



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica
Departamento de Geología

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y ANÁLISIS DE LOS ESTADOS DE ESFUERZO, EN EL SECTOR HELIPUERTO ÁVILA - ESTACIÓN PDV-CERCADO (CORDILLERA DE LA COSTA) PARA LA EXCAVACIÓN DE LOS TÚNELES DEL METRO CARACAS-GUARENAS, ESTADO MIRANDA

Caracas, Junio del 2014

Br. Carlos Eduardo Oliveros Alcalá
Br. Carlos Elías Oliveros Alcalá



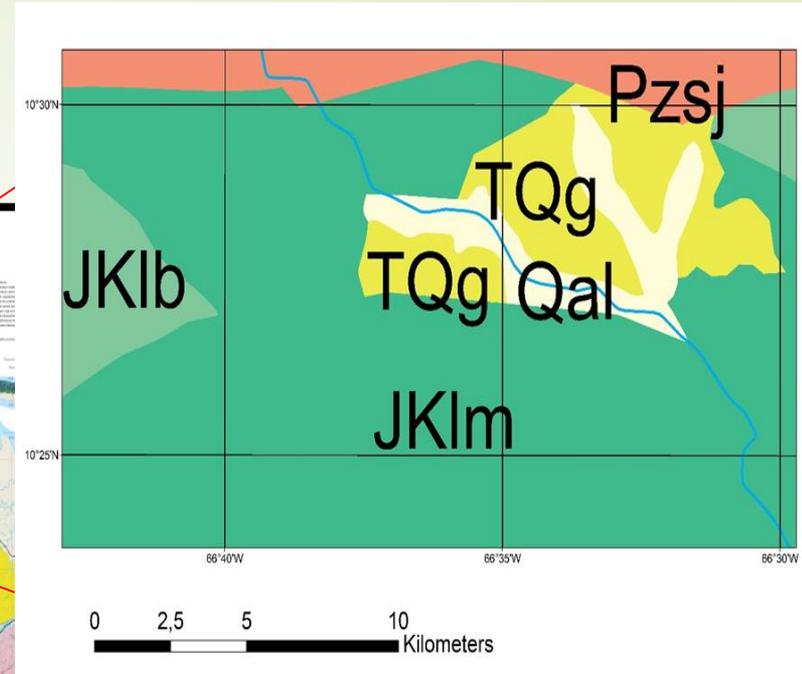
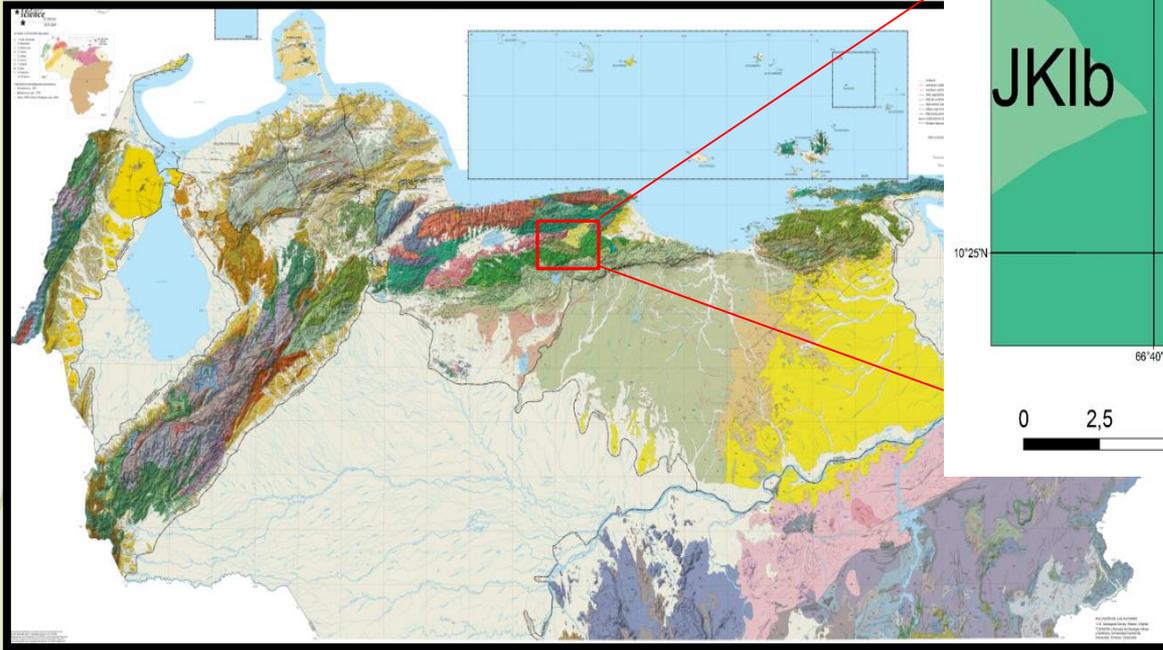
CONTENIDO

- INTRODUCCION
- UBICACIÓN
- JUSTIFICACION
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- ALCANCES
- OBJETIVOS
- MARCO TEORICO
- ENSAYOS GEOMECÁNICOS
- METODOLOGIA
- ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCIÓN



UBICACIÓN



Bosquejo norte de Venezuela Tomado de Urbani (2008)

- Al norte de Venezuela, un sector del Estado Miranda, municipio Plaza, cuya localidad principal es Guarenas, dichas perforaciones se realizaron entre el Helipuerto Ávila y la estación de PDV el Cercado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Caracas

Sobrepoblación

Congestión vial

Ciudades dormitorio

Guarenas
Guatire

Estado (plan de la patria)

Sistema ferroviario

Solución masiva de transporte

JUSTIFICACIÓN

Esquisto Las Mercedes

Quebradas,
Cortes de Carretera,

Perforaciones menores a 50 metros

No hay información

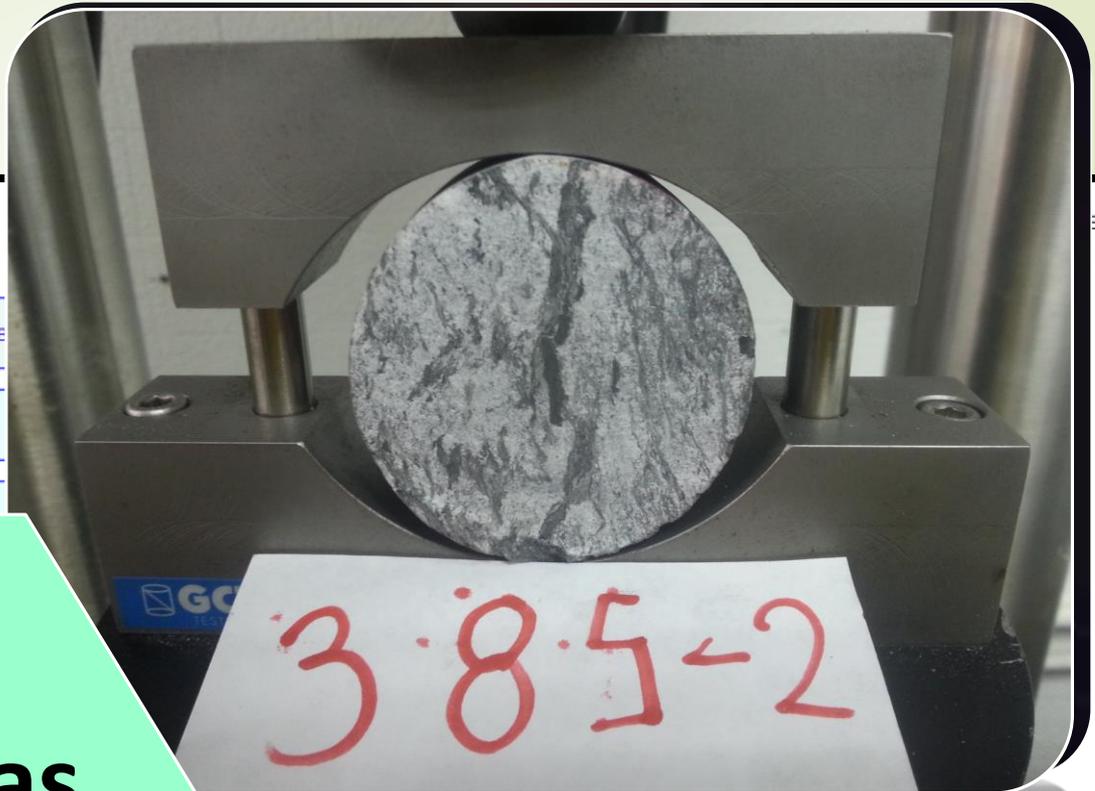
Construcción

Modelamiento geomecánico y análisis de esfuerzo

Identificar características

Valores de resistencia de la Roca

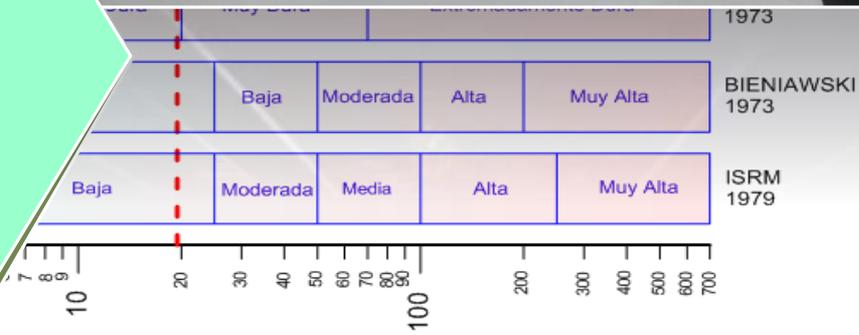
ALCANCE



----- Resistencia de la Muestra

Extremadamente Baja	Muy Baja	E
---------------------	----------	---

Esquisto las Mercedes



0.1

Compresión Uniaxial (MPa)

ER, I.W.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar la caracterización geológica, geomecánica y análisis de los estados de esfuerzo, en la Cordillera de la Costa (sector Helipuerto Ávila - estación PDV-Cercado) para la excavación de los túneles del Metro Caracas-Guarenas, Estado Miranda.



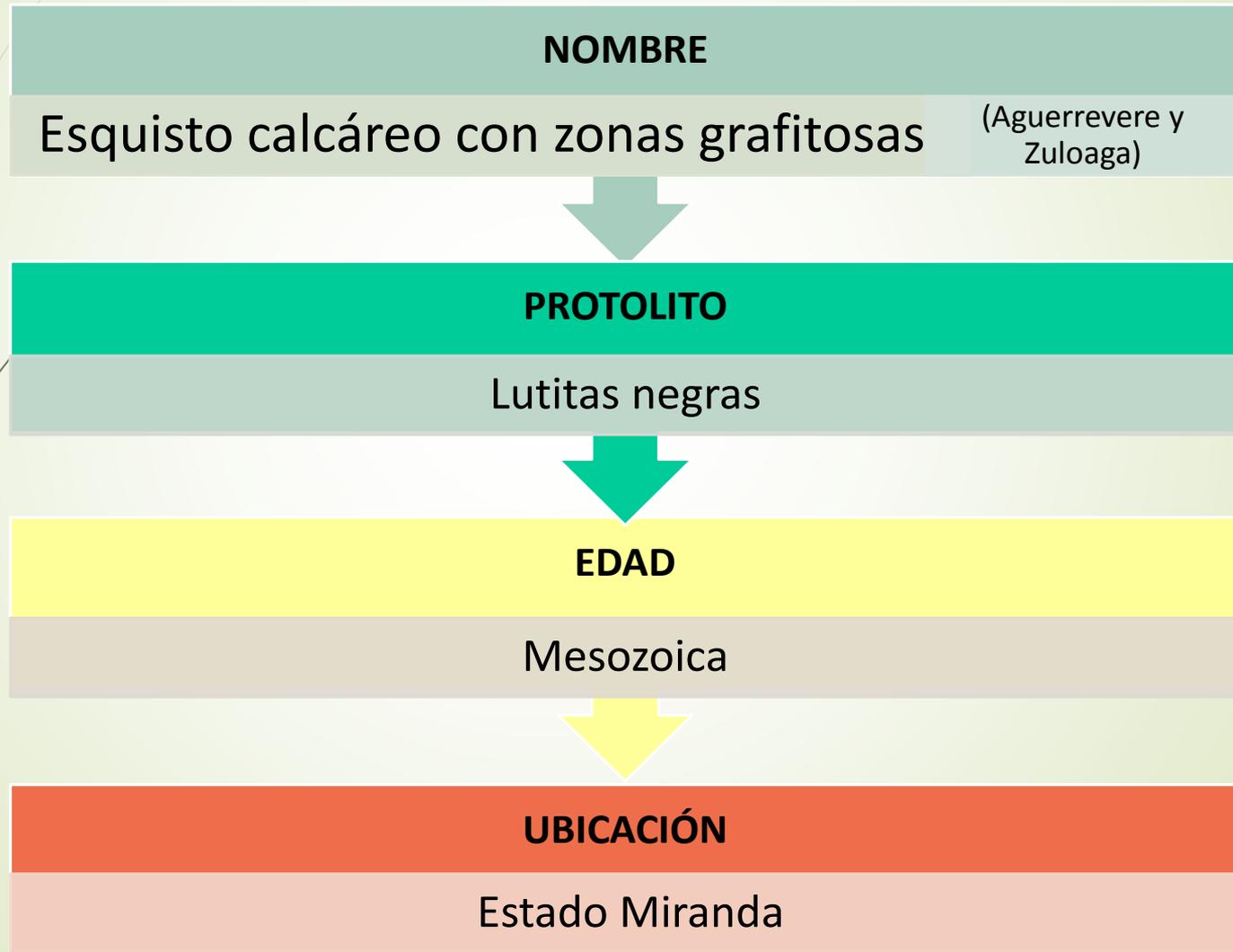
Objetivos Específicos

- Describir parámetros cualitativos (foliación, color, variación mineralógica) de los núcleos de perforación
- Determinar propiedades índices (absorción, porosidad y densidad) de los núcleos de perforación
- Determinar propiedades geomecánicas de las rocas a través de los ensayos mecánicos: Compresión Simple, Compresión Triaxial, Tracción Indirecta (Brasileño), CERCHAR y Corte Directo
- Analizar petrográficamente las muestras de las perforaciones BH-250, BH-240, BH-21, BH-19, haciendo énfasis en porcentaje modal, fases minerales, rasgos texturales, microestructuras, e identificación mineral

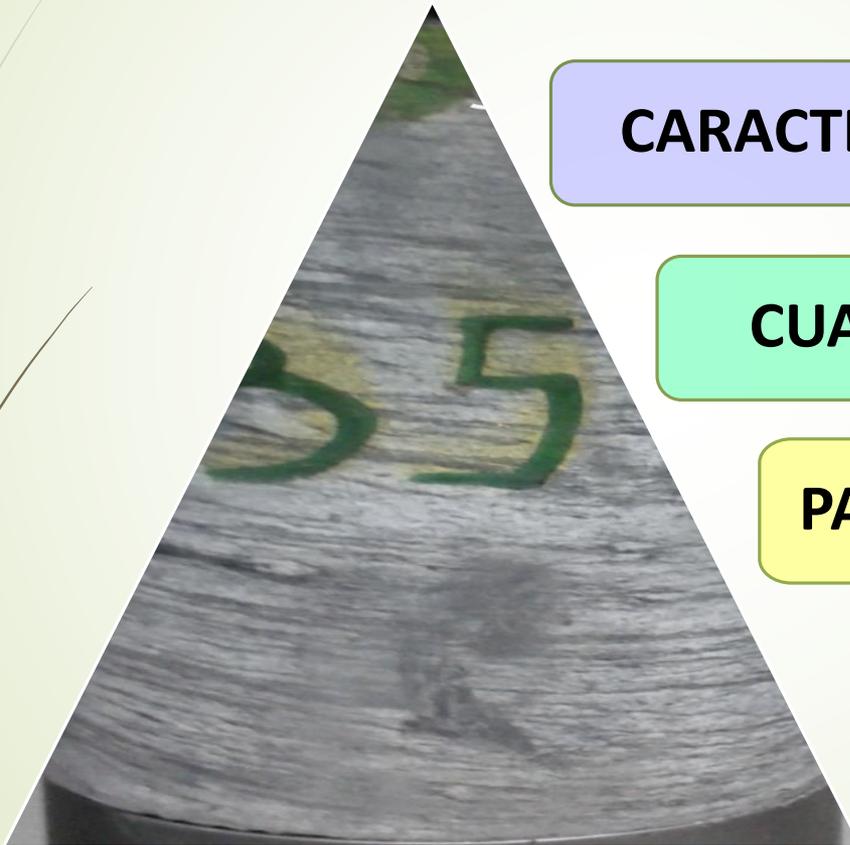
- 
- ▶ Concentrar datos geológicos y geomecánicos en tablas y reportes de laboratorio
 - ▶ Comparar los índices de abrasividad obtenidos mediante índice de Schimazek y ensayo geomecánico (CERCHAR)
 - ▶ Generar el modelo geomecánico de la zona en estudio del macizo rocoso
 - ▶ Analizar las variaciones de los estados de esfuerzo en el macizo rocoso antes, durante y después de la excavación del túnel por el método de los elementos finitos

MARCO TEÓRICO

Esquisto Las Mercedes



ENSAYOS GEOMECAVICOS



CARACTERIZAR

CUANTIFICAR

PARTICULAR - GENERAL

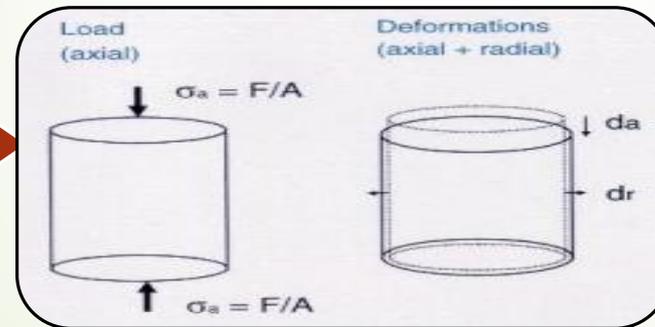
MACIZO ROCOSO

ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL

Objetivo: RESISTENCIA DE COMPRESION NO CONFINADA DE LA ROCA



Probeta cilíndrica (4,7 cm)



Fuerza Máxima
compresión



Ruptura

ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL

ASTM

Condición 1

Razón de la probeta largo / diámetro (2,0-2,5)D:1D



Condición 2

Extremos deben ser paralelos y pulidos



Condición 3

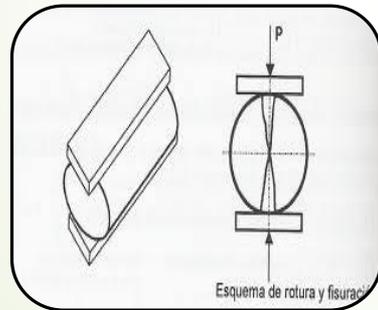
Ancho de la muestra debe ser $10 >$ al tamaño de grano

ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA

Objetivo: DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LA ROCA



Probeta cilíndrica (disco)

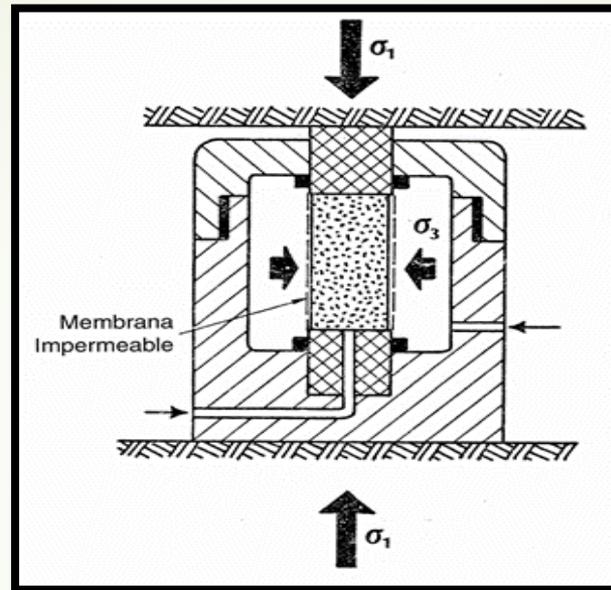


Fuerza de compresión



Ruptura

ENSAYO TRIAXIAL



σ_1 Carga de
manera
uniforme



Esfuerzo lateral σ_3
es aplicada con
aceite a presión



$L/D > 2.5$

ENSAYO TRIAXIAL

Muestra



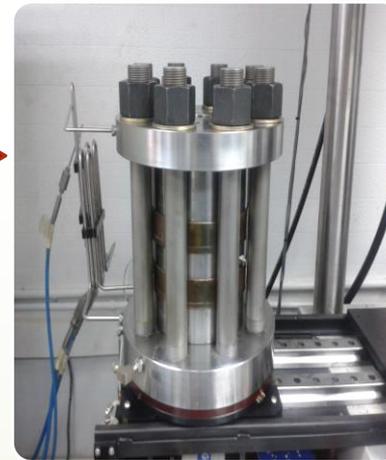
Paso 1

Membrana



Paso 2

Celda



Paso 3

Ruptura



Paso 4

CORTE DIRECTO SERVO-CONTROLADO (RDS-500)

CILINDROS, CUBOS, PRISMAS,
Y FRAGMENTOS DE ROCA

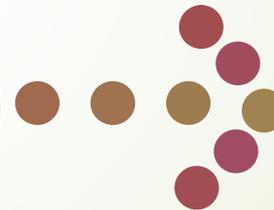


DISCONTINUIDADES



3 ETAPAS

2 MPa, 4MPa, 8Mpa



RESISTENCIA A LA
CIZALLADURA,
COHESIÓN
Y FRICCIÓN

ENSAYO DE CORTE

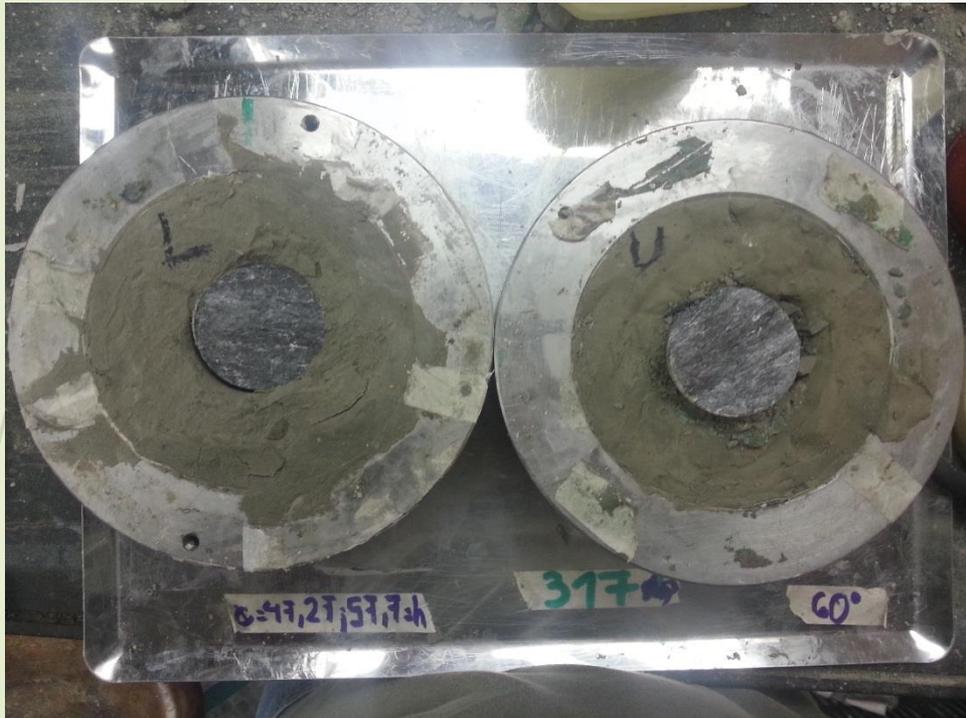


Imagen del sistema de corte directo servo-controlado.

PETROGRAFÍA

Análisis modal



Representativos



Conteo de 360



Valores cuantitativos



- Vetas de cuarzo
- Calcita
- Grafito (Foliación)

METODOLOGÍA



Grafico 3.5.2 Esquema Metodológico Etapa I Y II

METODOLOGÍA

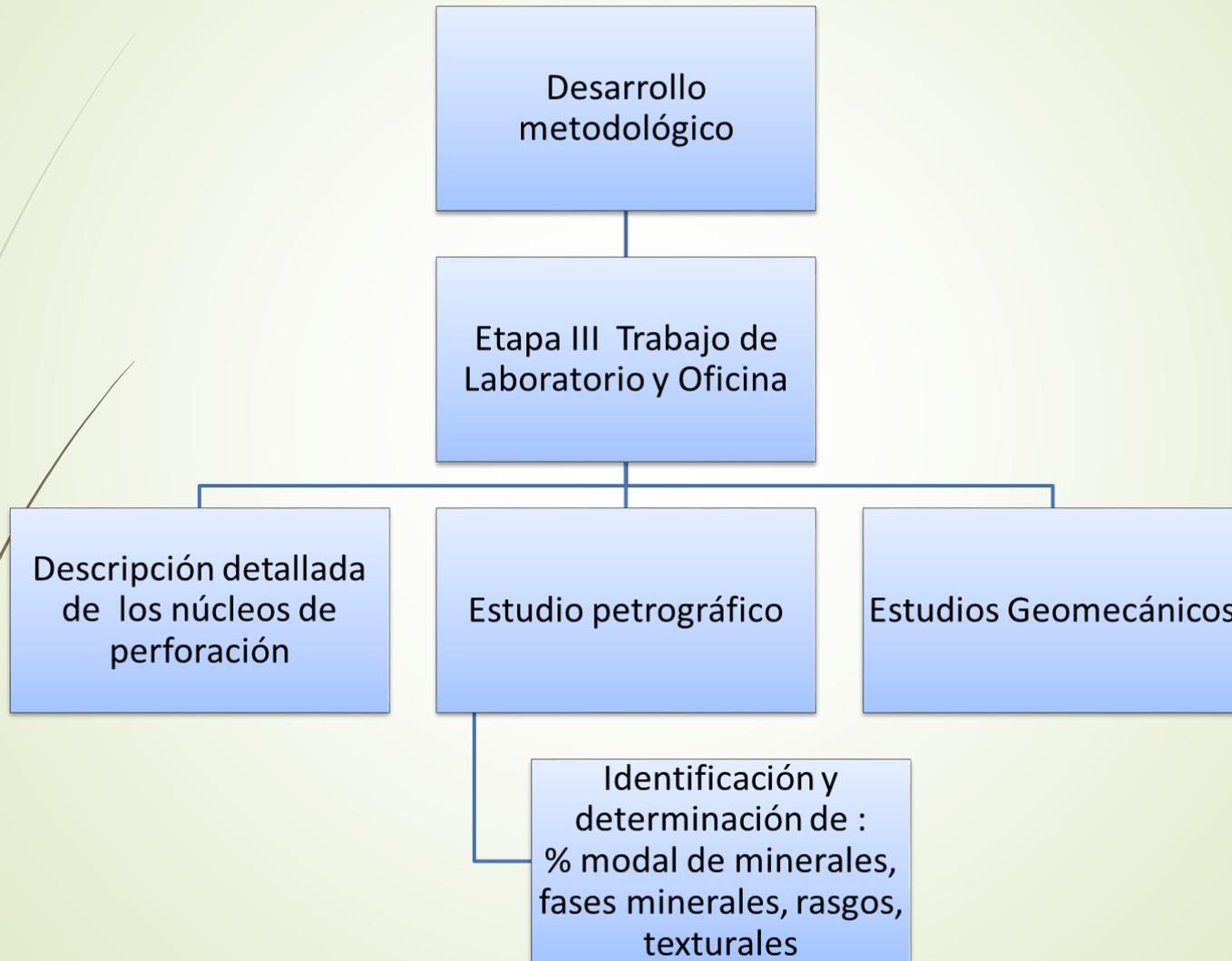


Grafico 3.5.3 Esquema Metodológico Etapa III

METODOLOGÍA



Grafico 3.5.4 Esquema Metodológico Etapa III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Descripción litológica	BH-19
Color predominante	Gris Claro a gris.
Textura	Foliada.
Mineralogía	Cuarzo, plagioclasas, calcita, grafito, micas (muscovita), pirita.
Observaciones	Núcleos de muestras no meteorizadas con venas de calcita (reaccionado al HCL) y cuarzo, paralelas al plano de foliación con ángulo aparente de $16,91^\circ$ y a su vez, moderadamente deformadas (plegadas), el sulfuro de hierro se hace presente en el mineral accesorio Pirita.
Clasificación mineralógica textural	Esquisto Cuarzo Moscovítico Grafitoso Piritico.
Longitud de la Perforación	137 m

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Descripción litológica	BH-21
Color predominante	Gris Claro a gris.
Textura	Foliada.
Mineralogía	cuarzo, plagioclasas, calcita, grafito, micas (muscovita), pirita.
Observaciones	Núcleos de muestras no meteorizadas con venas de calcita (reaccionado al HCL) y cuarzo, paralelas al plano de foliación con ángulo aparente de $12,43^\circ$ y a su vez, moderadamente deformadas (plegadas), el sulfuro de hierro se hace presente en el mineral accesorio Pirita, estos son más oscuros que los esquistos de la perforación BH-19.
Clasificación mineralógica textural	Esquisto cuarzo calcítico moscovítico grafitoso.
Longitud de la Perforación	197 m

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Descripción litológica	BH-240
Color predominante	Gris Claro a gris.
Textura	Foliada.
Mineralogía	cuarzo, plagioclasas, calcita, grafito, micas (muscovita), pirita.
Observaciones	Núcleos de muestras no meteorizadas con venas de calcita (reaccionado al HCL) y cuarzo, paralelas al plano de foliación con ángulo aparente de $23,65^\circ$ y a su vez, moderadamente deformadas (plegadas), abundante presencia de grafito, el sulfuro de hierro se hace presente en el mineral accesorio Pirita.
Clasificación mineralógica textural	Esquisito cuarzo moscovítico grafitoso piritico
Longitud de la Perforación	199 m

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Descripción litológica	BH-250
Color predominante	Marrón claro a gris claro
Textura	Foliada.
Mineralogía	Cuarzo, plagioclasas, calcita, grafito, micas (muscovita), pirita.
Observaciones	Núcleos de muestras frescas claramente meteorizadas con venas de calcita (reaccionado al HCL) y cuarzo, paralelas al plano de foliación con ángulo aparente de $10,63^\circ$ y a su vez, moderadamente deformadas (plegadas), con poca cantidad de grafito, el sulfuro de hierro se hace presente en el mineral accesorio Pirita.
Clasificación mineralógica textural	Esquisto cuarzo moscovítico grafitosos piritico
Longitud de la Perforación	49 m

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO

 RIF: J-00363691-6	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Ensayo de Absorción, Porosidad, PU (Húmedo y Seco)			 RIF: G-20000062-7
	SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO CARACAS – GUARENAS - GUATIRE (STMCGG)			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 1
	L. RODRIGUEZ	C. OLIVEROS	23/02/2014	
NORMAS UTILIZADAS	ISRM	Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption (1979)		
	ASTM	D5731 – 08 - Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications		

PERFORACION	PROFUNDIDAD (m)	Absorción A(%)	Porosidad n(%)	P.U. Humedo γ_h (gr/cm ³)	P.U. Seco γ_d (gr/cm ³)
BH-19	34 - 125	0,58	1,53	2,64	2,63
BH-21	76 - 160	0,61	1,63	2,72	2,70
BH-240	170 - 190	0,63	1,70	2,70	2,68
BH-250	14 - 42	1,18	2,98	2,59	2,56

27-2	BH-19	85,9	0,47	1,26	2,70	2,69
3-2	BH-19	102	0,69	1,69	2,45	2,44
24-4	BH-19	123,95	0,67	1,78	2,68	2,66
363	BH-250	13,00	1,12	2,85	2,56	2,54
364	BH-250	46,3	0,94	2,48	2,68	2,65
505-1	BH-250	16,46	0,91	2,36	2,61	2,59
502	BH-250	16,22	1,73	4,26	2,50	2,45
239	BH-240	185,64	0,13	0,36	2,69	2,68
233	BH-240	183,73	0,96	2,51	2,64	2,61
237-3	BH-240	185,34	0,96	2,59	2,74	2,71
246-2	BH-240	189,31	0,50	1,35	2,73	2,72

CONTEO MODAL

Perforación / Prof. (m)	% Mineral					
	Cuarzo %	Calcita %	Grafito %	Muscovita %	Oligoclasa %	Pirita %
BH-19 / 10 – 117 m	21 - 31 %	27 - 54 %	3 - 22 %	7 - 28 %	0 - 2 %	0 - 4 %
BH-21 / 50 – 178 m	20 - 72 %	5 - 40 %	0 - 22 %	11 - 34 %	0 - 1,5 %	0 - 4 %
BH-240 / 100 - 190 m	7 - 60 %	0 - 60 %	1 - 21 %	0 - 27 %	0 - 9 %	0 - 9 %
BH-250 / 40 - 46 m	26 - 41 %	32 - 44 %	5 - 7 %	19 - 23 %	0%	0%

BH-250 Box 7 44,5 - 46,0 m	80,0	26,7	134,0	44,7	16,0	5,3	70,0	23,3	0,0	0,0	300,0	100,0
-------------------------------	------	------	-------	------	------	-----	------	------	-----	-----	-------	-------

PORCENTAJE MODAL GENERAL DE CUARZO

Las 4 perforaciones oscilan en un rango de valores de 26 – 43 % de mineral abrasivo y un promedio de 35 % lo que evidencia una alta abrasividad del macizo en toda su trayectoria, lo que tendrá efectos considerables sobre los elementos cortantes de la TBM al excavar el túnel.

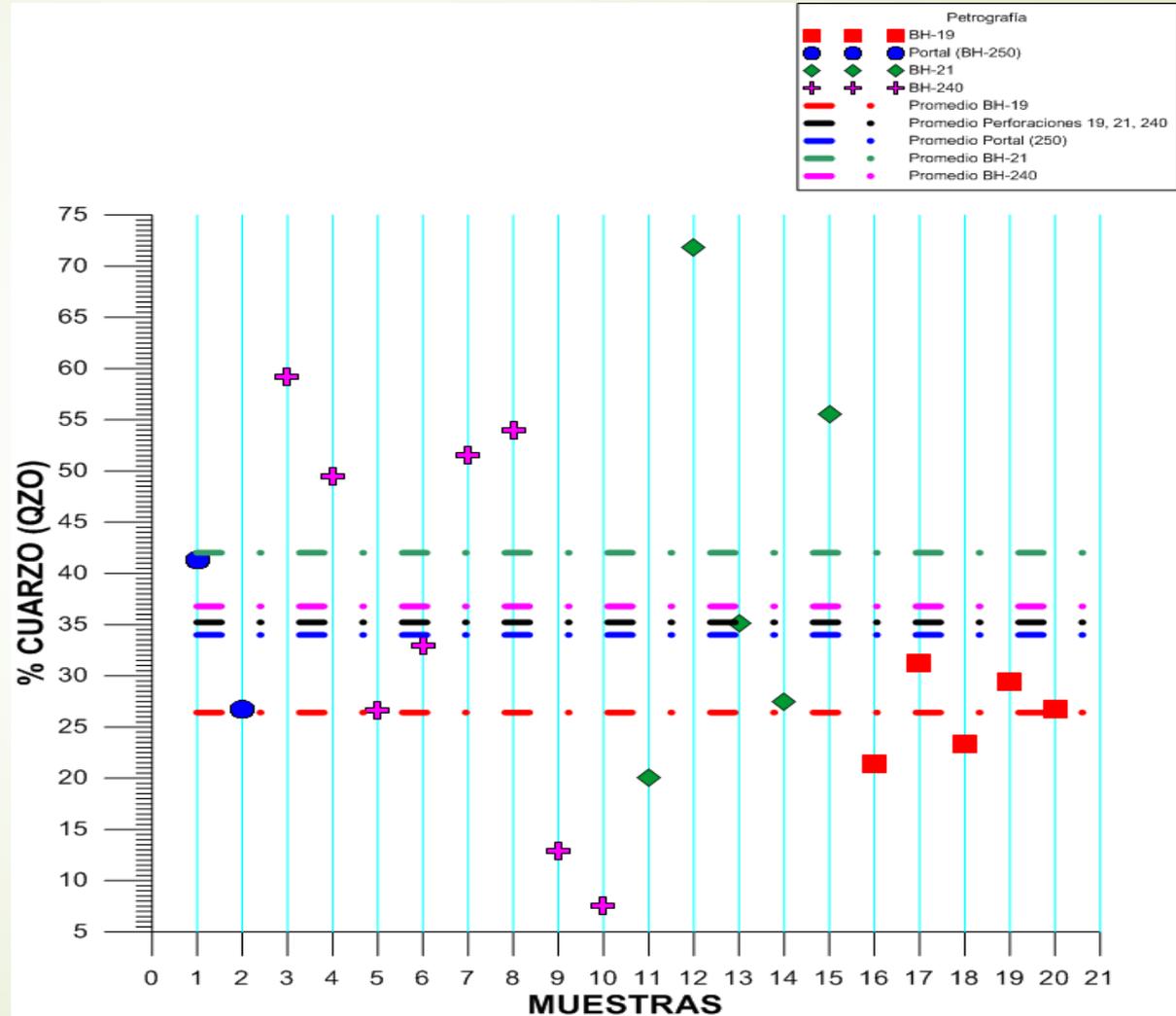


Gráfico 4.3.1. Resultado General del porcentaje modal del mineral de cuarzo de las perforaciones BH-240, BH- 250, BH-19, BH-21

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

Perforación	Nº Muestra	Resistencia a la Tracción (MPa)	Resistencia a la Compresión (MPa)
BH-240	218-1	-6.27	18.82
BH-240	232-1	-4.09	12.26

PERFORACION	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Mpa)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)
BH-19	-8,94	26,83
BH-21	-8,38	25,16
BH-240	-6,32	18,94
BH-250	-2,88	8,65

BH-21	9-4	-8.05	19.94
BH-21	9-5	-11.69	35.07
BH-250	501-2	-6.84	20.51
BH-250	503	-2.64	7.91
BH-250	504	-3.36	10.09
BH-250	510-1	-0.92	2.75
BH-250	510-2	-0.67	2.00

Tabla 4.4.1. Resultados del Ensayo Brasilerio.

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

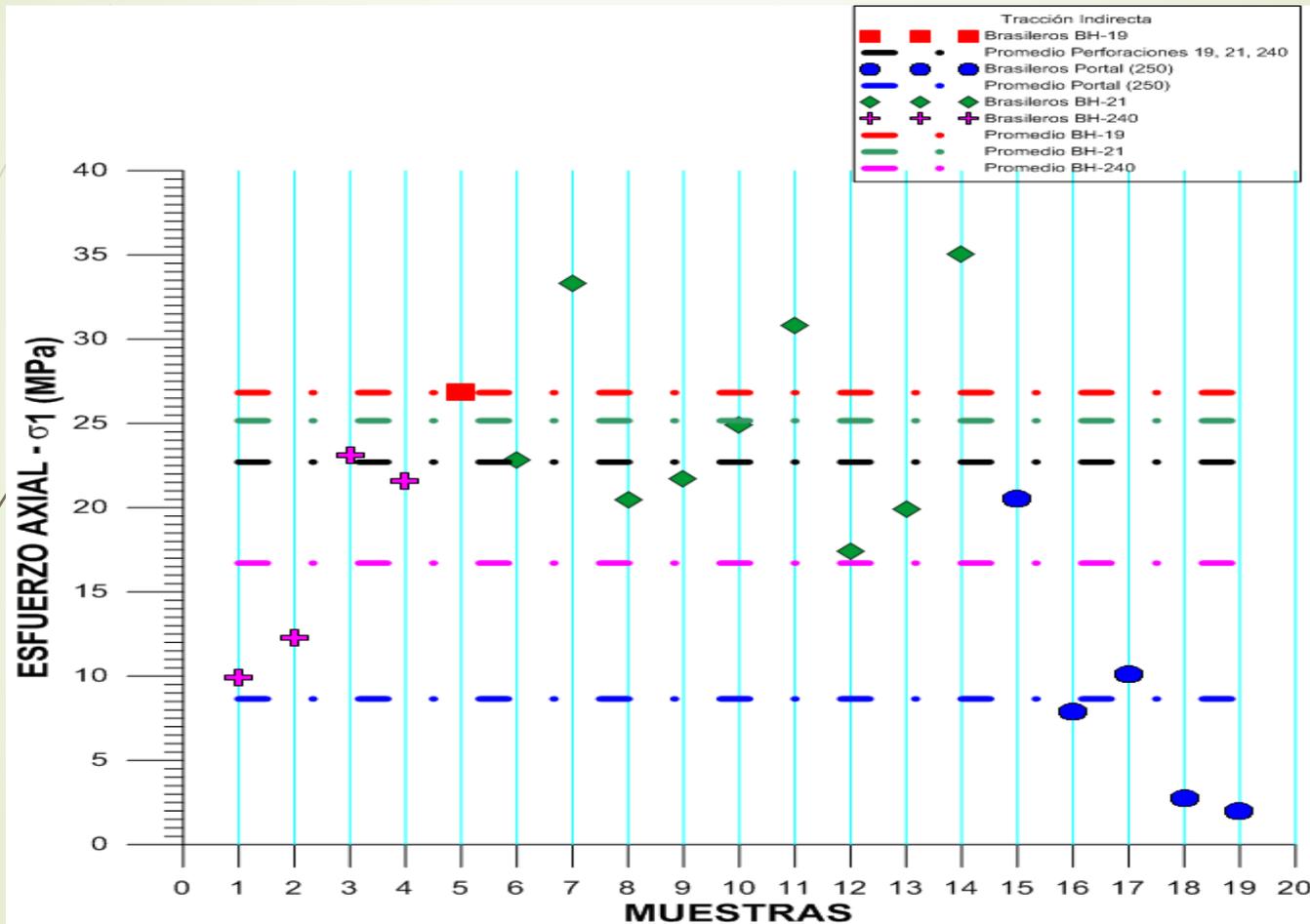


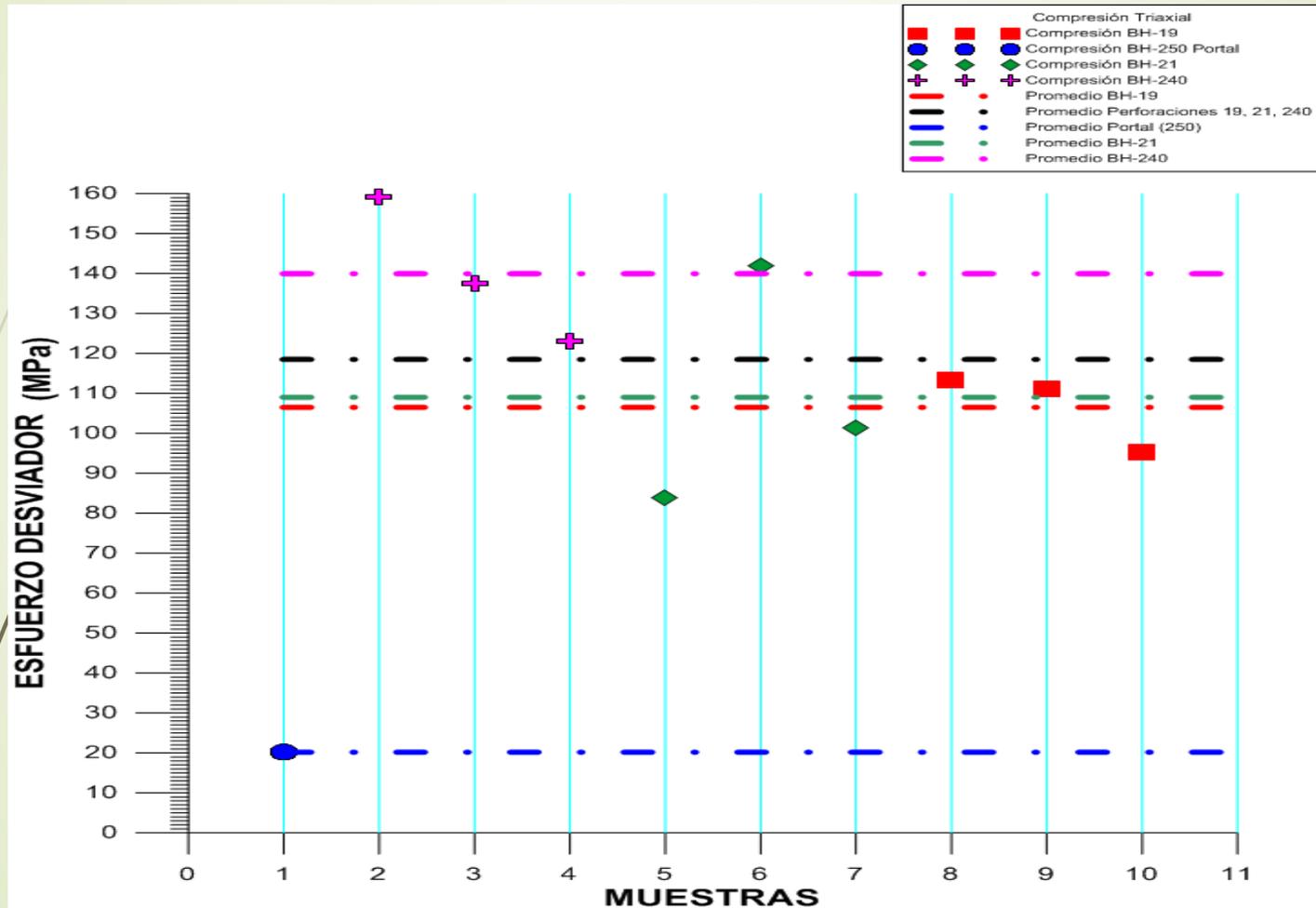
Gráfico 4.4.1. Resultado General los Ensayos de Tracción Indirecta (Esfuerzo axial vs Muestras) de las perforaciones BH-240, BH- 250, BH-19, BH-21.

ENSAYO TRIAXIAL

Ensayo de Compresión Triaxial					
Ensayo de Compresión Triaxial					
Perforación	Esfuerzo Desviador Pico (MPa)	Deformación Axial Pico (%)	Sigma 3	Sigma 1	
BH-250	20,19	3,504	6.293	26.46	
BH-240	139,94	2,71	36.21	176,16	
BH-21	111,15	2	31,59	142,74	
BH-19	106,5	1,67	23.12	129,63	
BH-19	29-1	95.13	2,273	23.2	118.34
BH-19	24-2	111.06	1,36	23.04	134.1
BH-19	19-1	113.33	1,392	23.12	136.46

Tabla 4.4.2. Resultados del ensayo Triaxial.

ENSAYO TRIAXIAL



Grafica 4.4.2. Resultado General los Ensayos de Triaxial (Esfuerzo axial vs Muestras) de las perforaciones BH-240, BH-250, BH-19, BH-21

ENSAYO COMPRESIÓN UNIAXIAL

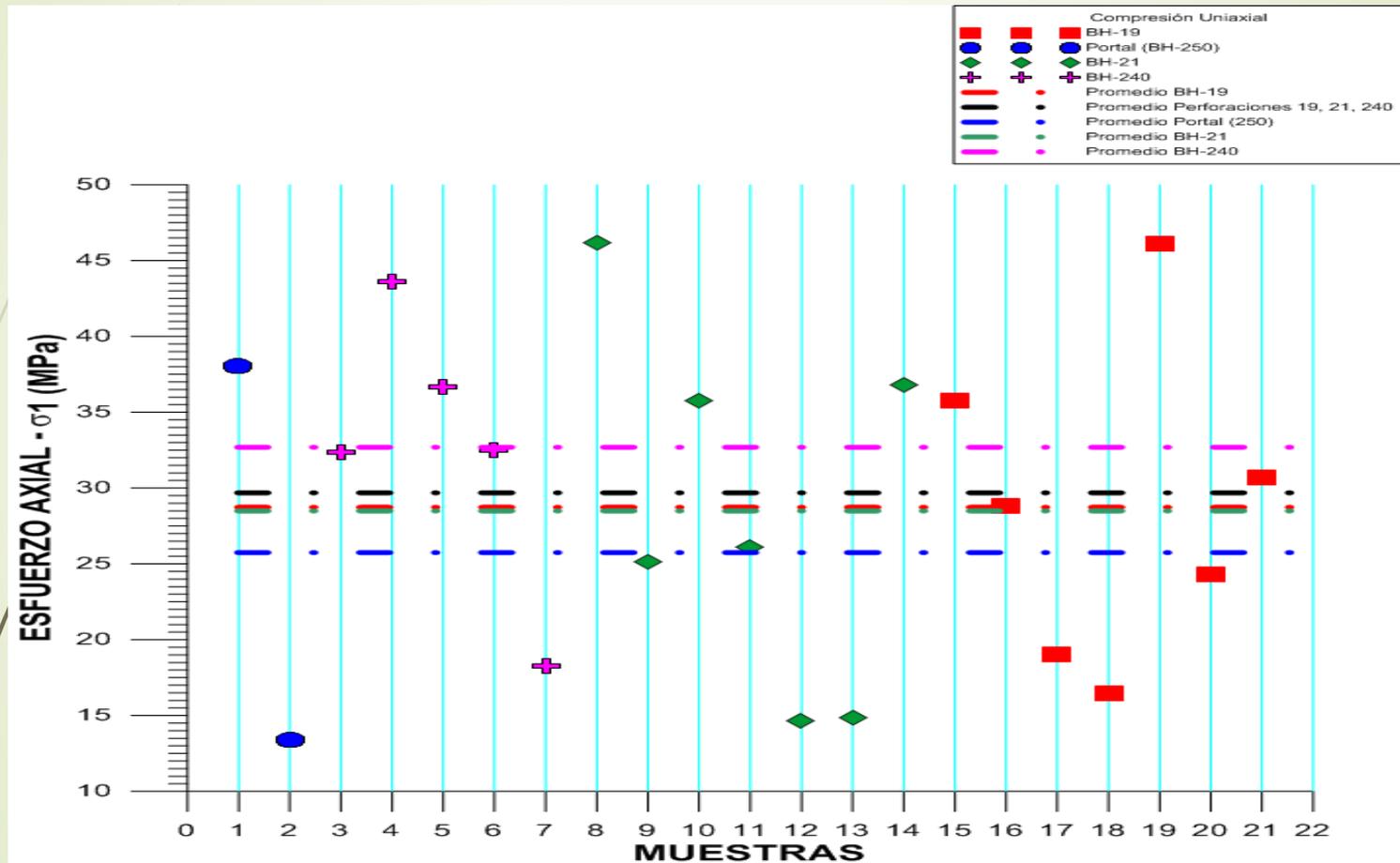
Ensayo de Compresión Uniaxial					
Perforación	N° de Muestra	Esfuerzo Axial Pico (MPa)	Deformación Axial Pico (%)	Módulo de Elasticidad Tangente (50%) GPa	Módulo de Elasticidad Secante (50%) GPa

Perforación	Esfuerzo Axial Pico (MPa)	Deformación Axial Pico (%)	Módulo de Elasticidad Tangente (50%) GPa	Módulo de Elasticidad Secante (50%) GPa
BH-250	25,74	0,73	9,07	3,39
BH-240	32,69	0,42	15,44	7,51
BH-21	28,49	1,58	1,33	1,24
BH-19	28,73	1,38	1,53	1,32

BH-19	21-1	19.04	1.87	0.43	0.64
BH-19	22-1	16.46	1.73	0.45	0.67
BH-19	23-1	46.08	1.22	2.58	2.44
BH-19	24-3	24.29	1.50	0.93	1.07
BH-19	25	30.69	1.46	1.49	1.35

Tabla 4.4.3. Resultados del Ensayo de Compresión Uniaxial.

ENSAYO COMPRESIÓN UNIAXIAL



Grafica 4.4.3. Resultado General los Ensayos de Compresión Uniaxial (Esfuerzo axial vs Muestras) de las perforaciones BH-240, BH- 250, BH-19, BH-21

ENSAYO DE CORTE

Ensayo de Corte Directo								
Perforación	Nº de Muestra	Etapas	S_n	t	Sigma 3	Sigma 1	Cohesión	Angulo de fricción
BH-240	222	1	2.22	5.13	-2.90	7.35	5.14	4.67
		2	4.41	5.79	-1.37	10.20		
		3	8.74	5.75	2.98	14.50		
BH-240	244	1	2.10	4.22	-2.11	6.33	3.12	29.69
		2	4.43	5.83	-1.39	10.26		
		3	7.48	7.31	0.16	14.79		
BH-250	506	1	2.16	1.19	0.96	3.66	0.86	9.97
		2	2.14	1.28	0.86	3.42		
		3	4.28	1.61	2.66	5.75		
		4	8.54	2.21	6.33	10.7		

Tabla 4.4.4. Resultados Corte Directo

MÉTODO DE SCHIMAZEK

Perforaciones	Q (%)	d50%(mm)	$\sigma T(N/mm^2)$	F(N/mm)	F (kp/cm)	Rozabilidad
BH-19	26.42	0.40	8.94	0.94	0.96	Muy mala
BH-21	42.02	0.15	8.39	0.53	0.54	Regular
BH-240	36.78	0.18	6.31	0.41	0.42	Moderada
BH-250	34.00	0.20	2.88	0.20	0.20	Muy buena

Tabla 4.5.1. Resultados de abrasividad obtenidos por el método Schimazek

Contenido de cuarzo equivalente (Q)
Diámetro medio de cuarzo (d50%)
Resistencia tracción (σT)
Coefficiente de abrasividad (F)

Abrasividad F (kp/cm)	Clasificación
0.2-0.3	Muy buena
0.3-0.4	Buena
0.4-0.5	Moderada
0.5-0.6	Regular
0.6-0.8	Mala
0.8-1.0	Muy mala

ENSAYO DE ABRASIVIDAD MÉTODO (CERCHAR)

Abrasividad Método CERCHAR			
Perforación	# de Muestra	Índice de Abrasividad	Abrasividad
BH-250	511	2.10	Alta
BH-250	508	4.50	Extremada
BH-250	507	2.90	Alta
BH-240	246-1	1.10	Media
BH-240	243-2	3.20	Alta
BH-240	237-2	2.40	Alta
BH-21	10	3.10	Alta
BH-21	11-1	2.60	Alta
BH-21	12	3.40	Alta
BH-19	19	3.00	Alta
BH-19	24	3.10	Alta
BH-19	29	3.40	Alta
PROMEDIO		2.90	Alta

Tabla 4.5.2. Resultados de abrasividad obtenidos por el método Cerchar

CRITERIO PARA EL ÍNDICE DE ABRASIVIDAD CERCHAR	
ABRASIVIDAD	CAI
MUY BAJA	0.30 – 0.50
BAJA	0.50 – 1.00
MEDIA	1.00 – 2.00
ALTA	2.00 – 4.00
EXTREMADA	4.00 – 6.00
CUARCÍTICO	6.00 – 7.00

Tabla 4.5.3. Criterio de abrasividad para el método Cerchar

COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS SCHIMAZEK Y CERCHAR

- La perforación BH-250 tiene una rozabilidad muy buena según el método Schimazek, una baja abrasividad que no es correspondiente con la abrasividad arrojada por el método CERCHAR.
- La divergencia de ambos métodos está asociada a la meteorización ejercida por los agentes exógenos, causando una baja resistencia a la tracción, que al ser tan baja produce cambios notorios en este índice de rozabilidad.
- Por lo tanto en rocas intactas como las perforaciones BH-19, BH21, Y BH-240 se recomienda utilizar el método Cerchar por su rapidez y efectividad, pero, en rocas altamente descompuestas es mejor el método Schimazek ya que evalúa más a detalle los parámetros geológicos y su composición.
- En rocas no expuestas a agentes exógenos es mejor Cerchar.

MO

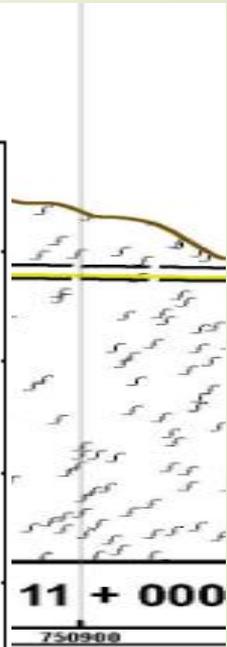
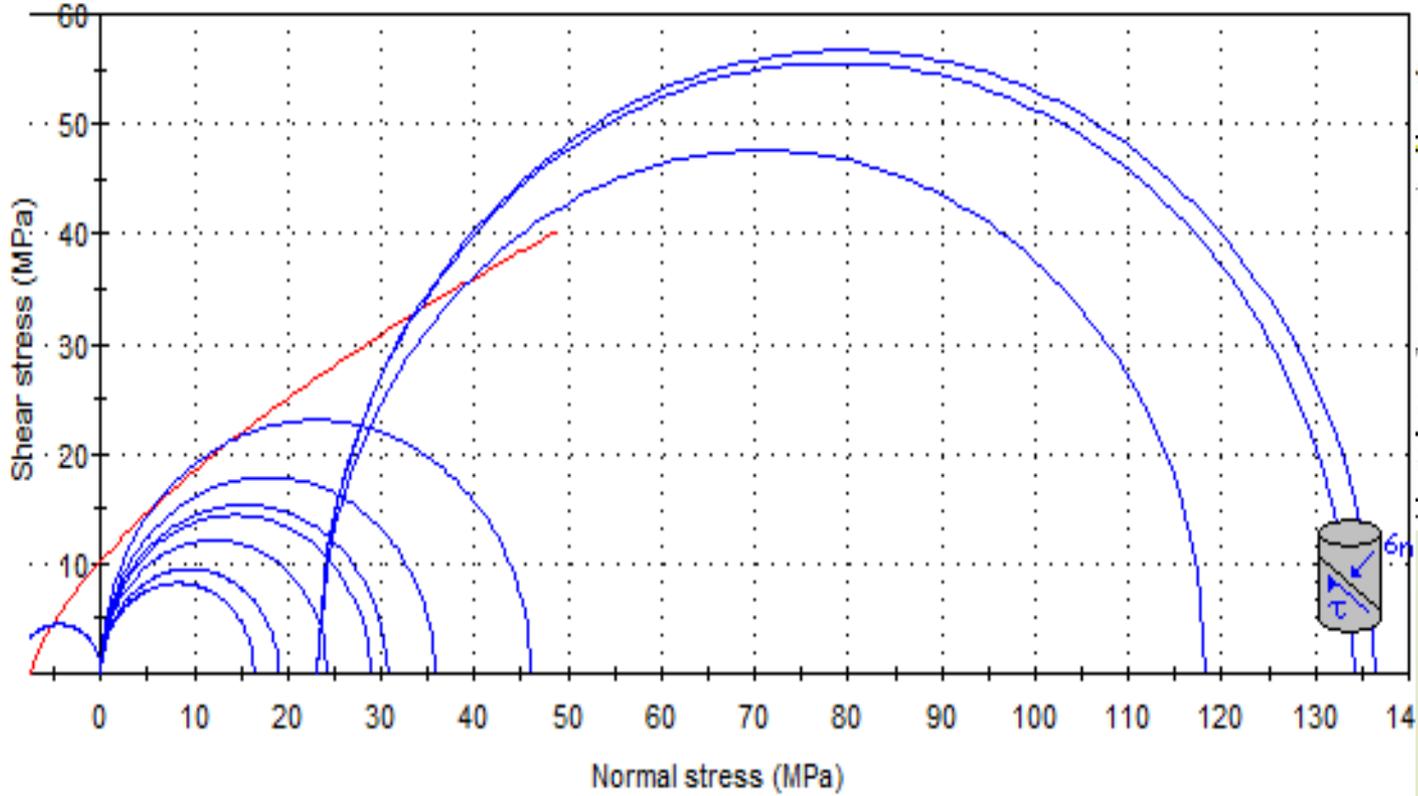
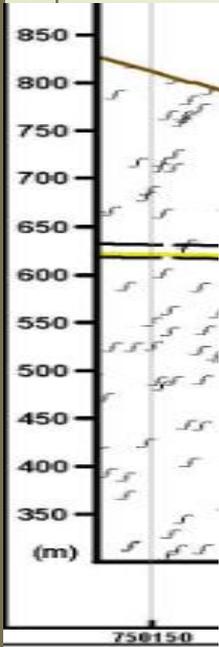
M. LABORATORIO

MACIZO ROCOSO

Parámetros

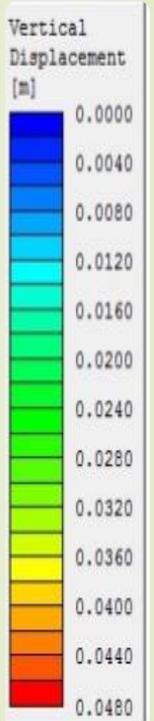
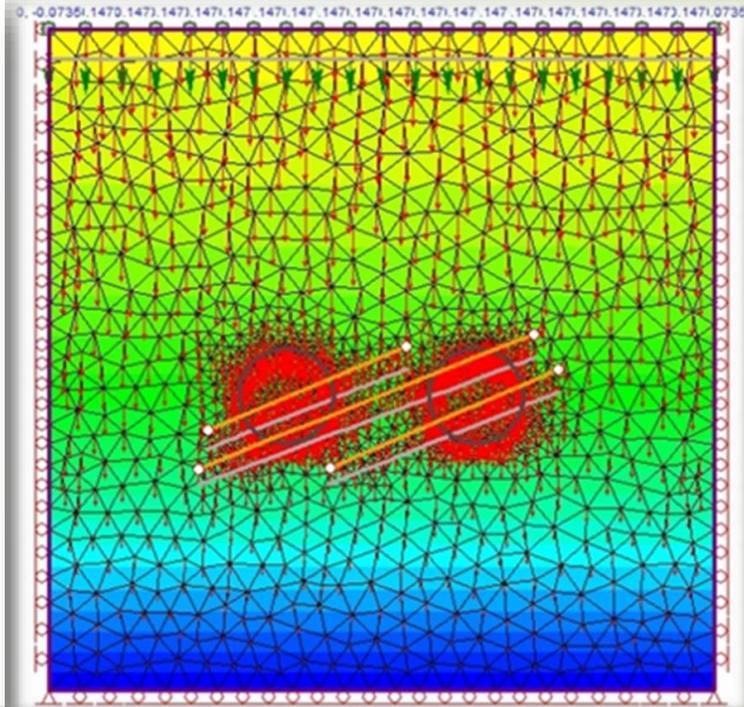
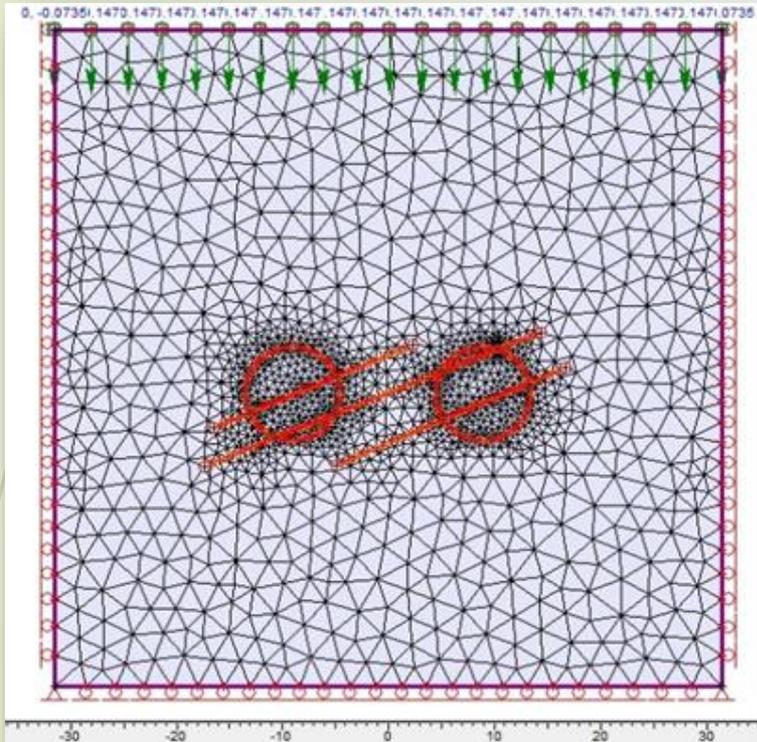
Parámetros		
Perforación	Nomenclatura	BH-19
Profundidad (m)	P	(85.90-102.00)
Porosidad n (%)	n	1.52
Absorción A (%)	A	0.58
P. Unitario húmedo (gr/cm ³)	ρ _h	2.64
P. Unitario seco (gr/cm ³)	ρ _s	2.63
Resistencia a la compresión (MPa)	σ _c	43.798
Resistencia a la tracción (MPa)	σ _t	-7.519
Cohesión (MPa)	C	11.255
Angulo de fricción (deg)	Φ	32.40
Abrasividad cerchar	-	Alta
Resistencia I.S.M.R	-	Moderada

MECÁNICO



ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-19

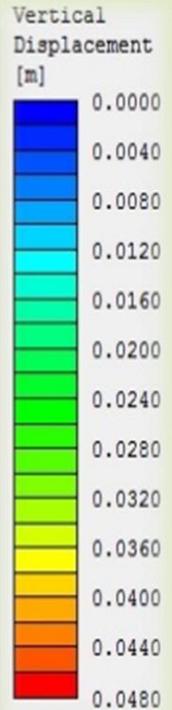
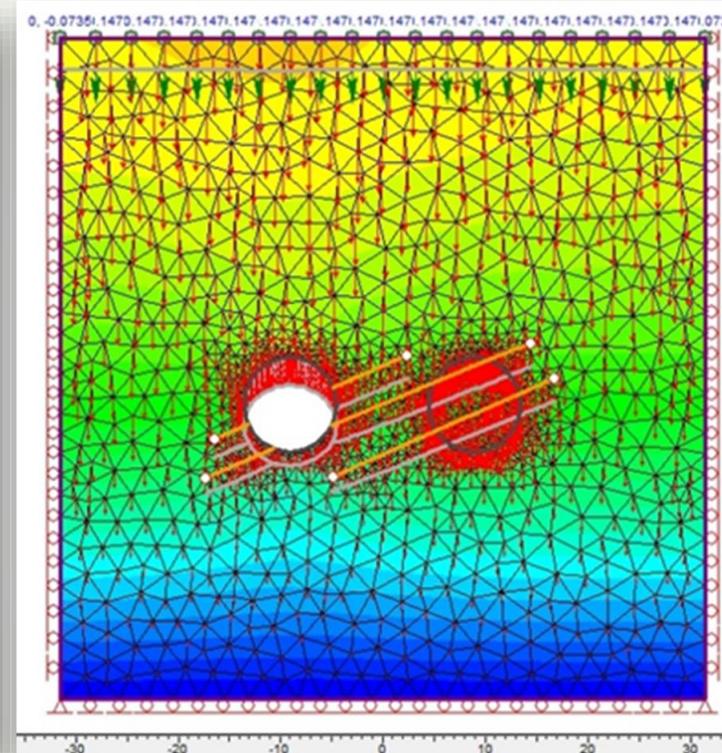
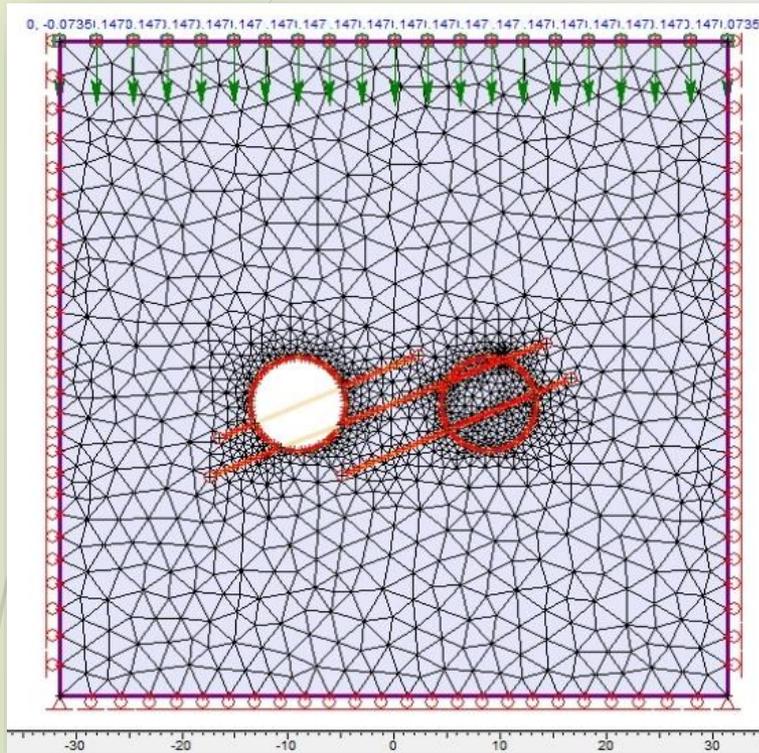
Etapa 1 Mallado y túneles gemelos (Sin Excavar)



Lugar	Desp. Vertical
Encima	28 mm
Lateral	24 mm
Debajo	20 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-19

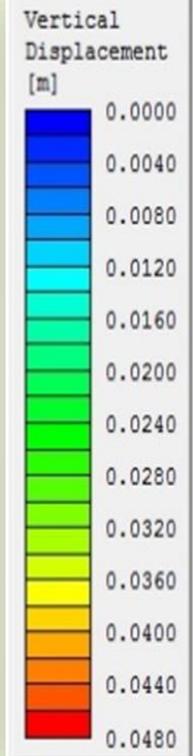
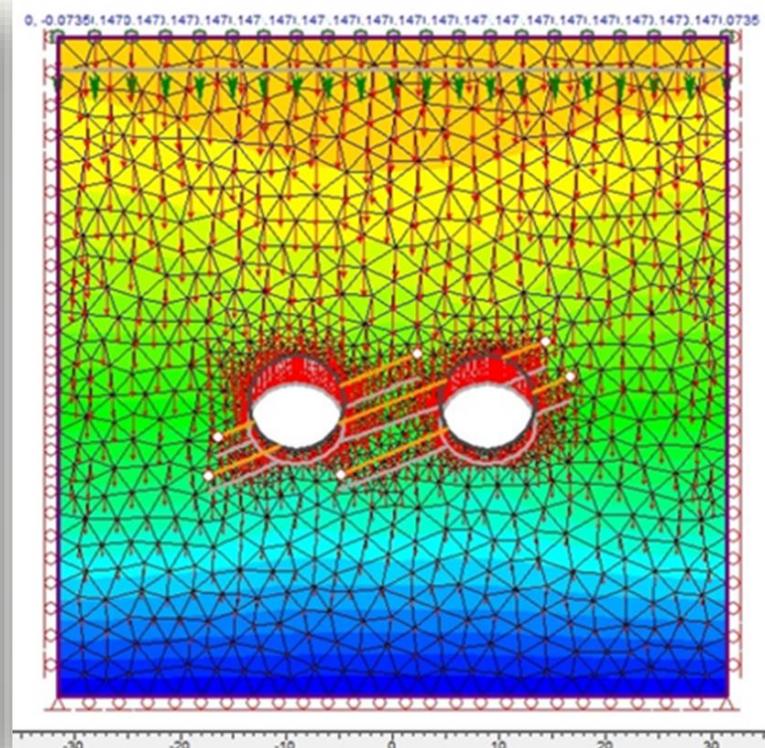
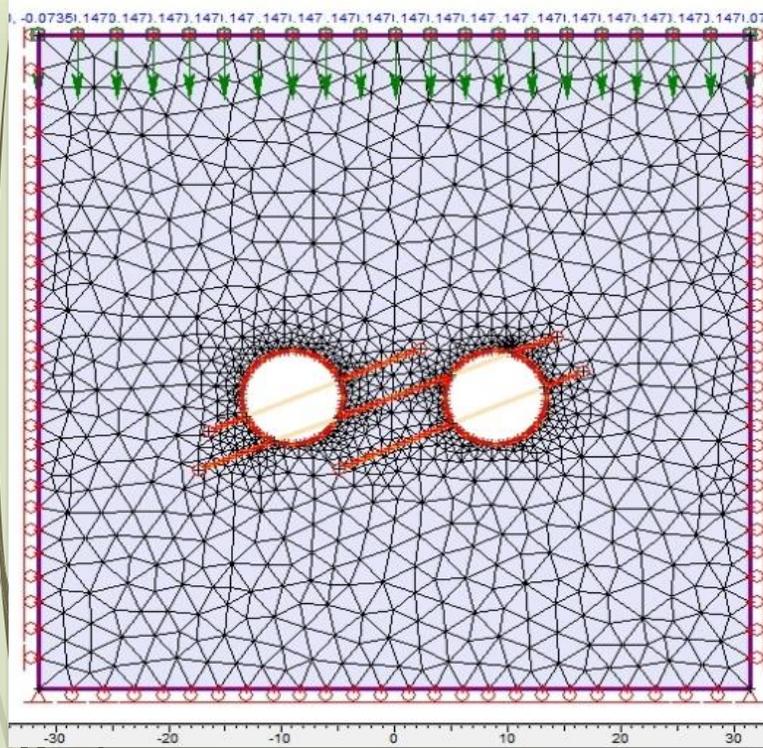
Etapa 2 Mallado y Primer túnel (Excavado)



Lugar	Desp.Vertical
Encima	32 mm
Lateral	26 mm
Debajo	16 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-19

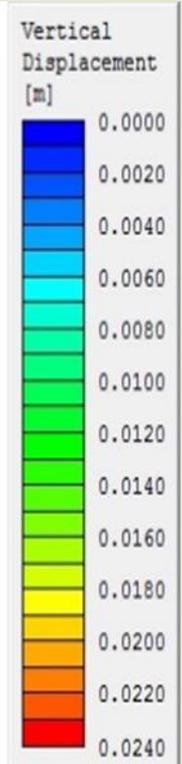
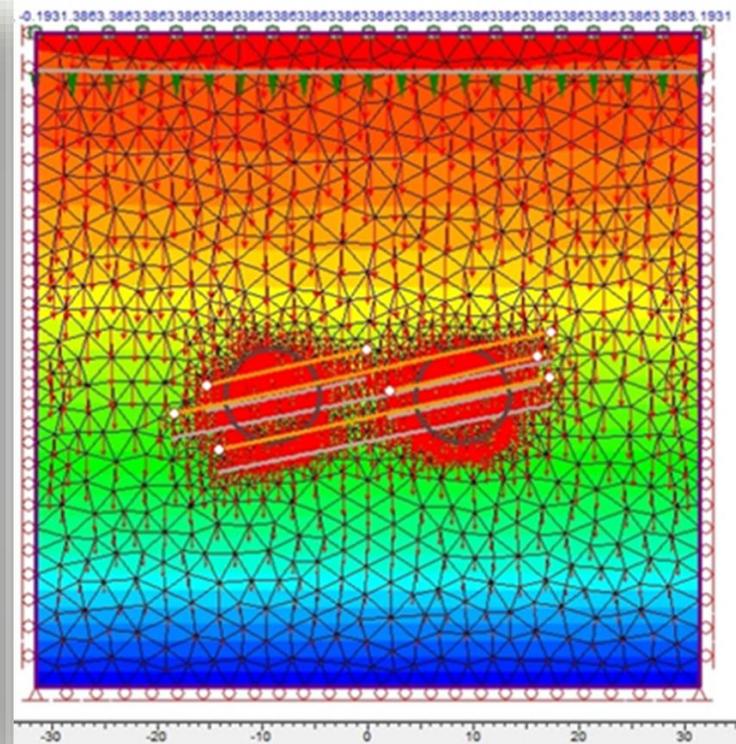
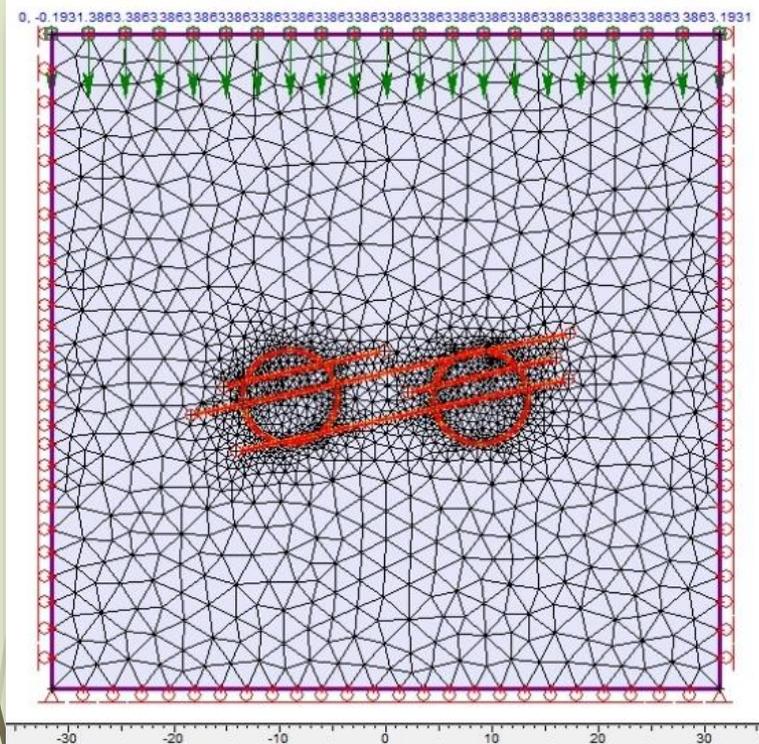
Etapa 3 Desplazamiento Vertical (Excavados)



Lugar	Desp. Vertical
Encima	34 mm
Lateral	26 mm
Debajo	16 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-21

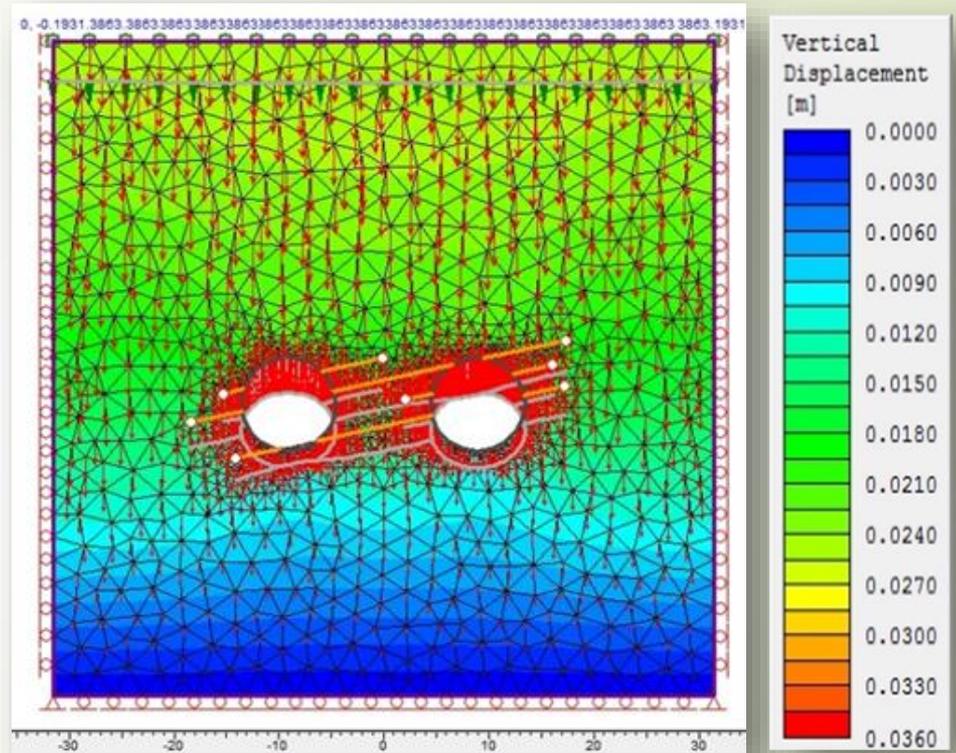
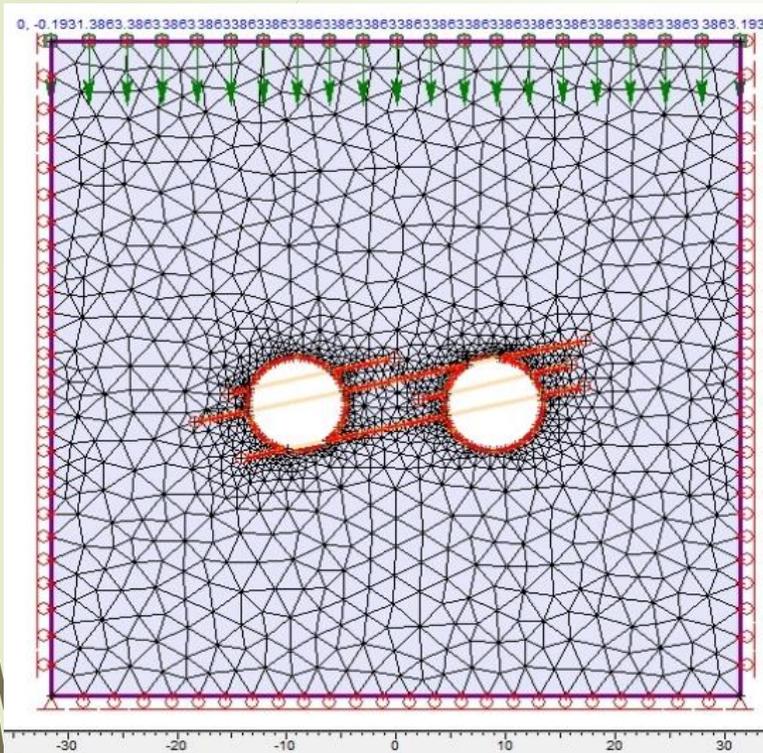
Etapa 1 Mallado y túneles gemelos (Sin Excavar)



Lugar	Desp. Vertical
Encima	17 mm
Lateral	15 mm
Debajo	13 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-21

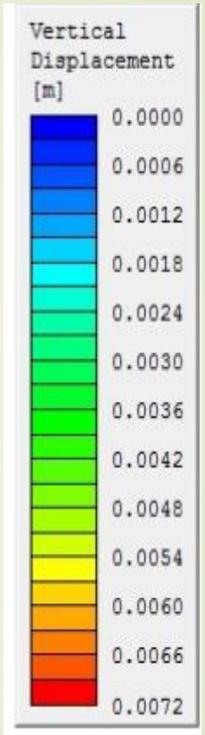
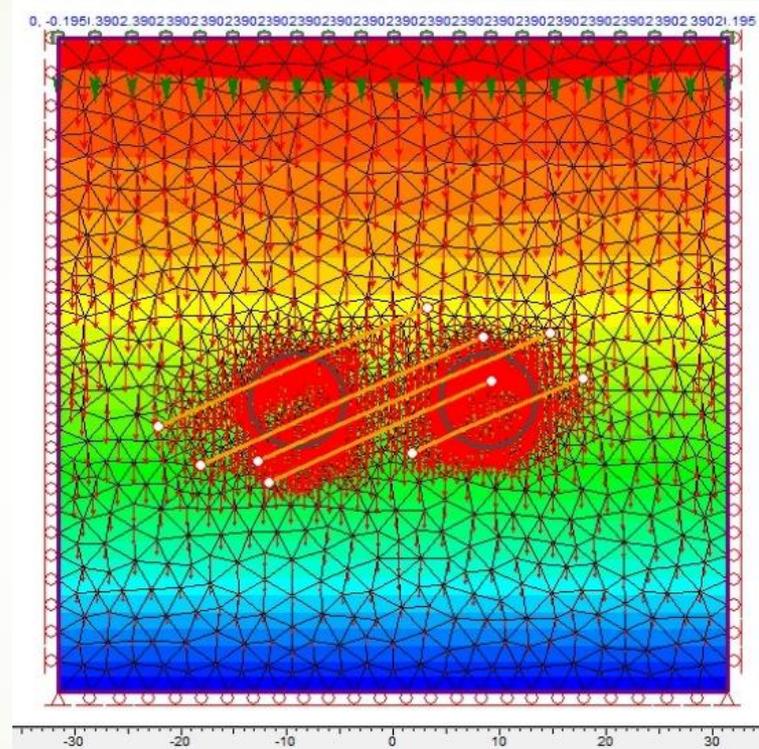
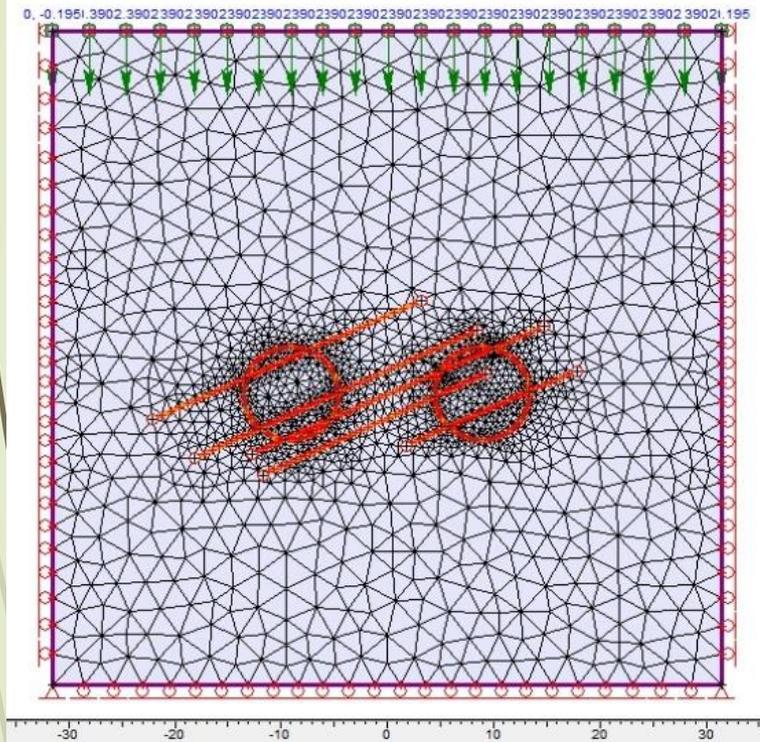
Etapa 3 Desplazamiento Vertical (Excavados)



Lugar	Desp.Vertical
Encima	21 mm
Lateral	15 mm
Debajo	10 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-240

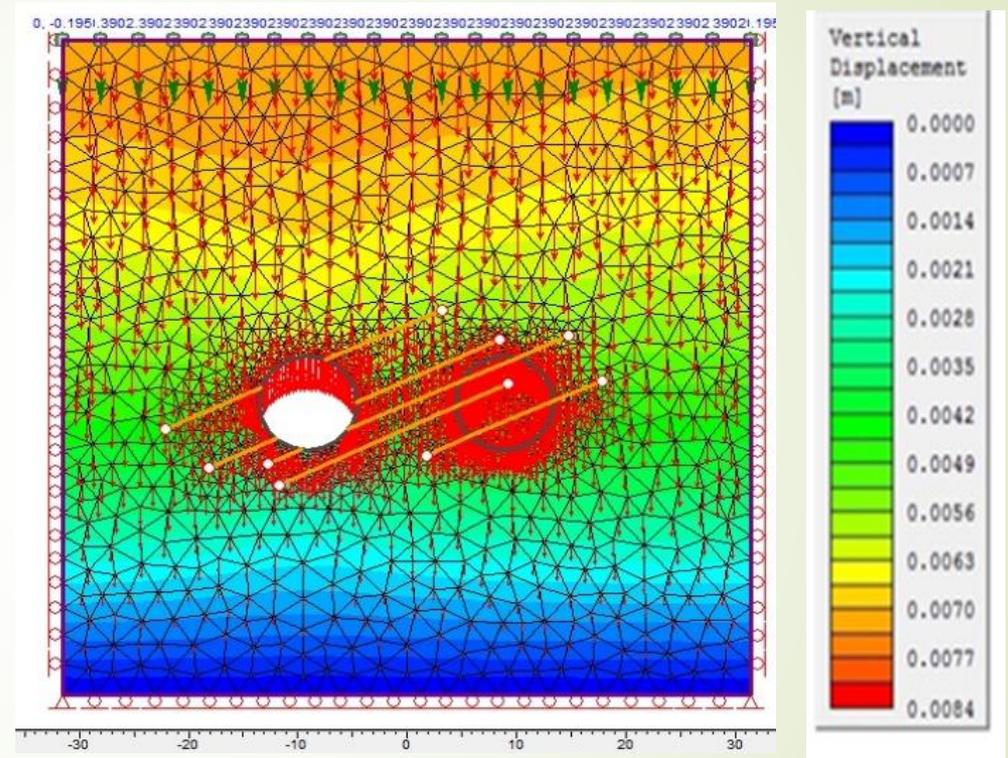
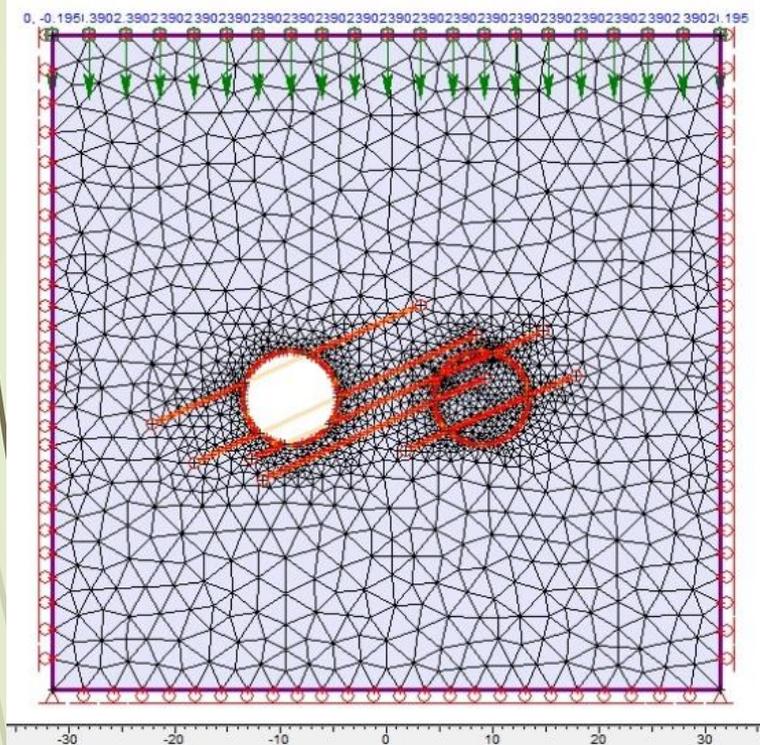
Etapa 1 Mallado y túneles gemelos (Sin Excavar)



Lugar	Desp. Vertical
Encima	5 mm
Lateral	4.5 mm
Debajo	3.9 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-240

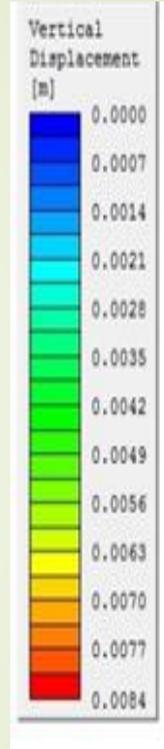
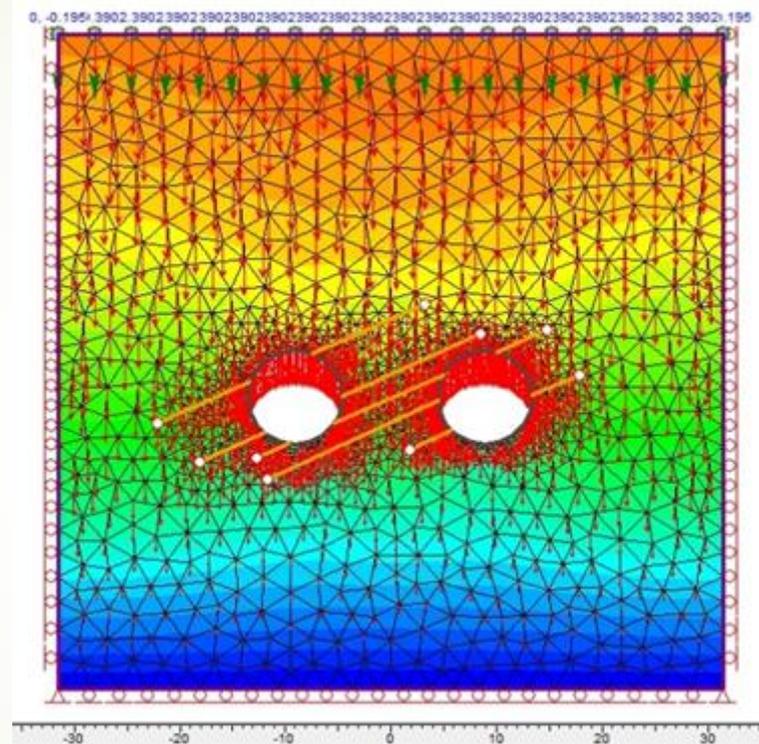
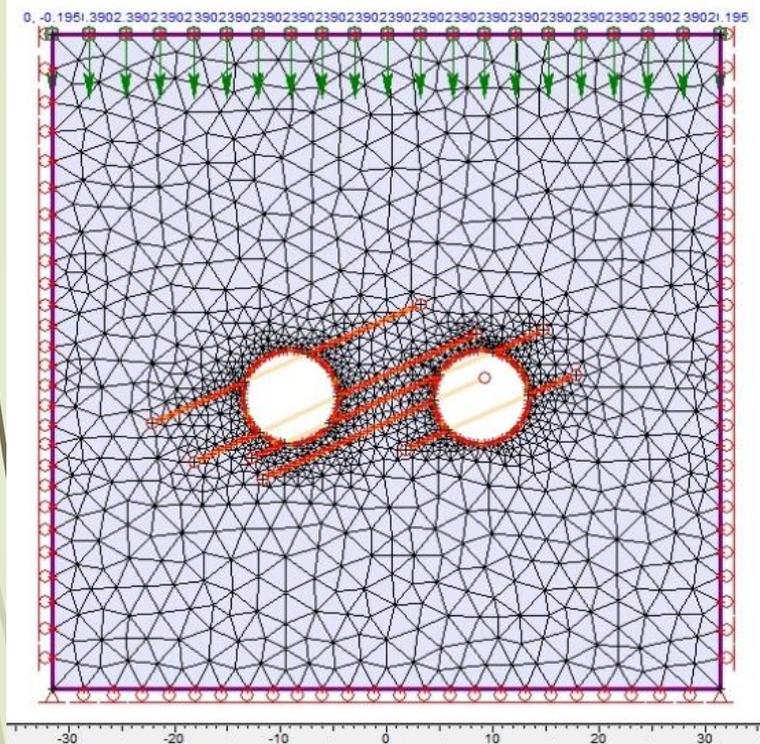
Etapa 2 Mallado y Primer túnel (Excavado)



Lugar	Desp. Vertical
Encima	6.3 mm
Lateral	4,9 mm
Debajo	3.2 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-240

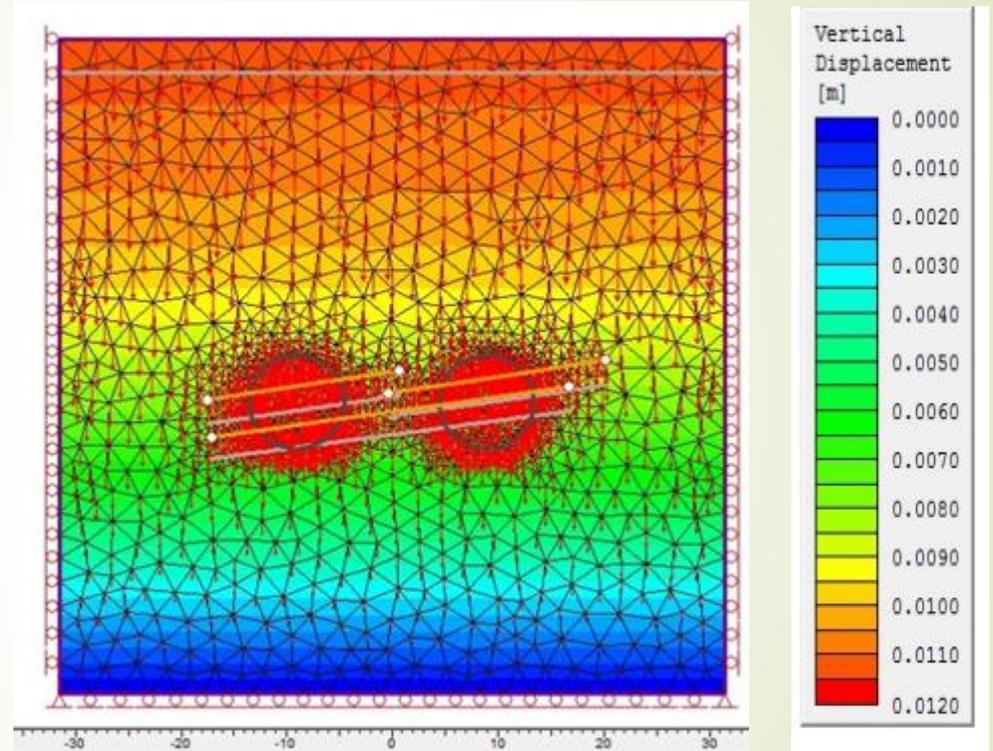
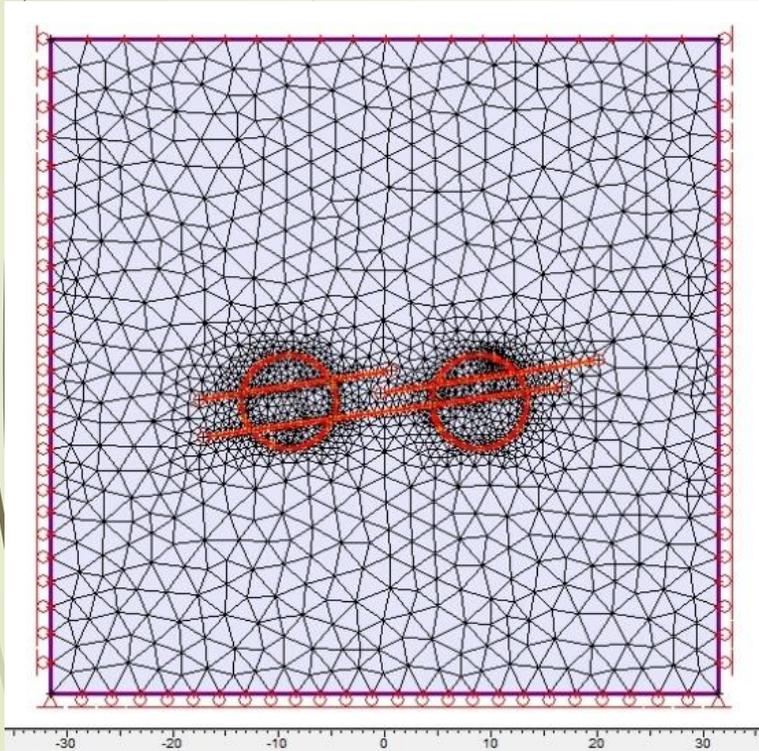
Etapa 3 Desplazamiento Vertical (Excavados)



Lugar	Desp. Vertical
Encima	6.3 mm
Lateral	4.9 mm
Debajo	3.2 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-250

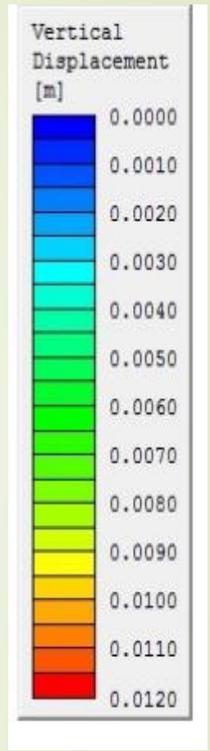
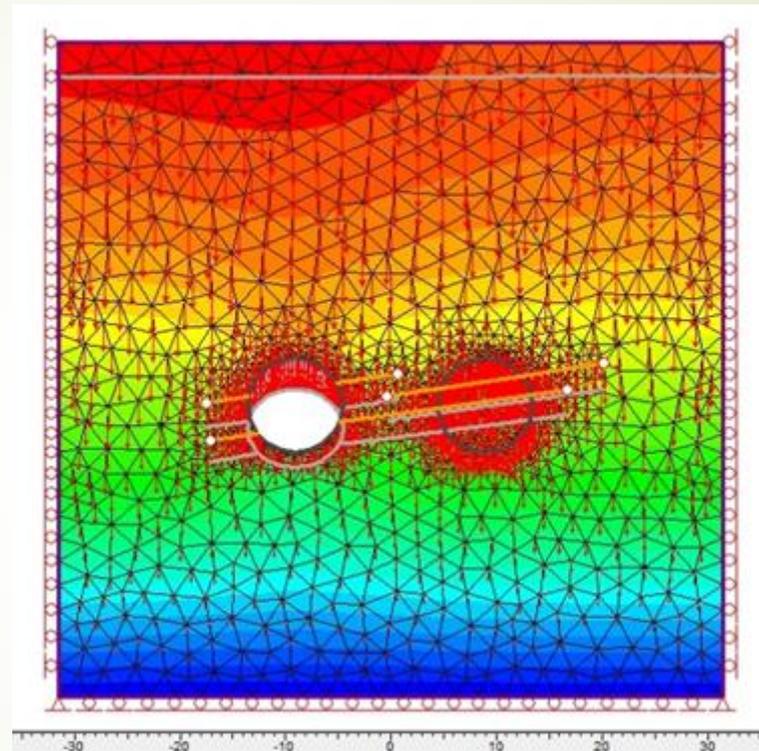
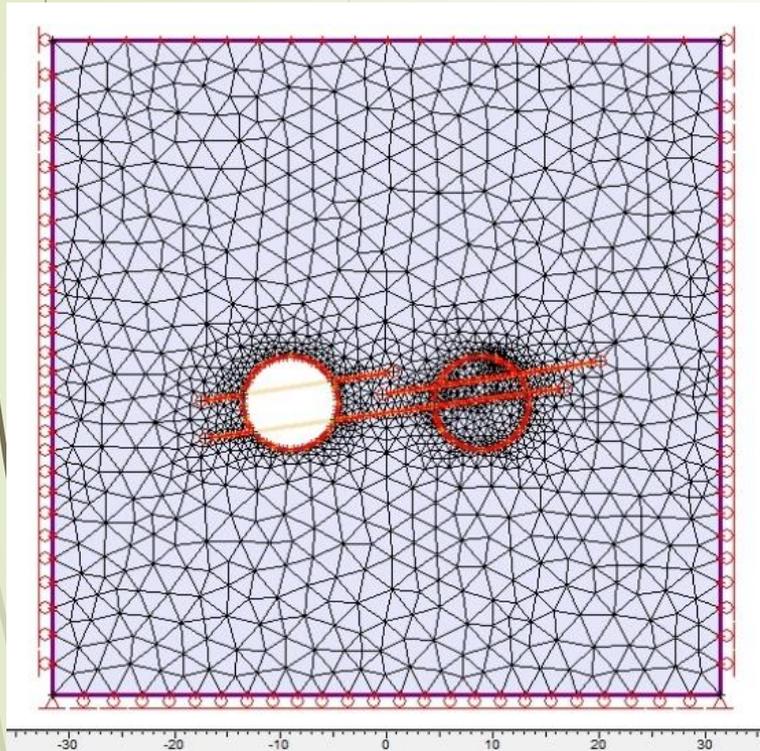
Etapa 1 Mallado y túneles gemelos (Sin Excavar)



Lugar	Desp. Vertical
Encima	8.5 mm
Lateral	7.5 mm
Debajo	6.5 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-250

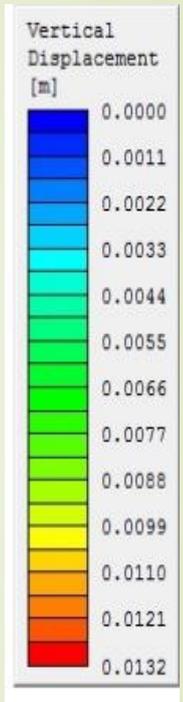
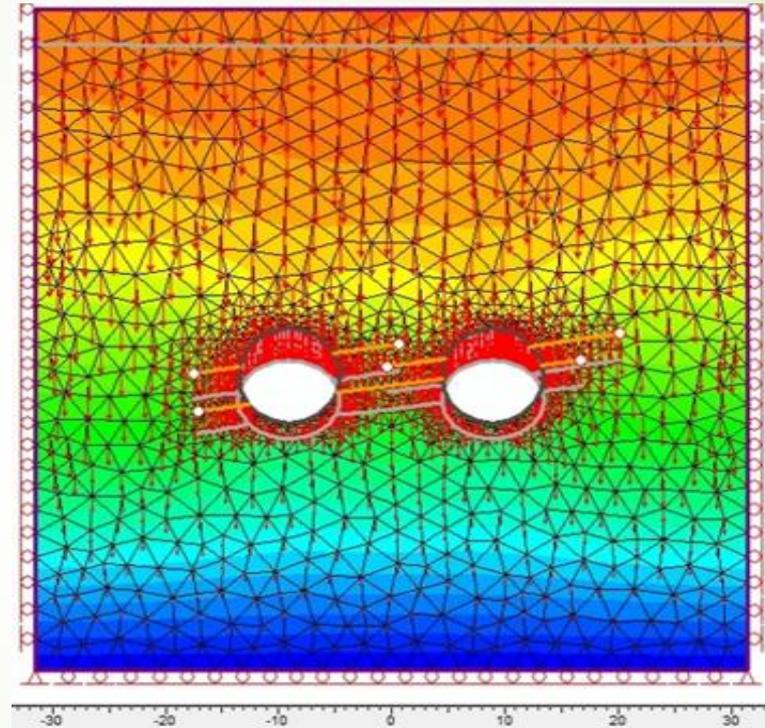
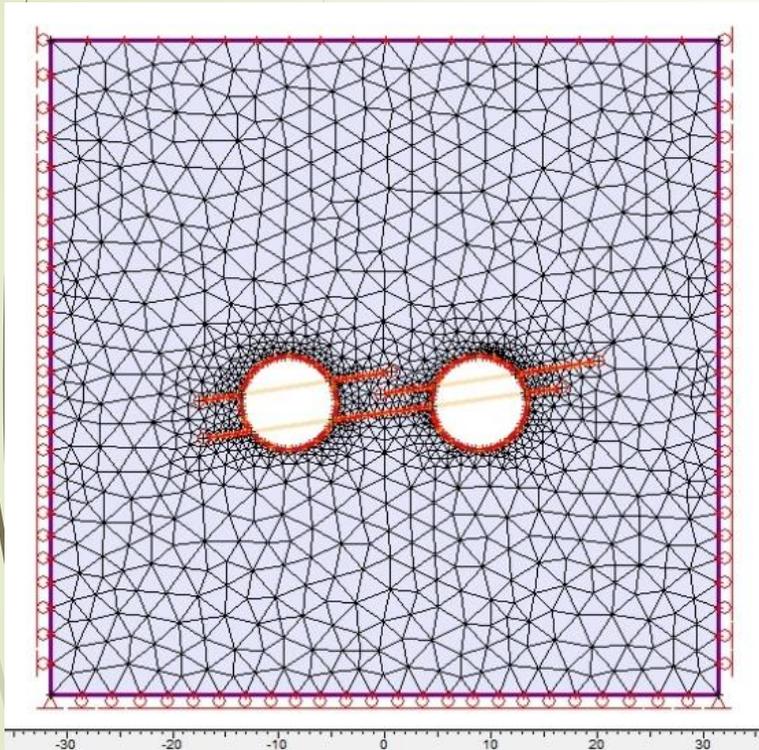
Etapa 2 Mallado y Primer túnel (Excavado)



Lugar	Desp. Vertical
Encima	10 mm
Lateral	7.5 mm
Debajo	5 mm

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS BH-250

Etapa 3 Desplazamiento Vertical (Excavados)



Lugar	Desp. Vertical
Encima	10.5 mm
Lateral	7.7 mm
Debajo	5.5 mm

CONCLUSIONES

- Los resultados de los ensayos geomecánicos dependen de la calidad de la roca, criterio de selección y el seguimiento de las normas que los regulan.
- La variación de los resultados obtenidos a nivel central de la montaña en las perforaciones BH-19, BH-21, BH-240 con respecto a la perforación cercana al portal BH-250, ha definido que las rocas del portal se encuentran más meteorizadas o alteradas, siendo esto verificado por la petrografías.
- El ensayo Cerchar, es el indicado para el estudio del índice de abrasividad en rocas que estén a profundidades mayores a 30 m (BH-19; BH-21; BH-240), donde la meteorización no influya de manera considerable sobre la roca.

CONCLUSIONES

- El método Schimazek, se debe aplicar a rocas que se encuentren expuestas a los agentes exógenos a una profundidad menor a 30 m (BH-250), ya que es representativo por su conteo modal de mineral de cuarzo y ensayo de tracción indirecta.
- El Esquisto las Mercedes es altamente abrasivo.
- El ajuste de los datos obtenidos mediante los ensayos geomecánicos permitió obtener el criterio de resistencia y fracturamiento real del macizo rocoso, que se modeló mediante el uso del programa Rocdata.

CONCLUSIONES

- El análisis de elementos finitos determinó que el desplazamiento vertical producido por los esfuerzos que ejerce el macizo rocoso sobre el túnel, varía desde 4 mm hasta 25 mm en la zona de mayor cobertura, es indispensable tener presente estos parámetros a la hora de construir los túneles gemelos. Estas deformaciones producidas son despreciables a nivel de la montaña, ya que no afectan a ninguna estructura existente de importancia (Parque Nacional).
- Las perforaciones que se encuentran más cercanas al portal poseen un mayor módulo de elasticidad secante, las cuales tienden a tener menor deformación y mayor esfuerzo axial, a las que se encuentran más alejadas del portal, lo que implica que en modelo de elementos finitos van a tener un menor desplazamiento vertical.

CONCLUSIONES

- ▶ El esquisto las Mercedes es una roca competente a profundidad, sin embargo los planos de foliación juegan un papel importante en su comportamiento, donde evidencia que a mayor profundidad, la roca se comporta más resistente a los esfuerzos y no posee ni meteorización ni fracturas. Lo que hace inferir una permeabilidad secundaria baja a profundidades altas. Cabe destacar que en toda su extensión presenta múltiples plegamientos.

RECOMENDACIONES

- Durante la excavación del túnel es primordial tener el modelo geomecánico, para observar la variación de los parámetros del macizo rocoso durante el avance de la TBM y así evaluar posibles sitios de riesgos para la TBM y ajustar el modelo a los valores obtenidos durante el avance del TBM y prever el comportamiento en las etapas de construcción subsiguiente.
- Se recomienda completar el modelo geomecánico y el análisis de elemento finito de todo el trayecto con las perforaciones restantes del Sistema de Transporte Masivo Metro Caracas Guarenas Guatire.
- Realizar geología de superficie en todo el trayecto para determinar estructuras locales a lo largo del lineamiento.
- Realizar distintos ensayos geomecánicos en los portales y fundaciones de los viaductos en el lineamiento.
- Realizar un Perfil de meteorización del al roca.

BIBLIOGRAFÍA

- Castillejo, M. (2006). Caracterización geomecánica de macizos rocosos. Caracas: UCV.
- Castillejo, M. (2007). La roca como material. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Chacón C., A. A., & Guevara B., W. J. (2008). Caracterización geomecánica y modelado 3D de los macizos rocosos correspondientes al desarrollo de las obras subterráneas del sistema Caracas-Guarenas-Guatire. Caracas.
- Hurtado de Barrera, J. (2008). Como formular objetivos de investigación. Caracas: Quirón.
- Álvarez ; Rodríguez .(2008) Caracterización geomecánica para el proyecto del sistema subterráneo Metro de Caracas. Línea 5, tramo Zona Rental de la UCV-Bello Monte
- Farfán ; Marconi (2008) Caracterización geomecánica para el proyecto del túnel del sistema subterráneo Metro de Caracas, línea 5, tramo Bello Monte-Chuao (UNEFA)
- Reverón D (2013) Dimensionamiento de cámaras y pilares en minería subterránea basado en la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la mina Colombia, El Callao, estado Bolívar



¡Muchas Gracias!

¿Alguna Pregunta?

