JORNADA TÉCNICA TÚNELES EN PAÍS VASCO

Caverna de Arraiz de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao.

Pedro Rivas (Interbiak), Andoni Alkorta (Interbiak), Manuel Arlandi (Túneles y Geomecánica -TyG)



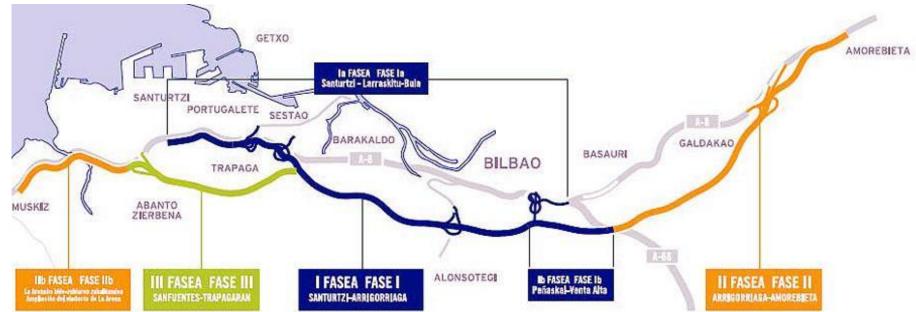
ENCUADRE GENERAL



Variante Sur Metropolitana de Bilbao

- La antigua A-8 soporta una gran cantidad de tráfico, con gran porcentaje de vehículos pesados.
- La nueva VSMB se concibe para aliviar esta situación
- Están planificados un total de 36 km, con una importante longitud en túneles bajo el Pagasarri.







Variante Sur Metropolitana de Bilbao (FASE Ia)

VSMB Fase Ia:

Longitud Total : 10 km

• Número de Túneles: 5 (dobles)

Longitud en túnel: 8 km

Presupuesto: 410 M€

Inauguración: 14 Sept 2011



Contrato#4: TRAPAGARÁN-GOROSTIZA

TÚNEL ARGALARIO

Túnel#1: 1.864 m Túnel#2: 1.846 m

TÚNEL MESPERUZA

Túnel#1: 650 m Túnel#2: 703 m

Contrato #5: GOROSTIZA-CADAGUA

TÚNEL SANTA ÁGUEDA

Túnel#1: 2.019 m Túnel#2: 2.061 m

Contrato #7: CADAGUA-PEÑASCAL

TÚNEL ARRAIZ

Túnel#1: 2.291 m Túnel#2: 2.290 m

TúnneBifurcación: 274 m

Contrato #8a: PEÑASCAL-LARRASKITU

TÚNEL LARRASKITU

Túnel#1: 972 m Túnel#2: 910 m



Situación Túnel de Arraiz

Entre el Corredor del Kadagua y Peñascal



Datos generales Túnel de Arraiz

- <u>Dimensiones:</u> 2.261 m de longitud. Incluye una caverna de entronque, con dimensiones de excavación de 28 m de anchura y 16 m de altura, y área de la sección transversal superior a 250 m².
- Cobertera: valor máximo en torno a los 250 m.
- <u>Geología:</u> terrenos rocosos de edad Cretácica, de naturaleza predominantemente calcárea (formación Arraiz), areniscosa (formación Ereza) y en menor medida limolítica (Formación Tejera).
- <u>Método constructivo:</u> NATM excavado por fases, mediante empleo de explosivos.
- <u>Sostenimiento:</u> Hormigón proyectado, cerchas metálicas, mallazo y bulones metálicos de redondeos de acero.
- <u>Revestimiento:</u> Hormigón bombeado y encofrado con un espesor de 30cm. Impermeabilizado con lámina de PVC y geotextil.



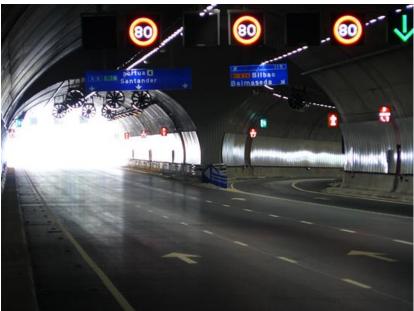
CAVERNA DE BIFURCACIÓN



Descripción

• Caverna para alojar un carril de salida hacia el Corredor del Cadagua. Se parte de una vía de tres carriles en túnel (Arraiz).





Ultima etapa de ejecución

En operación



Obras similares a nivel mundial



CIRCUNVALACIÓN DE ESTOCOLMO (Suecia)



CIRCUNVALACIÓN DE LUBLIANA (Eslovenia)



TUNEL SHIN-TAKEOKA (Japón)

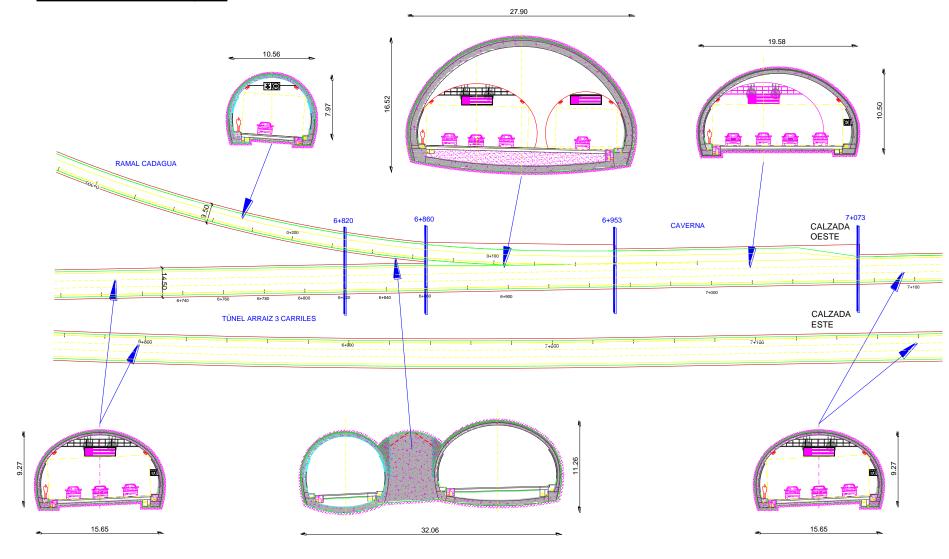
Hasta 2013 la Caverna de Arraiz tenía el record mundial de sección (355 m²) para caverna de bifurcación, pero ese año fue superada por el Túnel Shin-Takeoka que dispone de 378 m² de sección excavada.



SECCIONES TIPO



Secciones Tipo



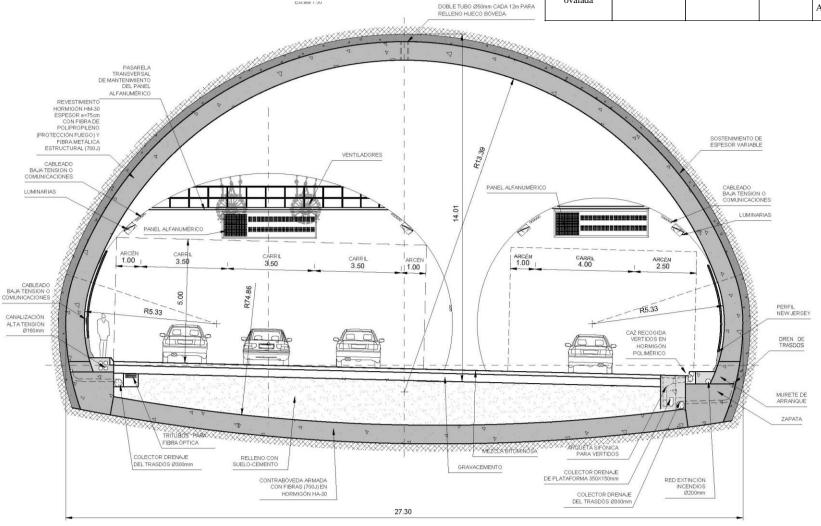


Zona "Pantalon" SECCIÓN TIPO TÚNEL ARRAIZ PK 6+818 EJE TÚNEL CALZADA OESTE Escala 1:50 (EJE 1) EJE TÚNEL RAMAL DE SALIDA CUÑA RELLENA CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-30, DOBLE TUBO Ø50mm U HORMIGÓN BOMBEADO ANCHURA MAX.=5.30m PARA INYECCIÓN DE CONTACTO CADA 6m CHAPA BERNOLD SOSTENIMIENTO TIPO IV ESPESOR=22cm SOSTENIMIENTO ESPESOR=20cm CERCHA TH-29 Y SOSTENIMIENTO ARRIOSTRADO AL PILAR CERCHA TH-29 Y SOSTENIMIENTO ARRIOSTRADO AL PILAR PERÍMETRO PERÍMETRO GALERÍA PILOTO GALERÍA PILOTO PARA EJECUCIÓN PARA EJECUCIÓN DEL PILAR DEL PILAR REVESTIMIENTO REVESTIMIENTO ESPESOR=30cm ESPESOR=30cm 2.00 PILAR DE HORMIGÓN EN MASA HM-30 DE ANCHURA VARIABLE SEGÚN P.K. CONTRABÓVEDA ARMADA CON FIBRAS (700J) EN HORMIGÓN HA-30 CONTRABÓVEDA ARMADA CON FIBRAS (700J) EN HORMIGÓN HA-30 32.08



Zona de bifurcación

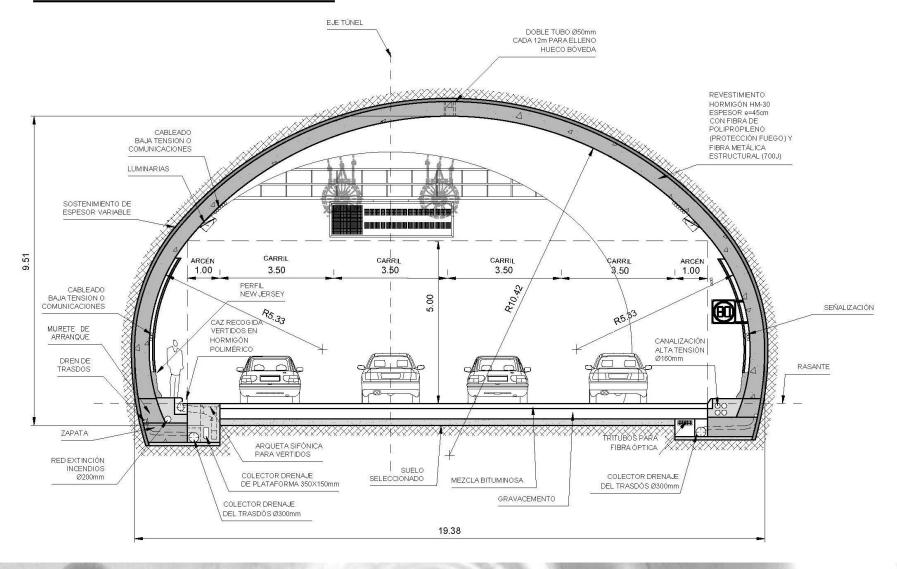
GEOMETRÍA	SECCIÓN INTERIOR (m²)	PLATAFORMA	GÁLIBO VERTICAL	DIMENSIONES
Policéntrica ovalada	253,90 m ²	23,40 m		Radio bóveda = 13,39 m Altura = 12 m Anchura = 27,30 m



Bilbao, 24 de Noviembre de 2016
JORNADA TÉCNICA TÚNELES EN PAÍS VASCO



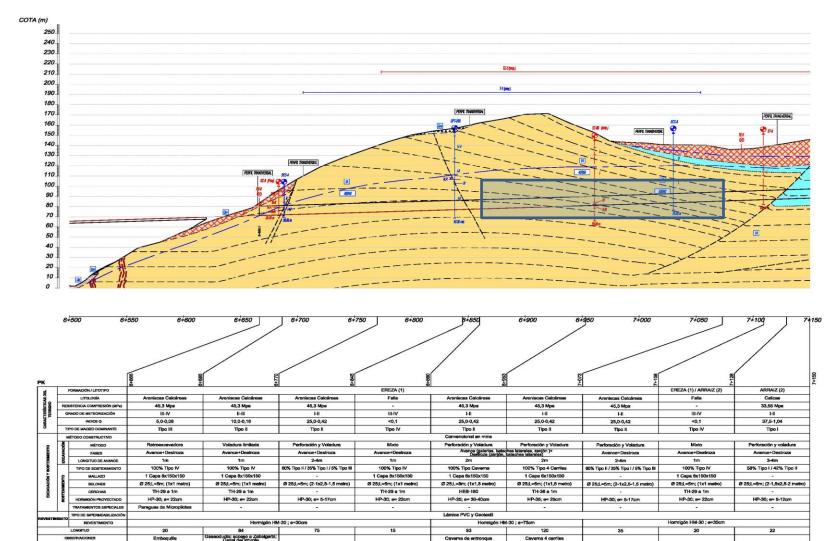
Zona de cuatro carriles





GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Perfil geológico





<u>Litología</u>

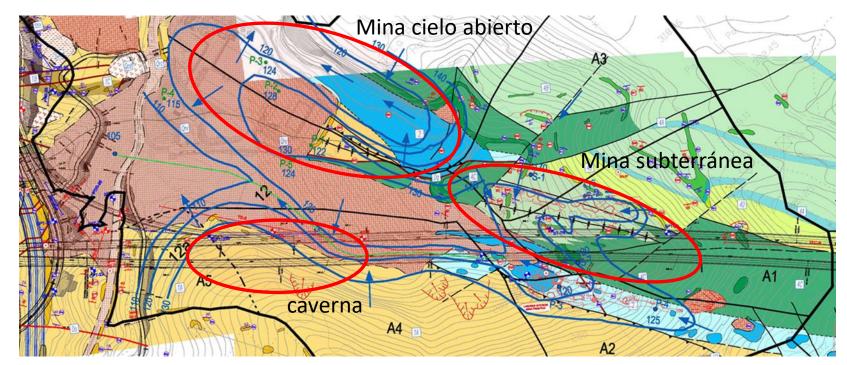
 <u>FORMACIÓN EREZA</u>: Niveles de areniscas calcáreas donde se alternan los bancos métricos de areniscas bioturbadas y masivas con horizontes de areniscas tableadas estratificadas en niveles de potencia decimétrica.





Condiciones mineras e hidrogeológicas

- En las proximidades se localiza una antigua mina de hierro (Mina Primitiva)
- La mina genera en la vertiente Norte de Arraiz (ubicación Caverna) una depresión piezométrica debido al drenaje que generan las labores a cielo abierto y subterráneas y que se sitúa a cota aproximada 120m. s.n.m.



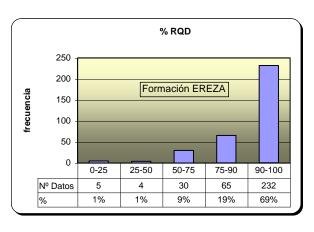
Mapa de Isopiezas y Flujos Subteráneos



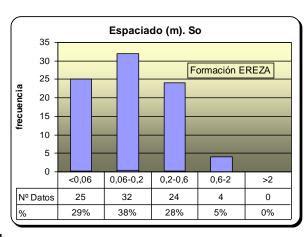
Parámetros geotécnicos matriz rocosa

1: Areniscas calcáreas y limolitas calcáreas					
Parámetro	Valor	Procedencia dato			
Densidad aparente	$\gamma = 2711 \text{ kg/m}^3$	Proyecto Constructivo			
Resistencia a compresión simple	$\sigma_{\rm C}$ = 45,30 MPa	Proyecto Constructivo			
Resistencia a tracción	σ_{T} = 8,82 MPa	Proyecto Constructivo			
Módulo de deformación	E _{lab} = 26,216 GPa	Proyecto Constructivo			
Coeficiente de Poisson	v = 0,23	Proyecto Constructivo			
Velocidad ondas sónicas	V _p = 4.526 m/seg	Proyecto Constructivo			
Parámetro m _i	m _i = 12,64	Proyecto Constructivo			
(*) Abrasividad Cerchar	CAI = 3,40	Proyecto Constructivo			
(*) Índice Schimazek	F = 0,33 kN/m	Proyecto Constructivo			

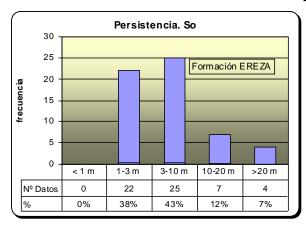




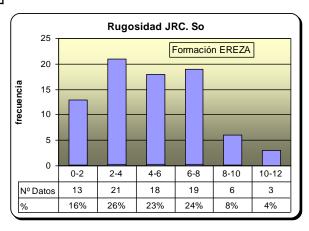
Fracturación



Familia	Dirección de Buzamiento	Buzamiento
Estratificación S _o	054	40
Diaclasa J ₁	158	79
Diaclasa J ₂	276	62
Diaclasa J ₃	351	73



- Datos obtenidos a partir de estaciones geomecánicas.
- La principal fractura presente en la caverna es la estratificación.



Clasificación geomecánica

 Los datos para obtener la clasificación geomecánica proceden principalmente de los sondeos y también de estaciones geomecánicas.

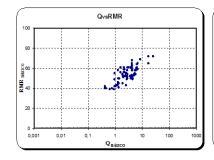
Túnel de Arraiz: Formación Ereza

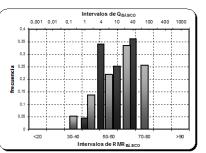
Sondeos:				
SPT-(20,20B);SB-5;ST-(6;6B);SCC-(4,8);SPT 7R				
Longitud total utilizada (m):				
336,15				
Litologias:				
Areniscas calcáreas				

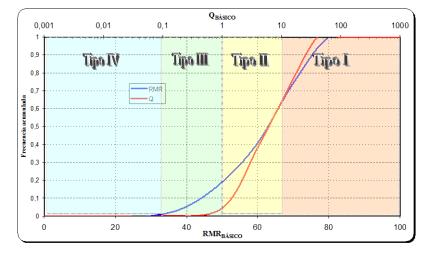
RMR	Max	Min	Medio Pond.
RMR1 (RCS)	7	2	6
RMR2 (RQD)	20	10	18
RMR3 (ESPACIADO)	15	5	9
RMR4 (JUNTAS)	22	10	17
RMR5 (AGUA)	15	4	10
RMR _{BÁSICO} (9	72-39		
RMR _{BÁSICO} m	61		
RMR _{BÁSICO} me	61		
GSI medio	61		

Porcentajes de tipo de terreno				
Intervalos Q	Tipo	%		
>10	I	35%		
1-10	П	60%		
0,1-1	Ш	5%		
<0.1	IV	0%		

Q	Max	Min	Medio Pond.
RQD	100,0	50,0	91,9
Jn	4,0	9,0	6,3
Jr	1,5	5۔0	1,1
Ja	1,0	4,0	2,1
Jw	1,0	0,3	0,7
Intervalo de confianz	25-0,42		
Q modal	4,2		
Q medio	5,40		



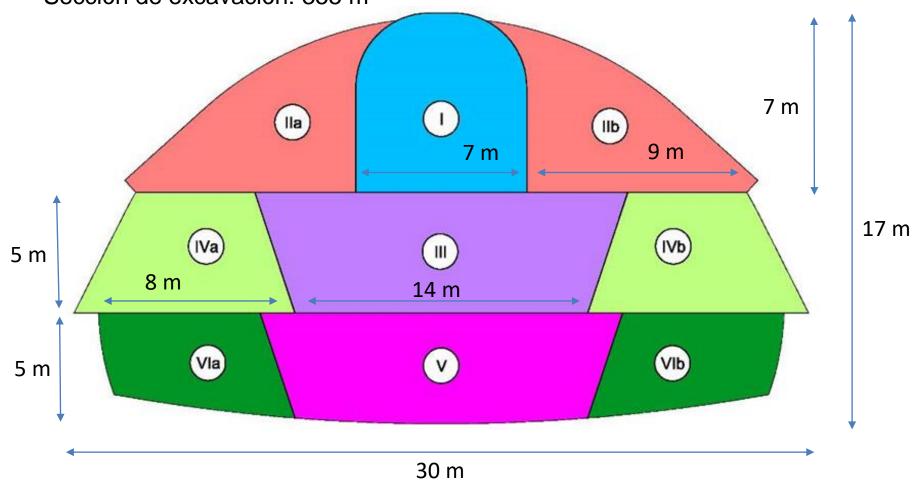




FASES DE EXCAVACIÓN

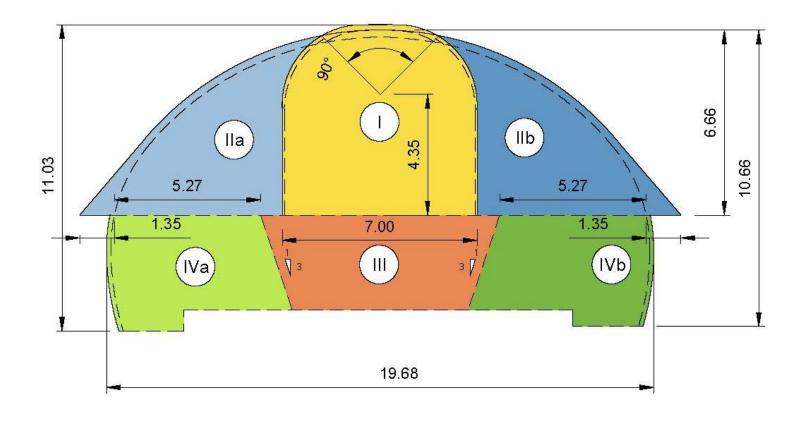
Fases de excavación (Sección Bifurcación)

Sección de excavación: 355 m²





Fases de excavación (Sección 4 carriles)





SOSTENIMIENTO

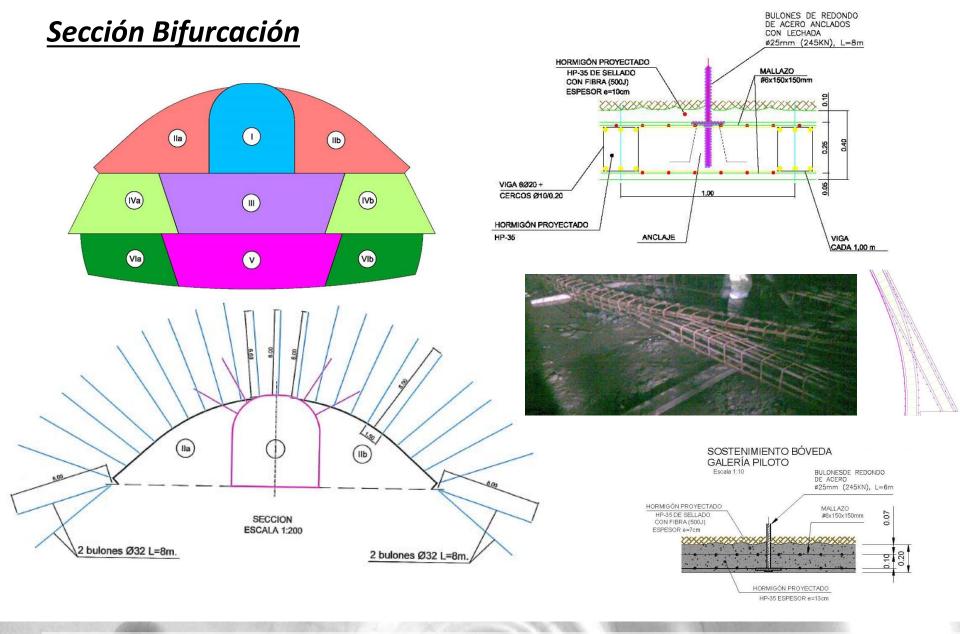


Sostenimiento

SOSTENIMIENTO SECCIÓN CUATRO CARRILES					
TIPO Y APLICACIÓN PASE		Bulones Tipo f25mm anclados con resina	Hormigón proyectado HP-35	Cerchas de acero TH-36	Mallazo
		L = 6 m			6x150x150 mm
Tipo Único	2 m	Malla	25 cm	Espaciada	2 00000
Q Cualquiera	<u> </u>	1 (L) x 1 (T) m	25 CIII	1 m	2 capas

SOSTENIMIENTO SECCIÓN BIFURCACIÓN					
TIPO Y APLICACIÓN	PASE	Bulones Tipo f25mm anclados con resina	Hormigón	Cerchas de barras de acero de Φ 10 y 20 mm	Mallazo
		L = 8 m			6x150x150 mm
Tipo Único	3 m	Malla	40 cm	Espaciada	2 00000
Q Cualquiera	3 III	1 (L) x 1 (T) m	40 CIII	1 m	2 capas

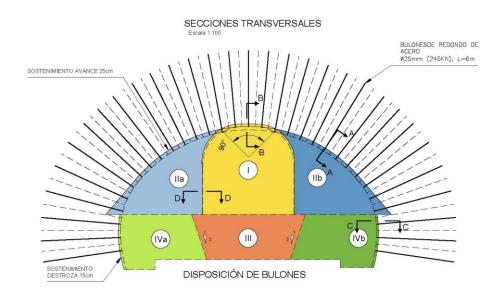


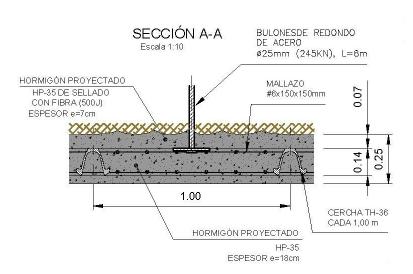






Sección cuatro carriles



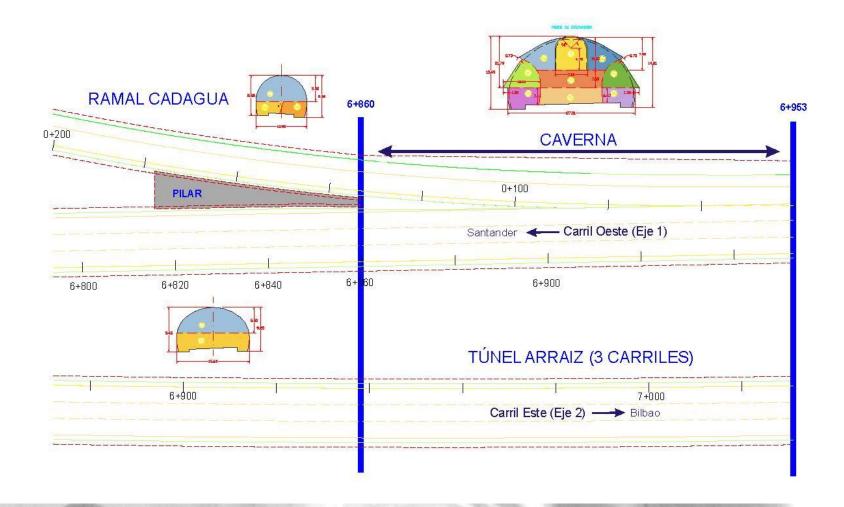




PROCESO CONSTRUCTIVO

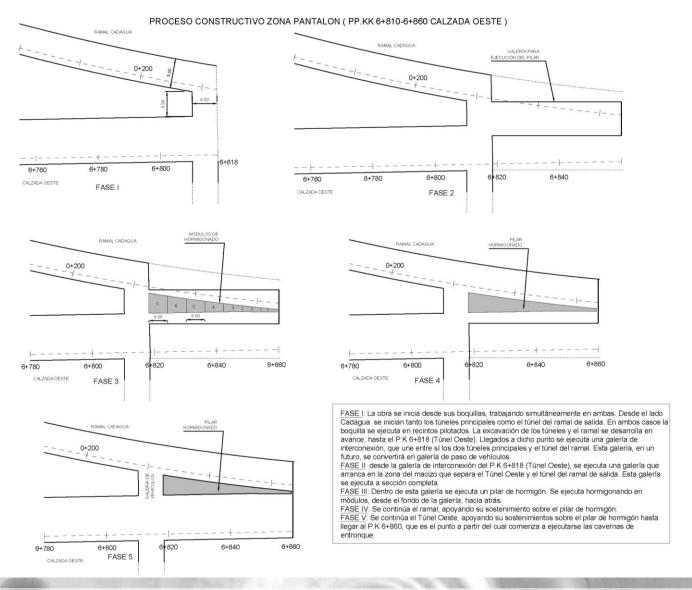


Esquema general



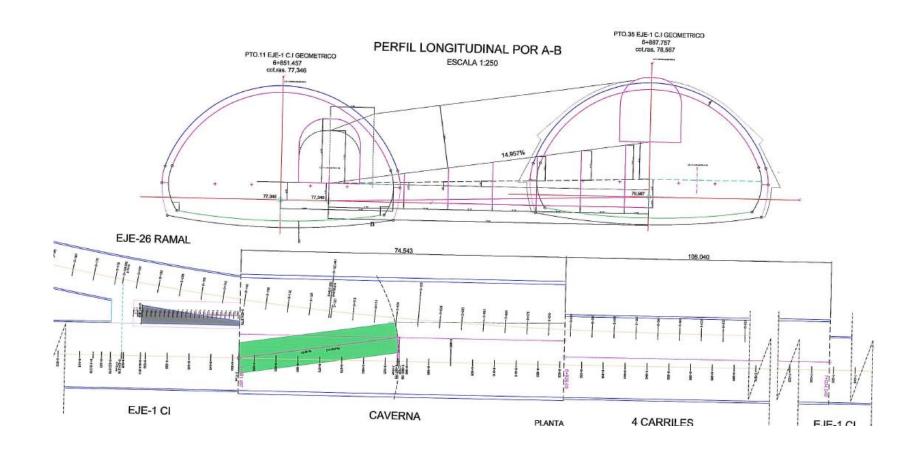


Zona "Pantalón" Pilar Hormigonado



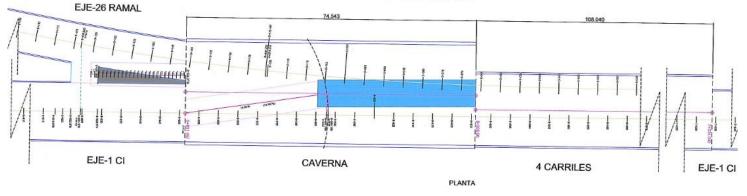


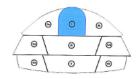
Zona Bifurcación (1)

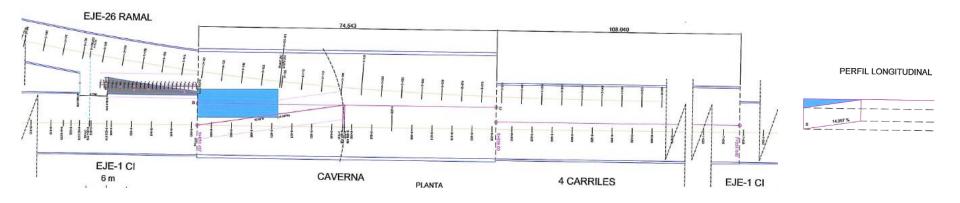


Zona Bifurcación (2)

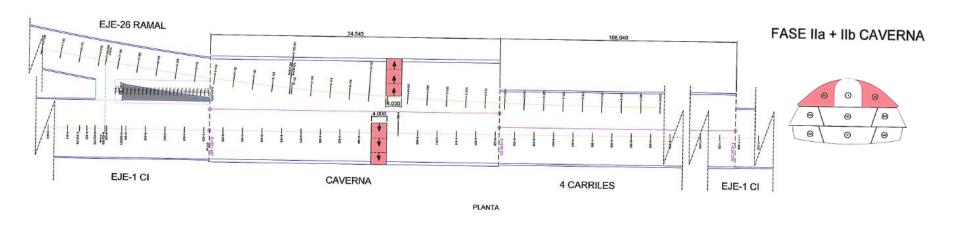


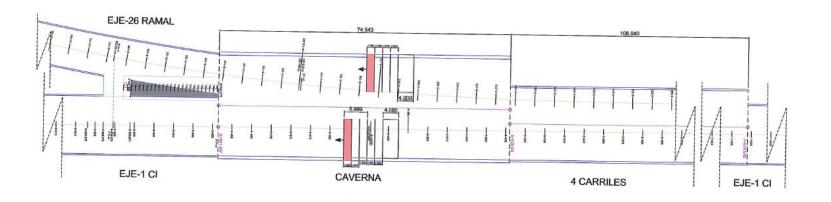




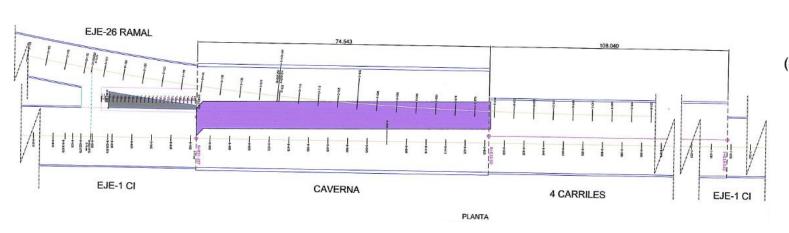


Zona Bifurcación (3)

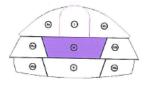


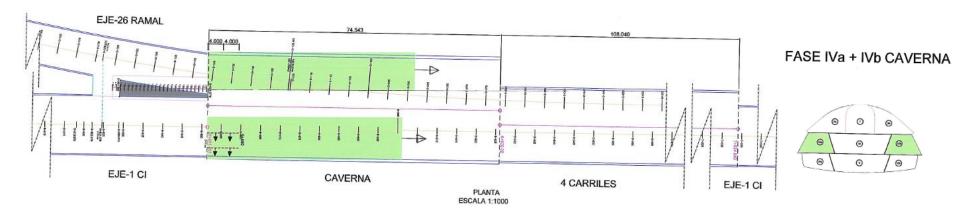


Zona Bifurcación (4)

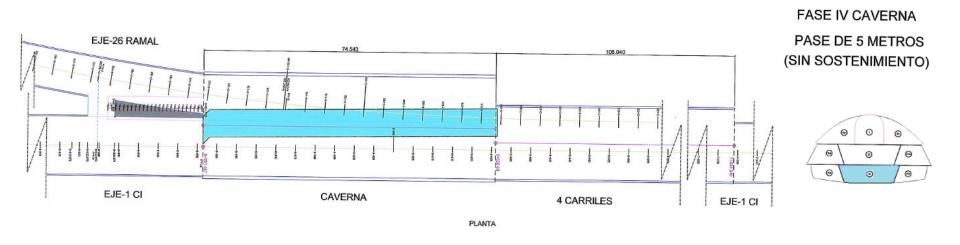


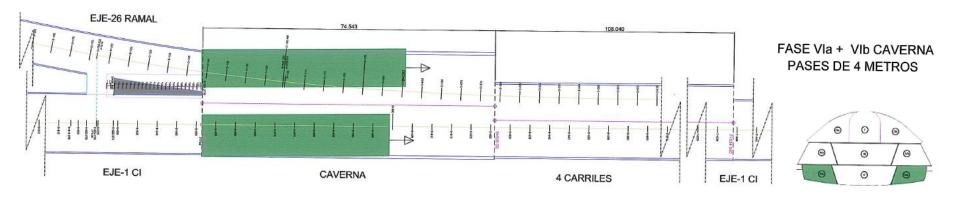
FASE III CAVERNA
PASE DE 4 METROS
(SIN SOSTENIMIENTO)





Zona Bifurcación (5)





CÁLCULOS ESTRUCTURALES

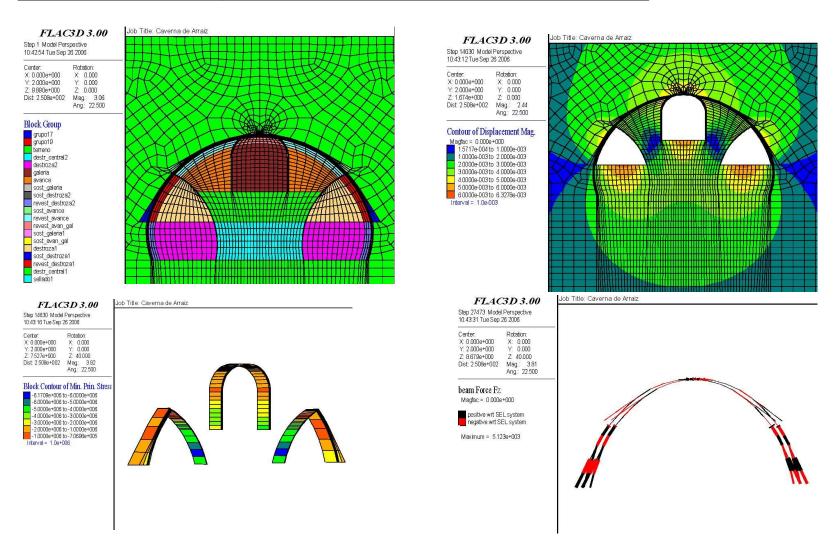


Criterio de cálculo estructural

- En las grandes cavidades las inestabilidades gravitatorias de grandes bloques es muy relevante.
- Para las zonas de mayor luz (Zona Pantalón y Zona Bifurcación) se realizará un cálculo mediante UDEC 3D, que permite considerar simultáneamente los efectos tensodeformacionales y de bloques.
- Para la Zona de Cuatro Carriles se emplearán cálculos tensodeformacionales convencionales (FLAC 3D) y de caída gravitaría de bloques (UNWEDGE).

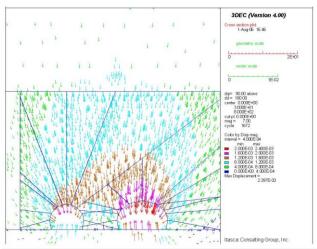


Cálculos Tensodeformacionales Zona Cuatro Carriles

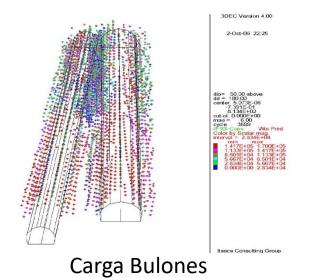




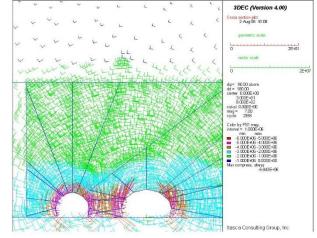
Cálculo UDEC 3D Zona Bifurcación y Zona Pantalón

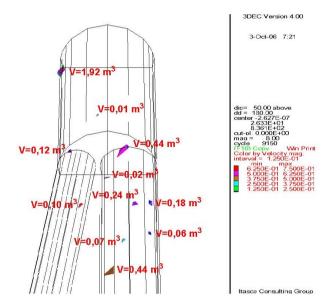


Desplazamientos



Tensiones



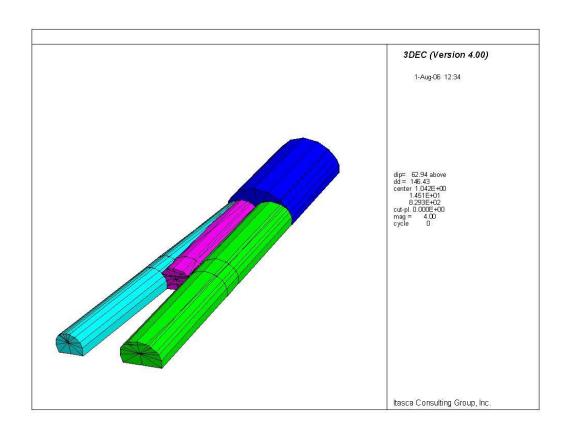


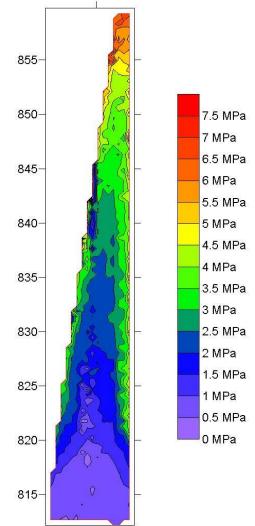
Volumen bloques movilizados

Bilbao, 24 de Noviembre de 2016



Tensiones pilar hormigón



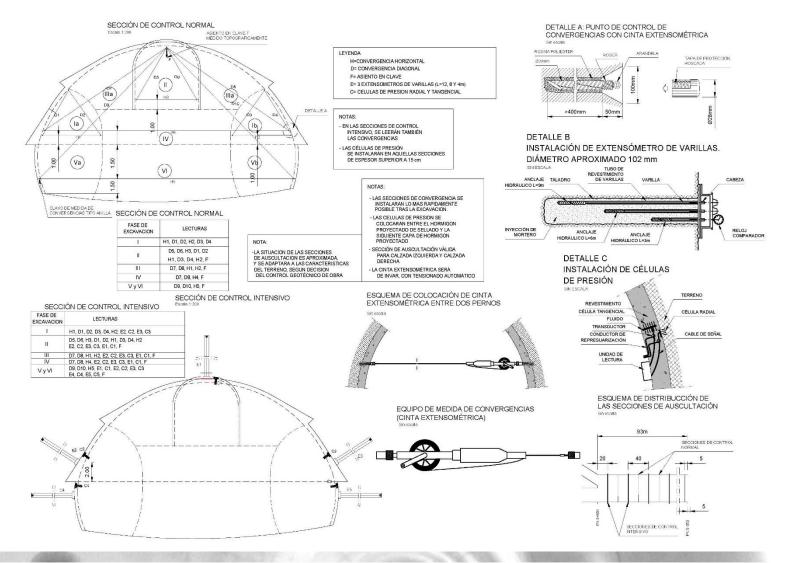




MONITORIZACIÓN



Secciones de control



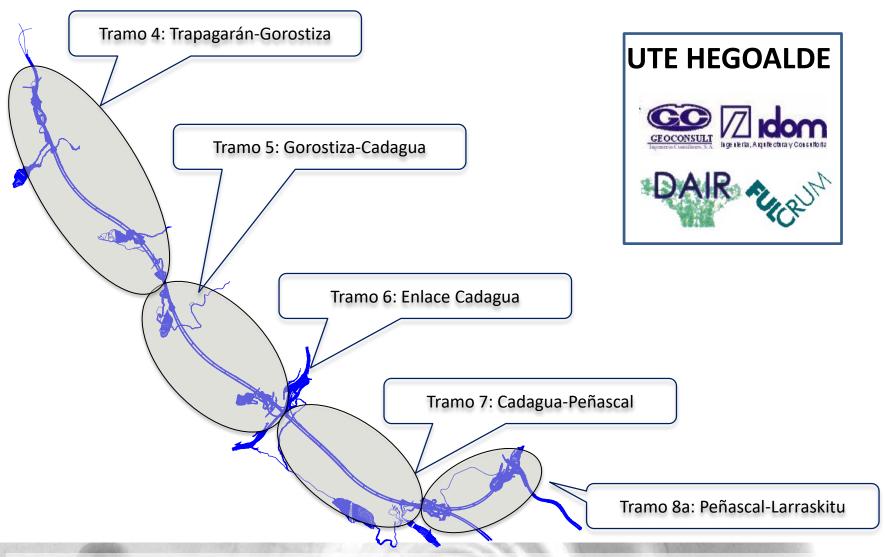
JORNADA TÉCNICA TÚNELES EN PAÍS VASCO



ORGANIZACIÓN GENERAL DE SEGUIMIENTO DE OBRA



Unidad de Asistencia Técnica



Bilbao, 24 de Noviembre de 2016
JORNADA TÉCNICA TÚNELES EN PAÍS VASCO



Control Geotécnico y Túneles

Seguimiento de las excavaciones y de los sostenimientos

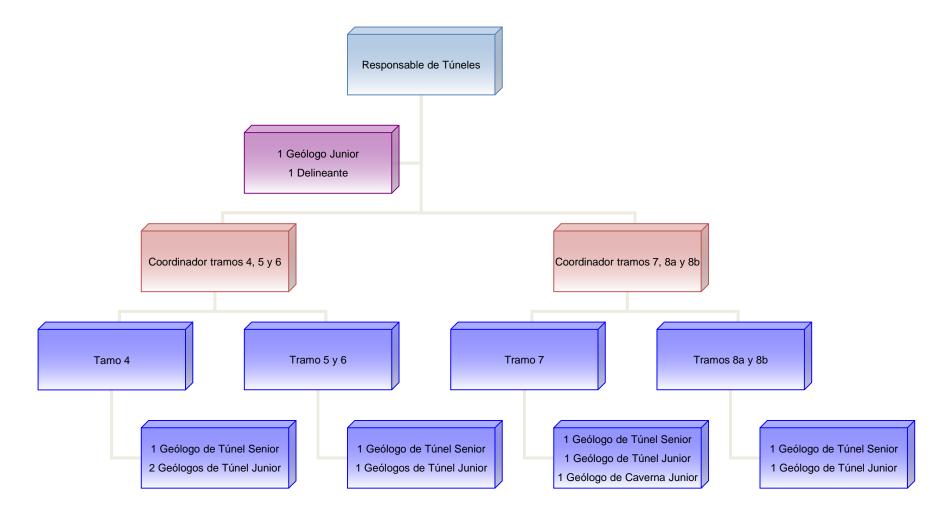
- Seguimiento de las litologías aparecidas.
- Seguimiento de la red estructural del macizo rocoso.
- Seguimiento de la variación del campo tensional.
- Seguimiento hidrogeológico.
- Clasificación y valoración del macizo rocoso.
- Selección de sostenimientos, refuerzos y tratamientos especiales a ejecutar en cada momento.

Seguimiento del comportamiento del túnel ya ejecutado

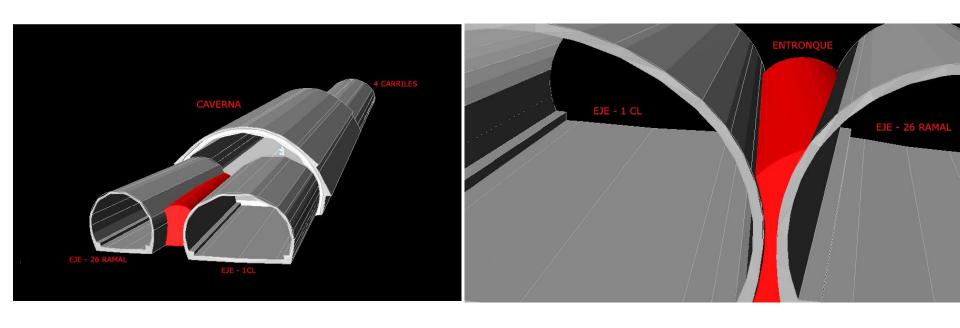
- Seguimiento de la auscultación e instrumentación instalada.
- Análisis de las desviaciones detectadas respecto al comportamiento esperado.
- Seguimiento del estado del sostenimiento ya ejecutado.
- Seguimiento y análisis de las modificaciones aparecidas (estacionales, sobrexcavaciones, perímetro de excavación, etc.)



Equipo de Control Geotécnico y Túneles



DESARROLLO DE LAS OBRAS



La ejecución del pilar hormigonado, se inició con la excavación de una galería provisional de 6 m de ancho. El sostenimiento de esta galería es provisional, consistiendo en bulones, gunita y mallazo.



A continuación, se colocan cerchas TH acodaladas por el pie y la cabeza a la galería provisional.
Estas cerchas tienen la forma de los hastiales del Eje 1 y 26 y sirven de base para la colocación de chapa Bernold a modo de encofrado perdido.





El hormigonado se realizó en tres tongadas, dejando embebidas células de presión total para el control de cargas.
Para tratar de asegurar el contacto entre la roca y la cabeza del pilar, se hicieron con posterioridad inyecciones de contacto a través de manguitos dejados ex proceso.





Una vez madurado el hormigón del pilar, se avanzó por el eje 1, para poder atacar la caverna. Se dió continuidad al sostenimiento de los ejes a través de las cerchas de encofrado del pilar.

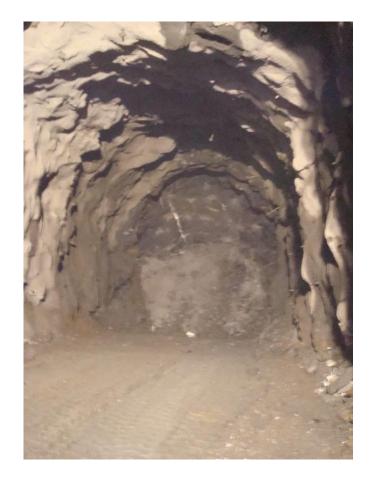


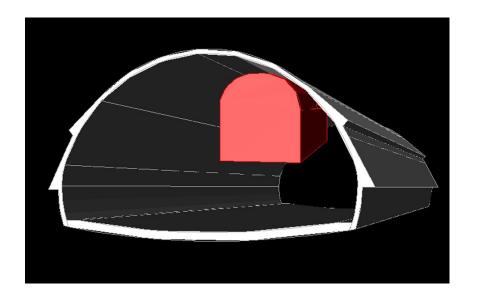






Rampa de acceso a calota



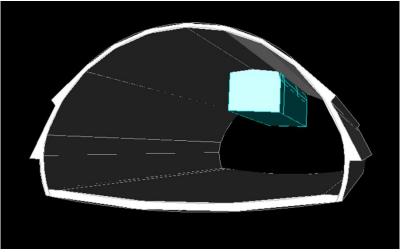


La ejecución de la caverna se inició desde la cota de avance del Eje 1, excavando una rampa de 6 m de ancho y 6 de alto, con una pendiente del 15% y 36 m de longitud. El sostenimiento era provisional, consistiendo en bulones y gunita.



Galería piloto en clave



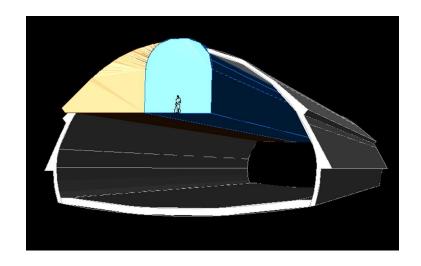


Una vez que se llega a la cota de la galería piloto, aproximadamente en el centro de la caverna, se excavó la galería piloto en dirección al espejo del 4 carriles.

La galería piloto tenía en clave un sostenimiento de bulones largos, mallazo y gunita, que forman parte del sostenimiento definitivo y en hastiales un sostenimiento provisional de bulones y gunita.

Bataches laterales de la calota

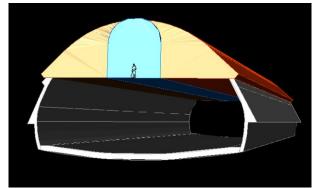




Los bataches laterales se iniciaron por la izquierda y la derecha simultáneamente, pero en direcciones contrarias. Según se excavaba media sección, se colocaban las vigas de celosía, dejándolas en espera para posteriormente completarlas.

Bataches laterales de la calota





Según se excavaba la sección, se colocaban las vigas de celosía.

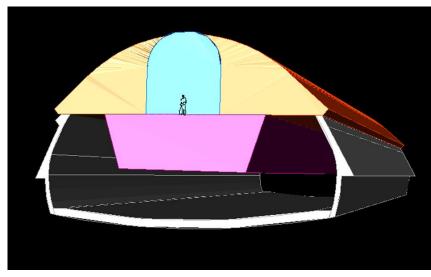


Finalización de la calota



Trinchera de la primera destroza

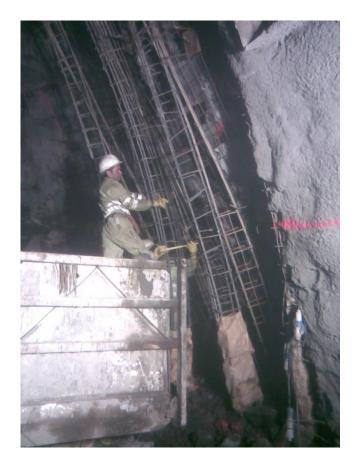


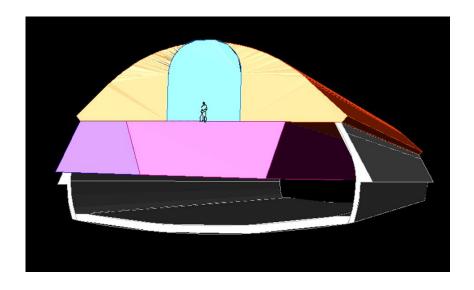


La excavación de la trinchera central no implicaba colocación de sostenimiento. Con la trinchera hacia la mitad, se inició la ejecución de los bataches laterales de la primera destroza.



Bataches laterales de la primera destroza





Al excavar los bataches, se colocaban los patones de las cerchas de celosía.



Inicio de la continuación del Eje 1

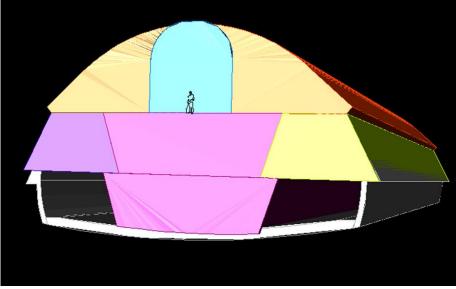


Al finalizar la ejecución de la primera destroza, se inició la ejecución de la continuación del túnel del Eje 1.



Excavación de la contrabóveda

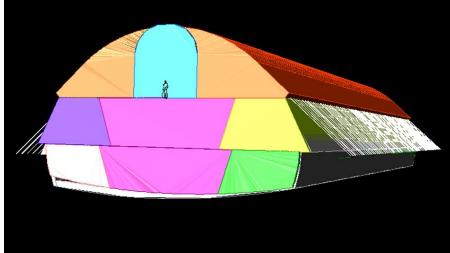






Excavación de la contrabóveda







Hormigonado de la contrabóveda





Impermeabilización





Hormigonado de hastiales de revestimiento





Hormigonado de bóveda de revestimiento





Instalaciones



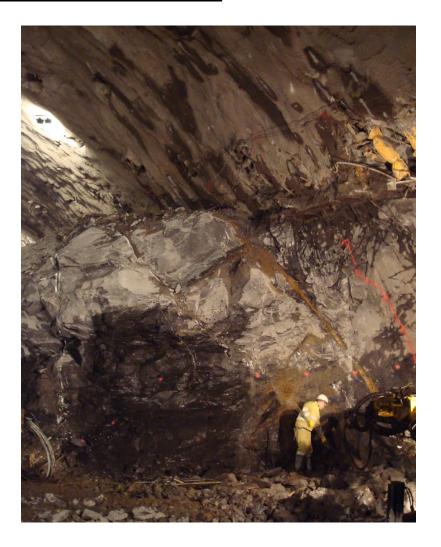


SEGUIMIENTO GEOTÉCNICO Y MONITORIZACIÓN



Metodología y aspectos geotécnicos de control

Dadas las dimensiones y la singularidad de la caverna de Arraiz, las labores de control y seguimiento de ejecución han sido mucho más intensas que en el resto de los túneles, no limitándose únicamente a su caracterización geotécnica por medio de clasificaciones. Aunque la matriz rocosa de arenisca de la formación Ereza es muy competente, este macizo rocoso se caracteriza por la existencia de juntas de gran continuidad independientes de la estratificación. En muchas ocasiones, estas juntas aparecen con rellenos arcillosos de baja componente friccional, por lo que el riesgo de formación de grandes sólidos es muy alto.

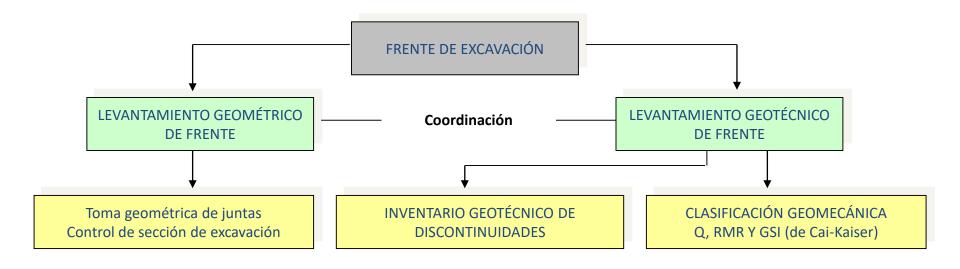




Metodología y aspectos geotécnicos de control

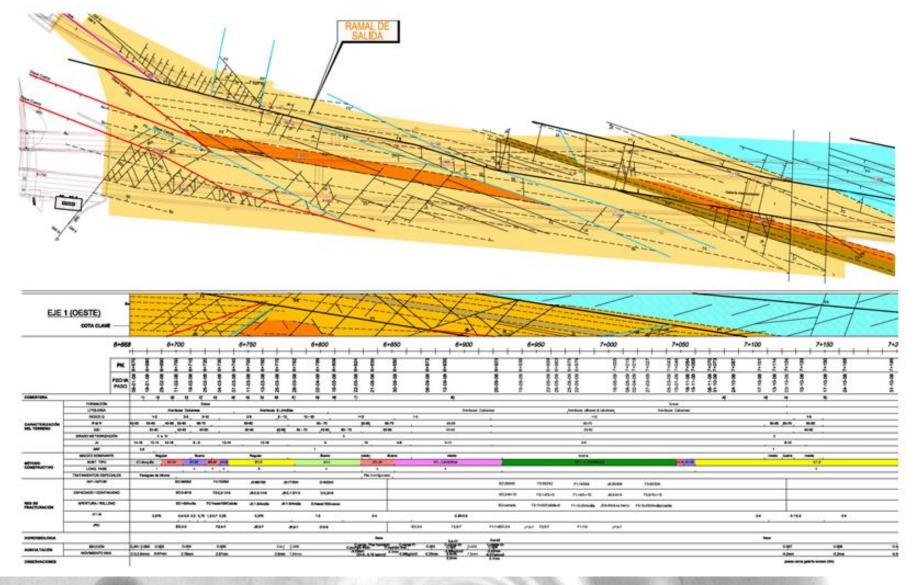
Por lo tanto, las labores de control y seguimiento se centraron fundamentalmente en la identificación y caracterización de las principales juntas, siguiéndolas individualmente desde el momento que aparecían en el frente hasta que desaparecían.

Esta metodología exigía además de un levantamiento preciso de cada frente de excavación, el levantamiento geométrico del perfil del frente y de la posición de cada junta. Por lo tanto, la coordinación entre personal de geotecnia y de topografía fue fundamental.





Mapeo geológico-estructural durante la ejecución

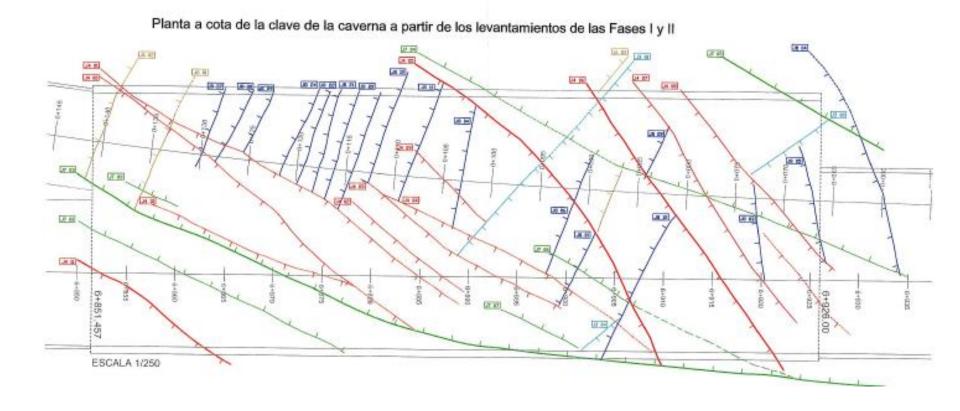


Bilbao, 24 de Noviembre de 2016
JORNADA TÉCNICA TÚNELES EN PAÍS VASCO



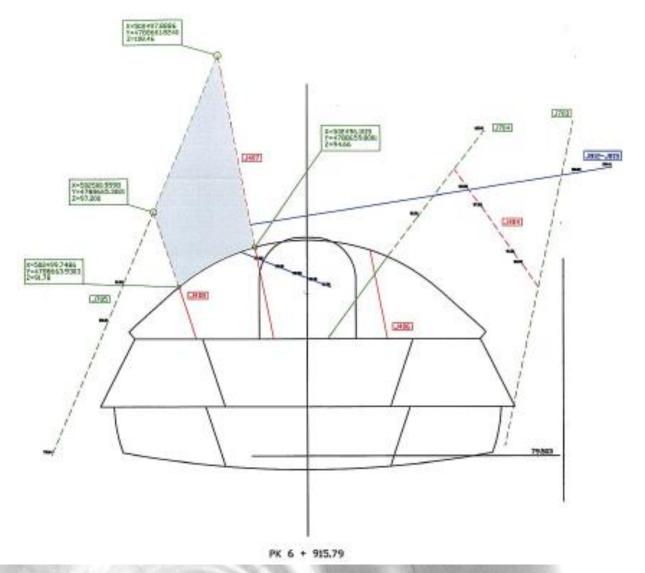
Mapeo de fracturas durante la ejecución

Desde el punto de vista geotécnico, las propiedades fundamentales de las discontinuidades que más interesan son la continuidad y sus características friccionales. A medida que se tomaban datos de los frentes, se fue completando un Modelo estructural de la Caverna, donde se identificaban individualmente cada junta, sus propiedades y familia a la que pertenece.



Mapeo de fracturas durante la ejecución

Paralelamente, se trasladaban las posiciones de las juntas de mayor continuidad a un modelo geométrico tridimensional de la caverna realizado en CAD.

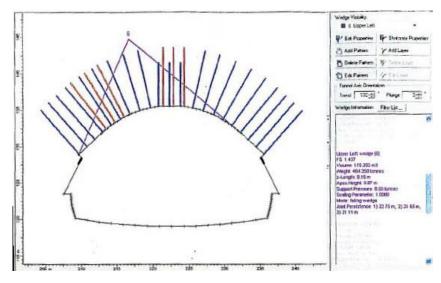


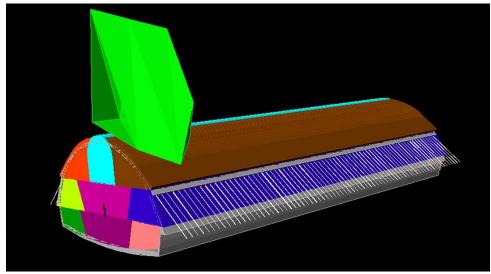
Bilbao, 24 de Noviembre de 2016
JORNADA TÉCNICA TÚNELES EN PAÍS VASCO



Comprobación sistemática de bloques

En el caso de que se identificara algún sólido de gran tamaño, se comprobaba cinemáticamente si las cuantías y longitudes de los sostenimientos sistemáticos ejecutados eran suficientes para estabilizarlo con un FS mínimo de 1,4 Si era necesario, se reforzaba puntualmente el tramo de caverna afectado.

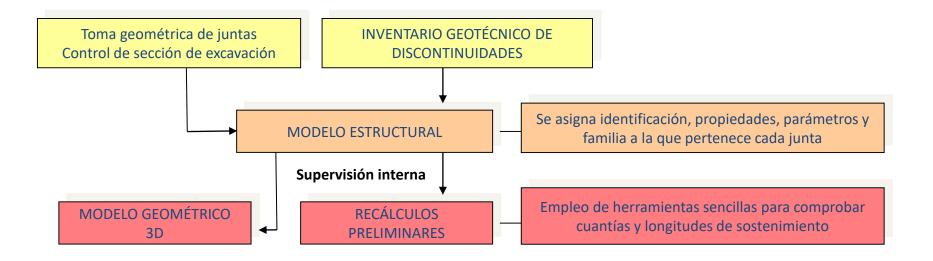




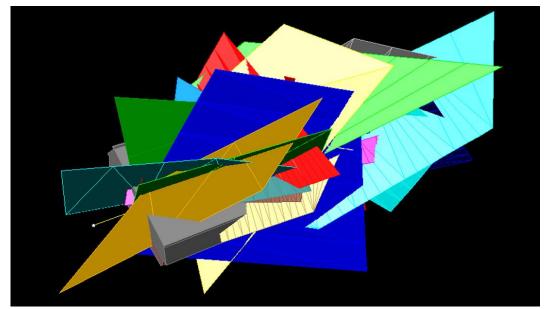


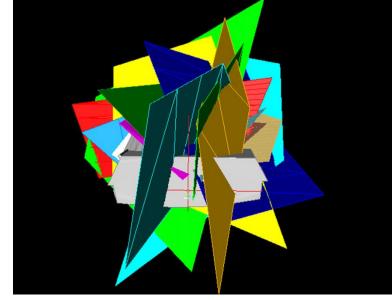
Generación de modelo geométrico 3D

Este modelo geométrico obtenido, sirve de base para la realización de un cálculo tridimensional discreto, con el que se pretende averiguar las condiciones de estabilidad una vez finalizada la ejecución de la caverna. Las conclusiones obtenidas de estos cálculos tridimensionales junto con las conclusiones obtenidas del control de ejecución (geométrico, cuantitativo y cualitativo) y las obtenidas de la instrumentación instalada, servirán para dar la validación final a la caverna de Arraiz.



Generación de modelo geométrico 3D



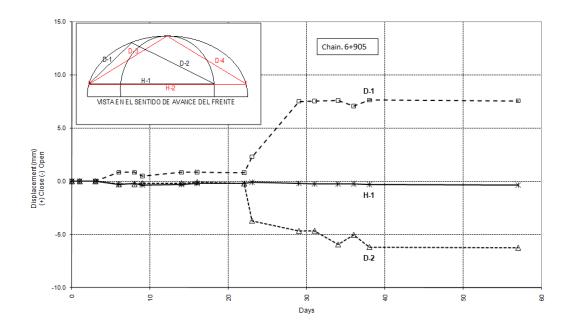




Monitorización

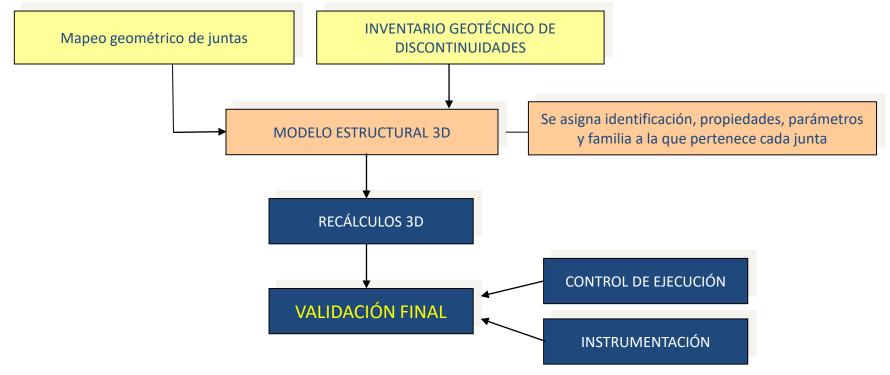
En las primeras fases de ejecución de la caverna, los desplazamientos medidos por las secciones de convergencia indicaron leves desplazamientos de los pernos situados en la clave.

En algunas secciones, se registraron súbitos desplazamientos con acortamiento de una de las cuerdas diagonales y elongación de la opuesta. En estas secciones, se comprobó que los pernos de referencia estaban anclados al propio hormigón de sostenimiento en lugar de a la roca. Estos movimientos daban idea de que probablemente se estaba produciendo un despegue del sostenimiento, por lo que se decidió realizar inyecciones de contacto una vez finalizada la ejecución de la calota de la caverna, no detectándose movimientos posteriormente.





Validación final



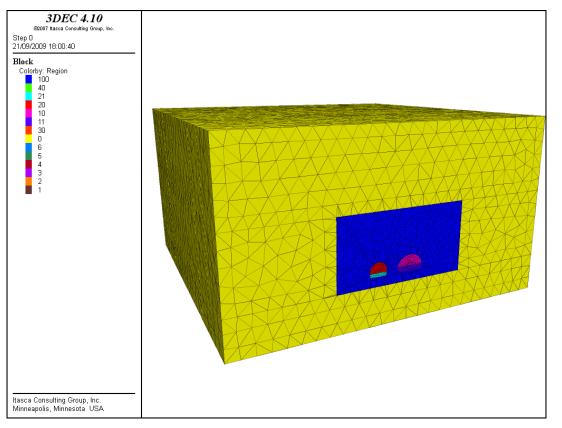
El modelo estructural, sirve de base para la realización de un cálculo tridimensional discreto, con el que se pretende averiguar las condiciones de estabilidad una vez finalizada la ejecución de la caverna.

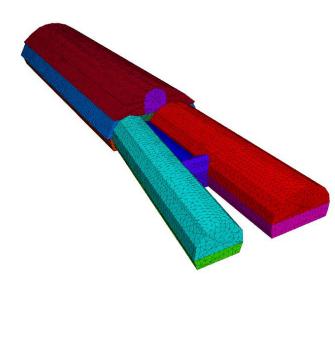
Las conclusiones obtenidas de estos cálculos tridimensionales junto con las conclusiones obtenidas del control de ejecución (geométrico, cuantitativo y cualitativo) y las obtenidas de la monitorización, servirán para dar la validación final a la caverna de Arraiz.



Modelo discreto (3DEC)

El modelo incluye las geometrías correspondientes al túnel y el ramal con sus fases de avance y destroza, la zona de entronque y la caverna con todas sus subfases constructivas.

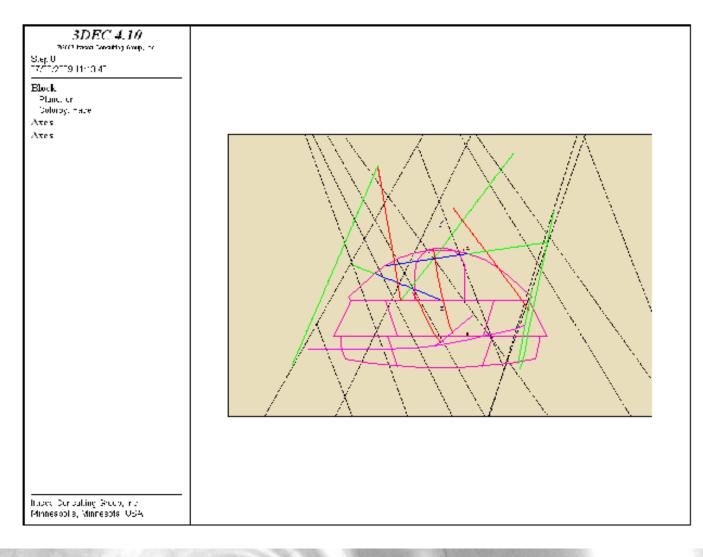






Modelo discreto (3DEC)

Las juntas se introducen en el modelo como planos de continuidad infinita, en las posiciones marcadas por los mapeos realizados durante la ejecución





Modelo discreto (3DEC)

Modelo geológico-geotécnico: litología formada por areniscas y limolitas carbonatadas (Formación Ereza)

GSI= 60,
$$\sigma_{ci}$$
= 57.9 MPa y m_i = 14.878

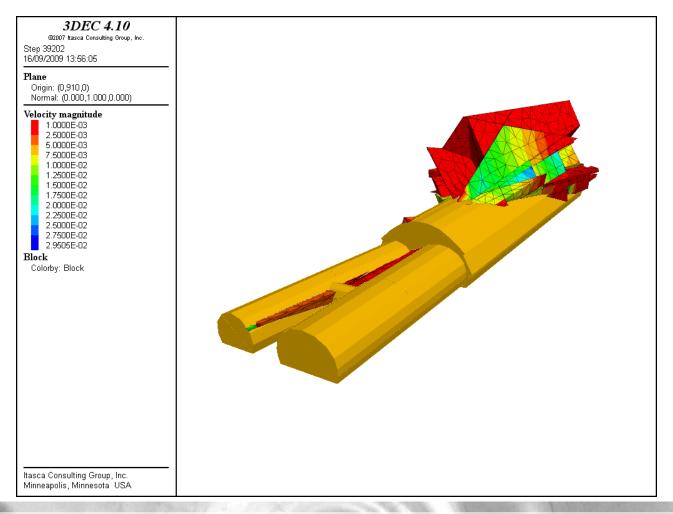
Litotlogía	Em (MPa)	ν	c (MPa)	φ (º)	γ (t/m ³)
Areniscas y limolitas	11267	0.26	0.90	57	2.7

A todas las juntas se les ha asignado una cohesión nula y una fricción de 32º



Resultados del modelos SIN SOSTENIMIENTO

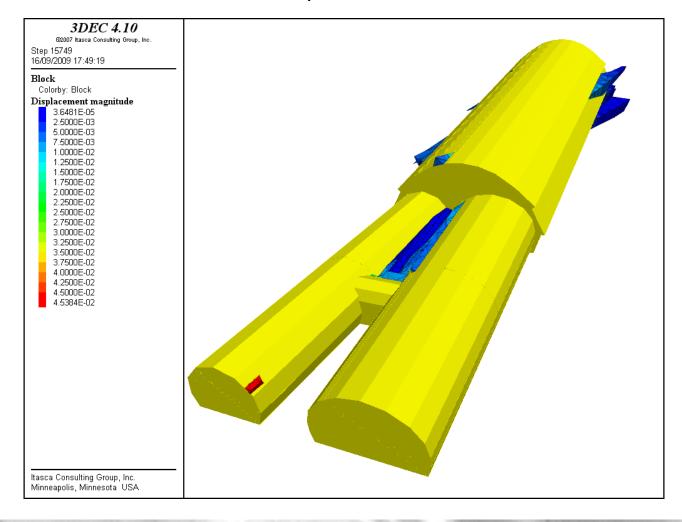
Formación de bloques inestables sin sostenimiento





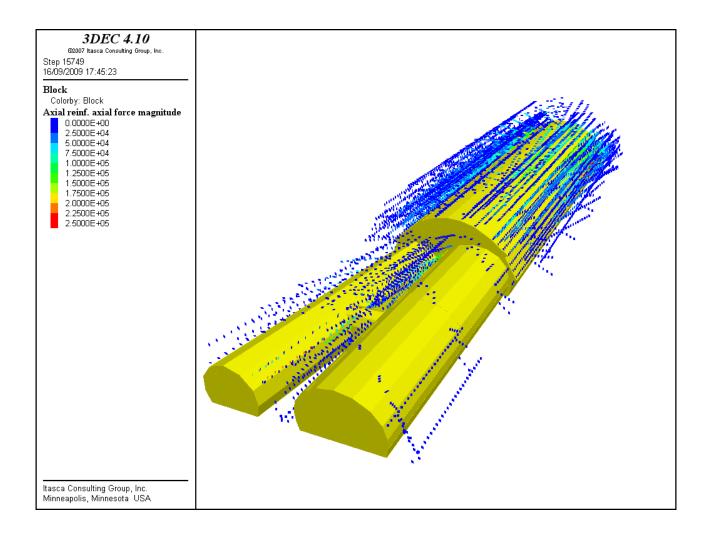
Resultados del modelos CON SOSTENIMIENTO

Formación de bloques con sostenimiento





Resultados del modelos CON SOSTENIMIENTO

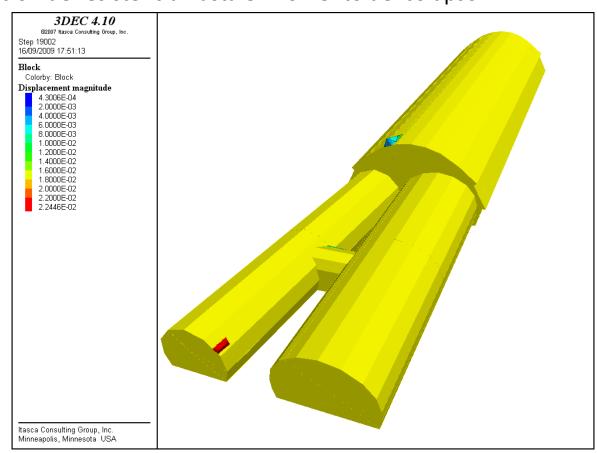




Obtención del FS global

Se ha calculado el factor de seguridad global, reduciendo la resistencia de los bulones progresivamente hasta que se produzca la inestabilidad del modelo. El FS queda definido por el ratio de reducción de resistencia hasta el momento del colapso.

Se ha llegado hasta una reducción de la resistencia de los bulones por un factor de 4, con una situación estable para los bloques, por lo que se puede deducir que el factor de seguridad de las cuñas es superior a 4.





Conclusiones del seguimiento geotécnico

Con objeto de obtener una validación del diseño de la caverna de Arraiz, durante la excavación se ha realizado un seguimiento geotécnico específico, consistente en:

- Mapeo geológico-estructural de la red de fracturación del macizo rocoso
- Identificación geométrica de las fracturas por medio de topografía de precisión
- Comprobación sistemática de bloques mediante cálculos cinemáticos
- Generación de un modelo discreto 3D de la caverna
- Comprobación de estructural final del sostenimiento mediante análisis por Elementos Discretos (3DEC), obteniéndose un FS mínimo de 4
- Validación final a partir de las conclusiones obtenidas del modelo 3DEC, del control geométrico de la excavación, del control cualitativo y de los resultados de la monitorización



SEGUIMIENTO DURANTE LA EXPLOTACIÓN

Inspección y Monitorización en fase de explotación

- Se continua midiendo la monitorización del túnel (células de presión y extensómetros).
- Se agregan hilos de fibra óptica para medida de las deformaciones.
- Se realizan inspecciones sistemáticas.

FRECUENCIAS:

- Inspección Rutinaria. Anual
- Inspección exhaustiva. Anual
- Lectura fibra óptica. En continuo
- Lectura Extensómetros y células de presión. Semestral

