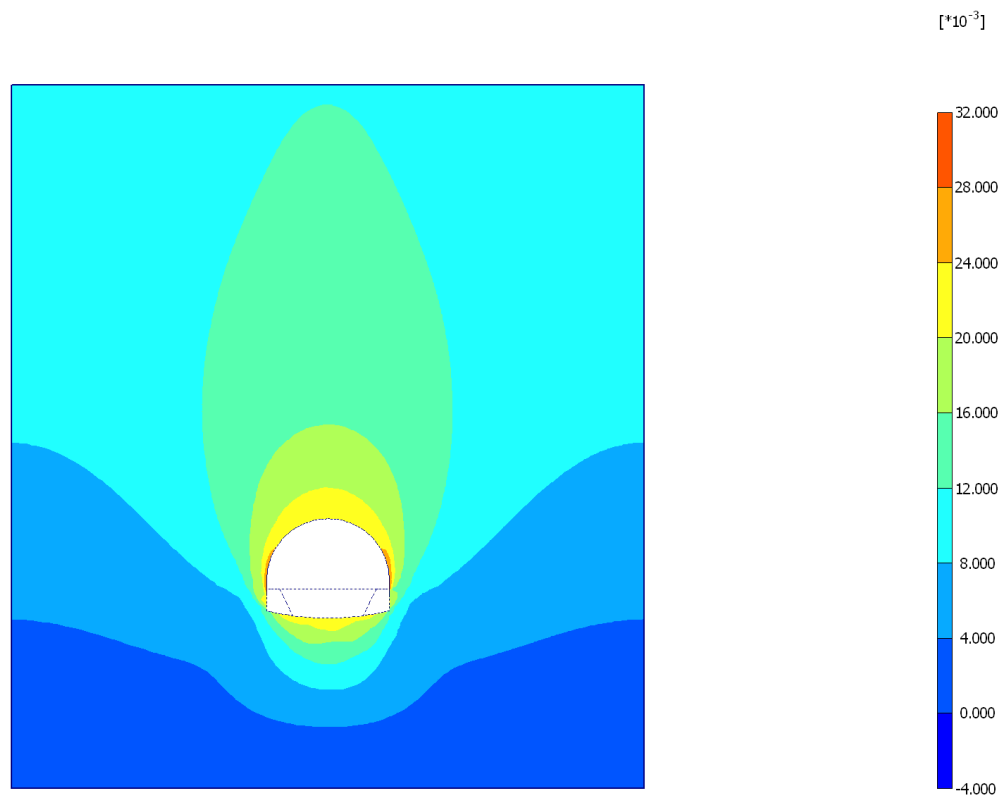


Fig. 33 Plot of total displacements (shadings)
- Step no: 91 - (Phase: 7)

12.2 Stresses

12.2.1 Plot of total stresses

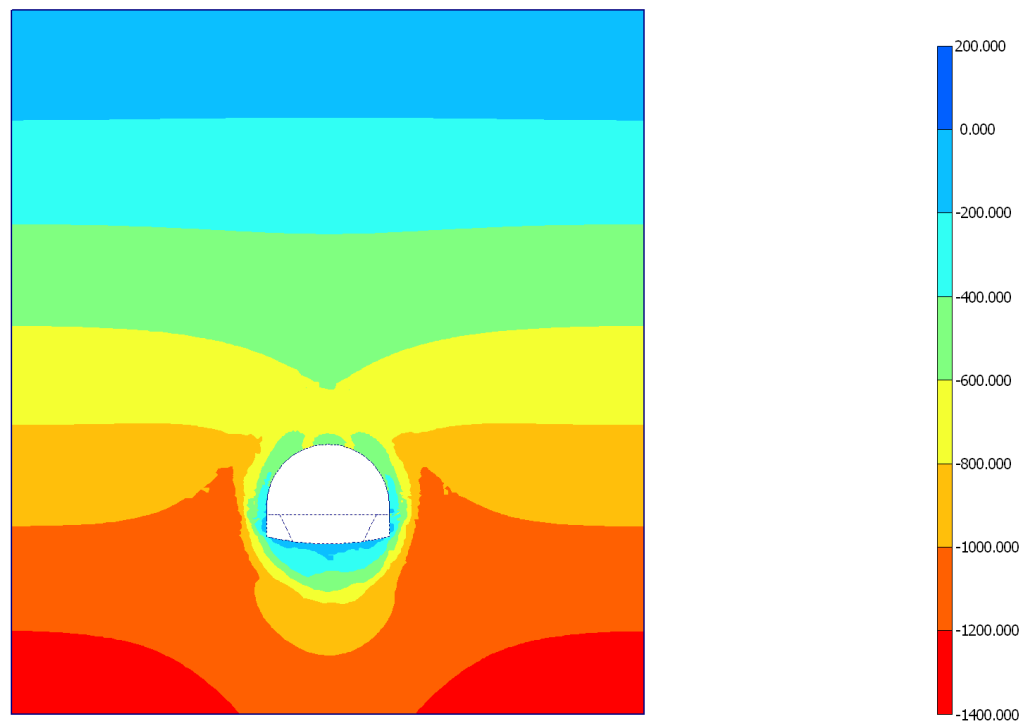


Fig. 34 Plot of total stresses (mean shadings)
- Step no: 91 - (Phase: 7)

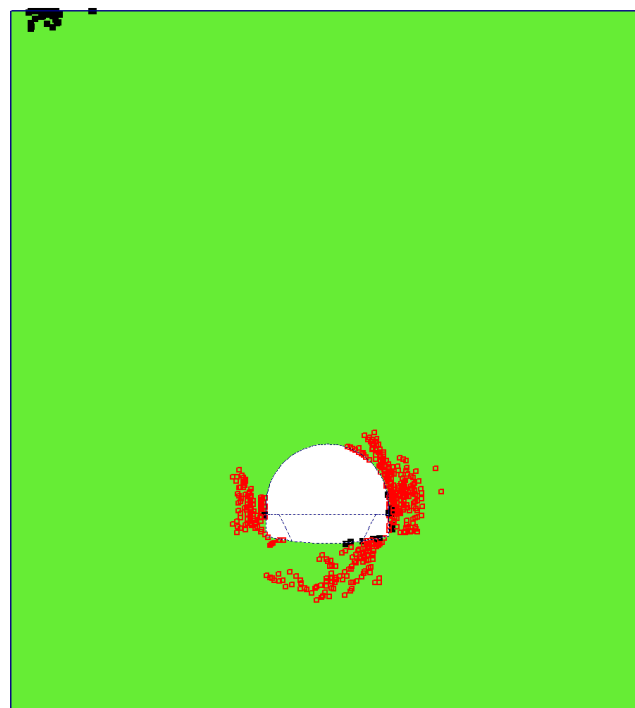


Fig. 35 Plot of plastic points
- Step no: 91 - (Phase: 7)

12.3 Structures

12.3.1 Beams

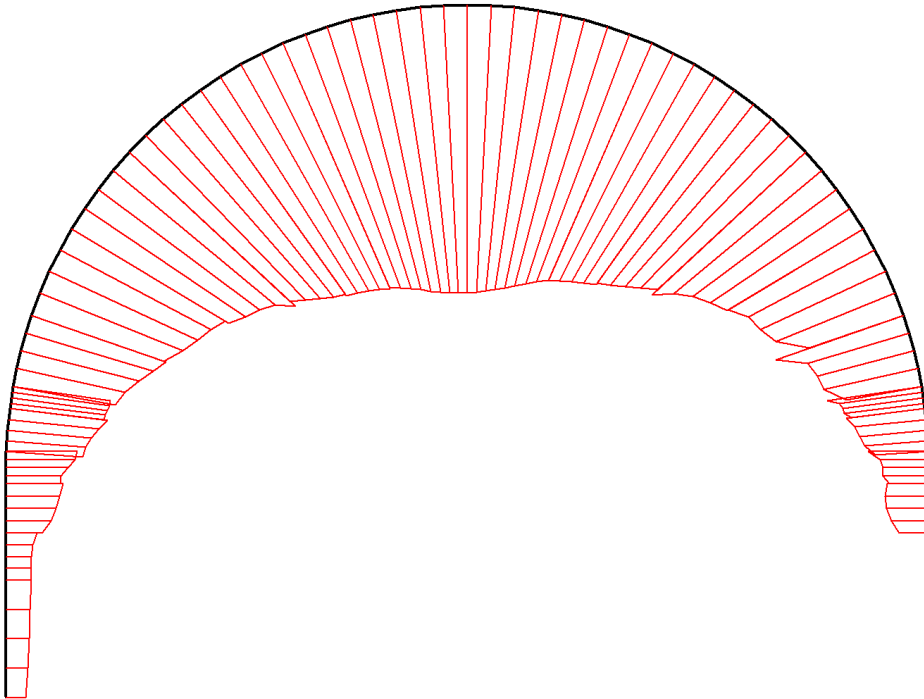


Fig. 36 Axial forces in beam
Extreme value -937,90 kN/m (Phase: 7)

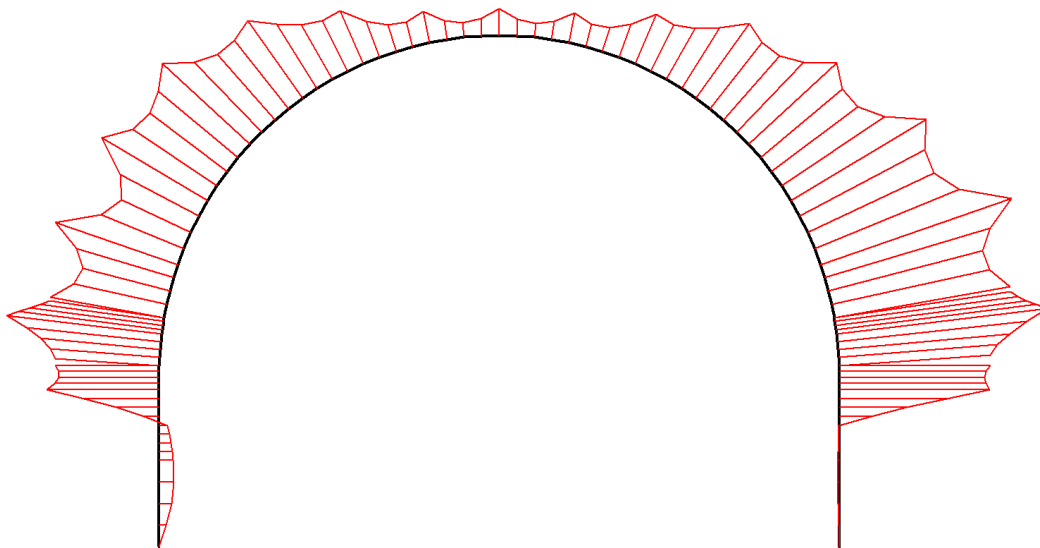


Fig. 37 Bending moments in beam
Extreme value -92,31 kNm/m (Phase: 7)

Table [14] Anchors phase no: 7

Anchor no.	Node	x-coord.	y-coord.	F	Fmax,comp	Fmax,tens	EA	Rotation	Le
		[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[°]	[m]
1	1039	-8,654	1,089	1,318	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	1375	-4,799	2,155						
2	1205	-8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	1481	-4,799	3,155						
3	1573	-8,740	4,322	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	1845	-4,758	3,939						
4	1899	-8,350	6,112	176,346	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	2303	-4,536	4,911						
5	2563	-7,600	7,782	125,600	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	2675	-4,116	5,811						
6	2919	-6,510	9,262	86,796	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3077	-3,519	6,606						
7	3527	-5,150	10,482	62,626	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	3631	-2,777	7,257						
8	4923	-1,820	11,952	48,141	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3657	-0,980	8,041						
9	5107	1,820	11,952	48,451	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	3929	0,980	8,041						
10	5081	3,560	11,392	51,227	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4331	1,917	7,742						
11	5627	5,150	10,482	62,500	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,004
	4321	2,777	7,257						
12	5653	6,510	9,262	86,146	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	4247	3,519	6,606						
13	4531	4,536	4,911	179,158	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	5611	8,350	6,112						
14	5643	7,600	7,782	123,381	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	4237	4,116	5,811						
15	3789	4,758	3,939	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,001
	5001	8,740	4,322						
16	4669	8,800	2,882	184,000	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,010
	3269	4,799	3,155						
17	3945	8,654	1,089	0,138	184,00	184,00	103000,00	N/A	3,999
	3289	4,799	2,155						
18	4305	-3,560	11,392	50,917	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,003
	3667	-1,917	7,742						
19	5097	0,000	12,142	48,002	184,00	184,00	103000,00	N/A	4,000
	3919	0,000	8,142						

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Limolitas

RESUMEN DE RESULTADOS PARA CÁLCULOS CON $K_0 = 1,2$

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	Descenso max en clave (m)	Tensión ppal max (kN/m ² /m)	$\sigma_{\text{max cercha}}$ (kN/m ²)	$\sigma_{\text{max gunita}}$ (kN/m ²)	F max bulon (kN)
CU-1 Limolitas	IV	1,390E-02	1780	67603,48	5027,63	124,28
	V	3,44E-02	1810	47599,55	4358,63	184,00

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Limolitas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 1,2

SECCIÓN TIPO IV

Hormigón proyectado, e = 18 cm (15+3)
Cerchas TH-21 c/1 m

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	2,70E-03
	I cercha (m4)	3,41E-06
	E cercha (kN/m2)	2,10E+08
	y1 cercha (m)	0,05
	y2 cercha (m)	0,05

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,18
	I gunita (m4)	4,86E-04
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,09

EI cercha (kNm2/m) 7,16E+02
EA cercha (kN/m) 5,67E+05

EI gunita (kNm2/m) 7,05E+03
EA gunita (kN/m) 2,61E+06

EI total (kNm2/m) 7,76E+03
EA total (kN/m) 3,18E+06

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS								GUNITA							
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)		σ t max cercha (kN/m2)		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)		σ t max gunita (kN/m2)	
CU-1 Limolitas	Envolvente	-26,83	113,37	999,54	-1,13	-2,47	20,23	178,39	-0,10	67603,48	OK	-28795,15	OK	-24,36	93,14	821,15	-1,03	5027,63	OK	-3992,77	OK
	Fase final	-26,83	113,37	877,61	-2,84	-2,47	20,23	156,63	-0,26	61845,94	OK	-28795,15	OK	-24,36	93,14	720,98	-2,57	5027,63	OK	-3992,77	OK

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Limolitas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 1,2

SECCIÓN TIPO V

Hormigón proyectado, e = 30 cm (27+3)
Cerchas HEB-180 c/1 m

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	6,53E-03
	I cercha (m4)	3,83E-05
	E cercha (kN/m2)	2,10E+08
	y1 cercha (m)	0,09
	y2 cercha (m)	0,09

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,30
	I gunita (m4)	2,25E-03
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,15

El cercha (kNm2/m) 8,04E+03
EA cercha (kN/m) 1,37E+06

El gunita (kNm2/m) 3,26E+04
EA gunita (kN/m) 4,35E+06

El total (kNm2/m) 4,07E+04
EA total (kN/m) 5,72E+06

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS								GUNITA							
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)	σ t max cercha (kN/m2)			Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)	σ t max gunita (kN/m2)		
CU-1 Limolitas	Envolvente	-50,11	662,35	1011,08	-17,98	-9,91	158,75	242,34	-3,56	47599,55	OK	No tracciones	OK	-40,20	503,60	768,74	-14,42	4358,63	OK	-1001,33	OK
	Fase final	-50,11	662,35	766,97	-34,48	-9,91	158,75	183,83	-6,82	47599,55	OK	No tracciones	OK	-40,20	503,60	583,14	-27,66	4358,63	OK	-1001,33	OK



PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO

TRAMO: SARRATU - APERRIBAI



TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Margas

RESUMEN DE RESULTADOS PARA CÁLCULOS CON $K_0 = 1,2$

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	Descenso max en clave (m)	Tensión ppal max (kN/m ² /m)	σ_{max} cercha (kN/m ²)	σ_{max} gunita (kN/m ²)	F max bulon (kN)
CU-1 Margas	IV	1,85E-02	2440	203920,28	5907,31	160,36
	V	4,22E-02	2390	157525,89	5368,68	184,00

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Margas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 1,2

SECCIÓN TIPO IV

Hormigón proyectado, e = 18 cm (15+3)
Cerchas TH-21 c/1 m

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	2,70E-03
	I cercha (m4)	3,41E-06
	E cercha (kN/m2)	2,10E+08
	y1 cercha (m)	0,05
	y2 cercha (m)	0,05

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,18
	I gunita (m4)	4,86E-04
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,09

EI cercha (kNm2/m) 7,16E+02
EA cercha (kN/m) 5,67E+05

EI gunita (kNm2/m) 7,05E+03
EA gunita (kN/m) 2,61E+06

EI total (kNm2/m) 7,76E+03
EA total (kN/m) 3,18E+06

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS								GUNITA									
		Mmax (kN/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kN/m)	Mmax (kN/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kN/m)	σ c max cercha (kN/m2)	OK	σ t max cercha (kN/m2)	OK	Mmax (kN/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kN/m)	σ c max gunita (kN/m2)	OK	σ t max gunita (kN/m2)	OK		
CU-1 Margas	Envolvente	32,83	155,39	1535,61	-2,23	3,03	27,73	274,06	-0,21	104525,37	OK	-34133,20	OK	29,80	127,66	1261,55	-2,03	7384,14	OK	-4809,63	Rotura		
	Fase final	-32,82	149,81	1379,36	-2,39	-3,03	26,74	246,17	-0,22	94405,46	OK	-34488,38	OK	-29,79	123,07	1133,18	-2,17	6696,89	OK	-4833,40	Rotura		
						Redistribución de esfuerzos por fisuración de la gunita:				120,00%	de los iniciales				Redistribución de esfuerzos por fisuración de la gunita:				80,00%	de los iniciales			
	Envolvente					8,99	53,26	526,37	-0,61	203920,28	OK	-112072,07	OK	23,84	102,12	1009,24	-1,62	5907,31	OK	-3847,70	OK		
	Fase final					-8,99	51,35	472,81	-0,65	184701,82	OK	-112740,08	OK	-23,83	98,46	906,55	-1,73	5357,51	OK	-3866,72	OK		

TÚNEL DE LÍNEA

CU-1 Margas ESFUERZOS EN ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO (HORMIGÓN PROYECTADO/CERCHAS) PARA CÁLCULOS CON K0 = 1,2

SECCIÓN TIPO V

Hormigón proyectado, e = 30 cm (27+3)
Cerchas HEB-180 c/1 m

CARACTERÍSTICAS CERCHAS	A cercha (m2)	6,53E-03
	I cercha (m4)	3,83E-05
	E cercha (kN/m2)	2,10E+08
	y1 cercha (m)	0,09
	y2 cercha (m)	0,09

CARACTERÍSTICAS GUNITA	A gunita (m2)	0,30
	I gunita (m4)	2,25E-03
	E gunita (kN/m2)	1,45E+07
	y gunita (m)	0,15

EI cercha (kNm2/m) 8,04E+03
EA cercha (kN/m) 1,37E+06

EI gunita (kNm2/m) 3,26E+04
EA gunita (kN/m) 4,35E+06

EI total (kNm2/m) 4,07E+04
EA total (kN/m) 5,72E+06

Tensión máxima admisible en cercha: 75% L.E. 270000,00
Límite elástico acero cerchas (kN/m2): 360000,00
Tensión máxima admisible en gunita: 75% L.E. 22500,00
Resistencia a compresión gunita (kN/m2): 30000,00
Tensión máxima admisible a flexotracción en gunita (kN/m2): -4000

FORMACIÓN	ESFUERZOS	TOTALES				CERCHAS								GUNITA									
		Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max cercha (kN/m2)	OK	σ t max cercha (kN/m2)	OK	Mmax (kNm/m)	N (kN/m)	Nmax (kN/m)	M (kNm/m)	σ c max gunita (kN/m2)	OK	σ t max gunita (kN/m2)	OK		
CU-1 Margas	Envolvente	123,09	428,69	1690,02	-13,16	24,34	102,75	405,07	-2,60	72939,57	OK	-41469,85	OK	98,75	325,94	1284,95	-10,56	7669,54	OK	-5496,63	Rotura		
	Fase final	-97,79	257,93	1286,35	-34,94	-19,34	61,82	308,32	-6,91	63452,84	OK	-35979,69	OK	-78,45	196,10	978,03	-28,03	5883,67	OK	-4576,31	Rotura		
						Redistribución de esfuerzos por fisuración de la gunita:				130,00%	de los iniciales				Redistribución de esfuerzos por fisuración de la gunita:				70,00%	de los iniciales			
	Envolvente					53,97	200,53	790,56	-5,77	157525,89	OK	-96107,96	OK	69,12	228,16	899,47	-7,39	5368,68	OK	-3847,64	OK		
	Fase final					-42,88	120,65	601,73	-15,32	128144,77	OK	-82274,36	OK	-54,91	137,27	684,62	-19,62	4118,57	OK	-3203,42	OK		

