

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOMECANICA DE MUESTRAS DE ROCA, ENTRE EL TRAMO FERROVIARIO LA ENCRUCIJADA CUA (ESTADOS ARAGUA Y MIRANDA)

Trabajo Especial de Grado

Presentado ante la ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres

Bernal G. Odra F. y Josse A Cheik A.

Para optar al Título de Ingeniero Geólogo.

Caracas, Noviembre de 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOMECANICA DE MUESTRAS DE ROCA, ENTRE EL TRAMO FERROVIARIO LA ENCRUCIJADA CUA (ESTADOS ARAGUA Y MIRANDA)

Tutor académico: Carolina Machillanda

Co-Tutor académico: Miguel Castillejo

Trabajo Especial de Grado

Presentado ante la ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres

Bernal G. Odra F. y Josse A. Cheik A.

Para optar al Título de Ingeniero Geólogo.

Caracas, Noviembre de 2011

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres **Bernal G. Odra F. y Josse A. Cheik A.**, titulado:

CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOMECANICA DE MUESTRAS DE ROCA, ENTRE EL TRAMO FERROVIARIO LA ENCRUCIJADA CUA (ESTADOS ARAGUA Y MIRANDA)

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. **Ronald Torres**

Prof. **Pietro Di Marco**

Carolina Machillanda

Tutor académico

Miguel Castillejo

Co-Tutor académico

DEDICATORIA

A mis padres... que son la luz que me guía

A mis Hijos Jorge David y Luis Ernesto... que son mi vida

A mi esposo Jorge Jans... A ti, que llegaste a mi vida de una manera inesperada, gracias por existir, has sido mi mejor amigo y compañero... te amo.

Odra Bernal

AGRADECIMIENTOS

A Dios por acompañarme en cada momento de mi vida y por ayudarme a realizar cada una de mis metas.

A mis amados Padres (Esнора Guzmán y Diógenes Bernal) a quienes les debo mi vida sin ellos hubiese sido imposible llegar hasta donde estoy ahora. Gracias por todo el amor, por confiar en mí y en especial por tener paciencia a lo largo de toda mi carrera como estudiante y ahora, por ser un apoyo incondicional en todo momento.

A mi hermosa familia especialmente (a la memoria de mi abuelita Ana Luisa Guzmán), a mis tías y tíos por todo el cariño y sabios consejos que me han brindado para que siga adelante. También a mis primos Josleidy, Juan Carlos, Carlos Luis, Elimar, Alejandra, Yohana, Mariangela, Nena, Carolina... Por todos los hermosos recuerdos que compartimos de nuestra infancia y nuestra juventud... A mi otra y nueva familia (Los Simoza), por tratarme como una hija, gracias por el cariño brindado y los buenos consejos.

A mis amigos y compañeros (Marcos Martus, Marcos Guzmán, Victoria, Dilia, Yeimara, Ángel, Aquiles, Sergio, Leonardo, Naiker, Luis Alejandro) por estar siempre ahí, y por todos los momentos de alegría que compartimos, por los momentos de lucha y de combate, Los quiero...

En especial a mi amigo Engels y mi amiga María Teresa. De verdad, gracias por esas palabras tan peculiares en los momentos precisos y por defenderme.

A la Sra. Ibelise mi madrina de buena voluntad por guiarme.

A Feliciano De Santis por su colaboración para la realización de este trabajo.

A Mis tutores Miguel Castillejo y Carolina Machillanda, por haber contribuido durante el desarrollo de este trabajo.

A Josse Cheik un amigo incondicional y un compañero muy particular. Siempre Firme y Digno Amigo...!

A la Universidad Central de Venezuela, porque en ella aprendí además de conocimientos que me hacen una profesional, conocimientos y pensamientos revolucionarios que me han hecho mejor persona.

Odra Bernal

"Es preciso soñar, pero con la condición de creer en nuestros sueños. De examinar con atención la vida real, de confrontar nuestra observación con nuestros sueños, y de realizar escrupulosamente nuestra fantasía."

Vladimir Ilich Lenin

AGRADECIMIENTOS

Institucionales

A la Gobernación del Estado Amazonas por su confianza depositada en un grupo de estudiantes al brindarnos la oportunidad de ingresar a la casa que vence las sombras mediante el "PROYECTO AMAZONAS".

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por haber facilitado el Laboratorio de Mecánica de Rocas "Prof. Miguel Castillejo" de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, en el cual realice y llevé a cabo todos mis ensayos, correspondiente a este trabajo.

Al Instituto de Geoquímica de la Facultad de Ciencias de la UCV, por haber colaborado en la ejecución de las secciones finas y la difracción de rayos X, a precios solidarios.

Académicos

A la Ilustre Prof. Lena Zerpa, por su invaluable apoyo en los inicios de mi carrera y su profunda sensibilidad humana, además de su comprensión y su gran afecto hacia los estudiantes Amazonenses, con su dedicada labor como Profesora, Amiga y Guía en los complicados caminos de mi carrera siempre estuvo allí, con su ejemplo y la perseverancia apoyándome en cada momento cuando necesité de su ayuda y de sus buenos consejos. Gran parte de este logro se lo debo a usted. Mil Gracias Profesora Lena.

Al Ilustre Prof. Miguel Castillejo por su extraordinaria labor como guía y cotutor de este Proyecto, además de un amigo incondicional y una persona muy humana y sencilla dando así en lo personal un ejemplo a seguir, como catedrático y como amigo, con su apoyo, paciencia y dedicación antes y durante el desarrollo del Trabajo Especial de Grado. Muchas Gracias Profesor Miguel.

A la Ilustre Profesora Carolina Machillanda, por haber aceptado ser la guía en el presente trabajo y darme toda su valiosa orientación para culminar este Proyecto, además de ayudarme en los momentos más difíciles de la carrera y estar allí consecuente y constante de manera desinteresada, con la alegría y la simpatía que la caracteriza. Profesora Mil Gracias por todo lo que hizo por mí.

Josse Cheik

Dedicatoria

A Dios Padre, sin Él nada es posible.

A mis Padres: Bella Fátima Abuchaín y Ali Cheik, por su paciencia y su apoyo, sin ellos nada de esto hubiese sido posible. Este trabajo es mi humilde regalo a su dedicación como Padres ejemplares.

A mis Hermanos: Luis Rangel, Alí y Pablo por estar allí FIRMES Y DIGNOS desde el Principio hasta el Final.

A ti Princesa que sabes lo difícil que es tener un sueño y hacer que se haga realidad, siempre con fé y Dios por delante.

A mi tío Mario Abuchaín por sus sabios consejos y su ímpetu inquebrantable ante las adversidades de la vida.

A Fabiola Bernal, una compañera y amiga excepcional, muy paciente y atenta, con un espíritu combativo y luchador, que superó los distintos obstáculos hasta llegar a la meta sin decaer en ningún momento. Fabi éxito en el transcurso de tu vida como amiga, madre y profesional, te lo mereces.

Jasse Cheik

INDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	GENERALIDADES	1
1.2.	OBJETIVOS GENERALES	1
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.3.	UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y ALCANCES	2
1.4.	MARCO METODOLÓGICO	3
1.4.1.	Etapa de recopilación bibliográfica	4
1.4.2.	Etapa selección de muestras y núcleos	5
1.4.3.	Etapa de caracterización de los parámetros geológicos-geotécnicos de las muestras y núcleos seleccionados.....	6
1.4.4.	Elaboración de base de datos y mapas con los parámetros geológico-geotécnicos de Venezuela por localidades.....	7
1.5.	ANTECEDENTES	7
1.6.	TRABAJOS PREVIOS.....	8
2.	MARCO TEÓRICO	11
2.1.	INTRODUCCIÓN	11
2.2.	PROPIEDADES FÍSICAS	11
2.2.1.	Densidad.....	11
2.2.2.	Porosidad	11
2.2.3.	Permeabilidad.....	12
2.2.4.	Durabilidad o alterabilidad	12

2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS.....	13
2.3.1. Criterios Mecánicos de Resistencia y Deformabilidad de las Rocas.....	13
2.3.2. Fuerzas (P)	14
2.3.3. Esfuerzo (σ)	14
2.3.4. Estado de esfuerzos.....	15
2.3.5. Deformación, (ε)	15
2.3.6. Resistencia, σ_c	16
2.3.7. Rotura	16
2.3.8. Fractura	16
2.3.9. Cohesión, c	17
2.3.10. Angulo de fricción interna, ϕ	17
2.4. ESFUERZOS, TENSIONES Y DEFORMACIONES EN LAS ROCAS.....	17
2.5. CRITERIOS DE ROTURA, RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DE LOS MEDIOS ROCOSOS.....	20
2.5.1. Criterios de Mohr-Coulomb	20
2.5.2. Criterio de rotura de Hoek y Brown.....	22
2.5.3. Criterio de Micro-Fracturas (Griffith).....	25
2.5.4. Clasificación de Bieniawski, 1980 (RMR – Rock Mass Rating)	26
2.6. CONSTANTES ELÁSTICAS “estáticas” DE DEFORMACION DE LAS ROCAS.....	28
2.6.1. Introducción	28
2.6.2. Definición de términos	28
2.6.3. Módulo de elasticidad o módulo de Young.....	29
2.6.4. Módulo de Poisson.....	30

2.6.5. Módulo de rigidez.....	31
2.6.6. Módulo de Bulk.....	32
2.6.7. Constante De Lamé	32
2.7. MEDICIÓN DE LAS DEFORMACIONES.....	32
2.7.1. Medidores Mecánicos.....	33
2.7.2. Medidores ópticos	34
2.7.3. Medidores eléctricos.....	35
3. ENSAYOS PARA ROCAS	37
3.1. Ensayos Estáticos.....	37
3.2. Resistencia a la compresión simple de núcleos de roca intacta Norma (ASTM D 2938 – 95R02)	37
3.3. Resistencia de Carga Puntual en Rocas (ASTM D 5731-02, 2002)	39
3.4. Ensayo de Corte Directo/Anillo de Corte CATS.....	42
3.5. ENSAYO TRIAXIAL CATS	51
3.6. Ensayo de tracción indirecta (Brasilero)	56
3.7. Difracción de Rayos X.....	59
3.8. ENSAYOS DINÁMICOS (NO DESTRUCTIVOS).....	60
2.8.1. Método de ensayo para descripción Petrográfica (ISRM, 1977).....	64
2.8.3 Ensayo CATS Ultrasónico.....	66
4. GEOGRAFÍA FÍSICA	69
4.1. CLIMA Y VEGETACIÓN	69
4.2. CLIMA	69
4.2.1 Clima tropical o lluvioso cálido (A)	70
4.2.2. Clima (Aw) tropical de sabana	70

4.2.3. Clima (Am), monzónico	70
4.2.4. Clima (B), secos cálidos	70
4.2.5. Clima (Bwi) desértico tropical	70
4.2.6. Clima (BSi) semi-árido tropical	70
4.2.7. Clima (G) templado de altura tropical	70
4.3. VEGETACIÓN	71
4.4. DRENAJE:	71
5. GEOLOGÍA REGIONAL	73
5.1. GENERALIDADES	73
5.2. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	73
5.2.1. Formación Chuspita Cretácico Temprano Estado Miranda, Referencia original: V. M. Seiders, 1965, p. 303.....	73
5.2.2. Formación Tinapú Pre-Mesozoico (?) Estado Cojedes, Referencia original: A. Menéndez, 1965, p. 439.	75
5.2.3. Formación Tucutunemo Paleozoico Tardío Estados Aragua y Miranda, Ref original: R. Shagam, 1960, p. 582.....	76
5.2.4. Formación Las Mercedes Mesozoico (Jurásico - Cretácico) Distrito Federal, Ref. Original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a,.....	79
6. GEOMORFOLOGÍA.....	85
6.1 Gran Unidad I: Complejo Rocoso Metamórfico	85
6.2 Unidad 1: Serranía Meta-sedimentaria.....	85
6.3 Unidad 2: Serranía Meta-volcánica.....	86
6.4 Gran Unidad II: Cuenca Sedimentaria del Tuy	86
Unidad 3: "Hog's back" piemontinos	87
Unidad 4: Filas lacustrinas	87

6.4.	FALLAMIENTO ACTIVO, SISMICIDAD Y ACELERACIONES DE DISEÑO.....	87
6.4.1	Falla La Victoria	87
6.4.2	Falla de Tácata	88
6.4.3	Fallas inactivas	89
6.4.4.	Sismicidad	89
6.5.	ZONIFICACIÓN SÍSMICA	89
6.6.	CONSIDERACIONES SOBRE EL RIESGO GEOLÓGICO Y LIMITACIONES A LO LARGO DEL TRAZADO PROPUESTO.....	89
7.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL	91
7.1.	Teorías de la evolución de la Cordillera de la Costas modificado de (Cano y Melo 2002)	91
7.1.1.	Súper Asociación Ígneo-Metamórfica de La Cordillera De La Costa.....	98
8.	RESULTADOS	101
8.1.	FORMACION CHUSPITA	101
	Difraccion de rayos X	104
	Petrografías.....	115
	Compresión Simple	126
	Ensayo de Tracción (Brasilero)	139
	Ultrasonido	151
8.2.	FORMACION LAS MERCEDES	157
	Difraccion De Rayos X.....	158
	Petrografías.....	161
	Ensayo de Compresion Simple	164
	Ensayo de tracción Indirecta (Brasilero)	168
	Ensayo de Ultrasonido.....	170

8.3. FORMACION TINAPÚ	172
Difracción de rayos X	173
Petrografías.....	174
Compresion Simple.....	175
Ensayo de Traccion Indirecta (Brasilero)	177
Ultrasonido	180
8.4. FORMACION TUCUTUNEMO	181
Difracción De Rayos X.....	181
Petrografías	183
8.5. ENSAYO DE CARGA PUNTUAL	184
8.6. ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	219
DATOS DE LABORATORIO	273
9. ANALISIS DE RESULTADOS	239
9.1. FORMACIÓN CHUSPITA	239
Análisis de Petrografías Y Difracciones de Rayos X	239
Análisis de compresión simple	245
Traccion Indirecta	249
Análisis de ensayo ultrasonido	252
FORMACIÓN LAS MERCEDES	261
Análisis de Petrografías Y Difracciones de Rayos X	261
Compresion Simple.....	262
Ensayo de Tracción Indirecta.....	263
Ultrasonido	264
Formación TINAPÚ.....	266
Compresion simple	266
Tracción Indirecta.....	267
Ultrasonido	267

Formacion Tucutunemo.....	270
9.5. Análisis de resultados de carga puntual	271
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	273
10.1. Conclusiones.....	350
10.2. Limitaciones.....	353
10.3. Recomendaciones.....	353
11. BIBLIOGRAFÍA.....	358

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tramo Cúa - Túcata.....	5
Tabla 2. Tramo Tejerías La Victoria	5
Tabla 3 Tramo Túcata - Tejerías	6
Tabla 4. Tramo La Victoria-La Encrucijada	6
Tabla 5 Tabla De Estimación De La Constante M_i De Acuerdo Al Tipo De Roca.....	24
Tabla 6. Calidad Del Macizo Rocoso En Relación Al Índice Rmr.....	26
Tabla 7. Parámetros De Clasificación Según Bieniawski (1989)	27
Tabla 8. Constantes De Deformación	29
Tabla 9. Clasificación De La Roca En Función De Su Resistencia A La Compresión Uniaxial.....	38
Tabla 10. Asociación Metamórfica La Costa. Edad: Mesozoico. [Complejo La Costa] 99	99
Tabla 11. Asociación Metamórfica Ávila. Edad: Paleozoico-Precámbrico. [Complejo Ávila]	99
Tabla 12. Asociación Metamórfica Ávila. Edad: Paleozoico-Precámbrico. [Complejo Ávila]	100
Tabla 13. Resumen De Los Valores Obtenidos De Los Diferentes Ensayos Realizados En La Formación Chuspita.....	101

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Imagen Satelital Del Transecto La Encrucijada-Cúa (Tomando Y Modificado De Http://Maps.Google.Com/).....	3
Figura 2.	Esquema Del Marco Metodológico.....	4
Figura 3.	Representación Gráfica De Los Esfuerzos Sobre Un Plano	15
Figura 4.	Esfuerzos En Tres Dimensiones.....	15
Figura 5.	Diferentes Estados De Los Esfuerzos Aplicados A Muestras De Laboratorio.....	18
Figura 6.	Curvas De Esfuerzo-Deformación Obtenida Mediante Ensayos De Compresión Uniaxial Y Representación Gráfica Del Módulo De Young Y El Coeficiente De Poisson.....	19
Figura 7.	Envolventes De Mohr-Coulomb En Términos De (A) Esfuerzos Tangenciales Y Normales Y (B) Esfuerzos Principales. Para Un Estado Tensional Situado Por Debajo De Las Envolventes, No Se Producirá Rotura.	20
Figura 8.	Criterio Lineal De Rotura De Mohr-Coulomb Y Su Envolvente En Términos De Esfuerzos Normales Y Tangenciales.	22
Figura 9.	Envolventes De Ruptura Según El Criterio De Hoek & Brown (1980) En Función De: (A) Esfuerzos Principales Y (B) Esfuerzos Normales Y Tangenciales.	23
Figura 10.	Reología De La Roca Sometida A Grandes Esfuerzos Compresivos.	25
Figura 12.	Módulo De Rigidez.....	32
Figura 13.	Esquema De Medición De La Deformación Por Indicadores Diales, (A) Mediciones De Deformación Lateral (B) Medición De La Deformación Transversal.	33
Figura 14.	Esquema De Los Indicadores Para Mediciones De Deformación (A) Medidor De Deformación Longitudinal, (B) Medidor De Deformación Transversal	35

Figura 15.	Equipo De Compresion Simple	38
Figura 16.	Requerimientos Geométricos Para El Ensayo De Carga Puntual: A.- Diametral, B. Axial, C. Bloque	39
Figura 17.	Requerimientos Geométricos Para El Ensayo De Carga Puntual: Bloque Irregular	40
Figura 18.	Equipo Para La Realización Del Ensayo De Carga Puntual.	40
Figura 19.	Equipo De Carga Puntual, Detalle De Las Placas De Carga Cónicas.	41
Figura 20.	Modos De Falla Típicos: A. Ensayos Diametrales, B, Ensayos Axiales, C.- Ensayos En Bloques.	42
Figura 21.	Diagrama Del Equipo De Corte Directo	43
Figura 22.	Diagrama Del Equipo De Corte Directo	44
Figura 23.	Diagrama De Corte Directo.....	44
Figura 24.	Espécimen Cilíndrico Para Corte	46
Figura 25.	Área De Corte Para Un Espécimen Circular	47
Figura 26.	Superficie Del Área De Corte Elíptica Para Un Espécimen Circular	47
Figura 27.	Superficie De Área De Corte Rectangular Para Un Espécimen Circular	48
Figura 28.	Superficie De Área De Corte Para Un Espécimen Cuadrado	48
Figura 29.	Ensayo De Tracción Indirecta.....	56
Figura 30.	Prensa De Carga Para Ensayo De Tracción Indirecta.....	57
Figura 31.	Ley De Bragg, Modificado De Cañada P. 2006.....	59
Figura 32.	Ventana De Configuración Del Equipo Ultrasónico.....	61
Figura 33.	Ventana De Configuración Del Ultrasonido Y Ejecución Manual	64
Figura 34.	Sección Fina. Foto: Alvarez, (2007).....	65
Figura 35.	Microscopio Petrográfico. Mod. Olympus Cdx10. Laboratorio De Petrografía Ígneo Metamórfica. Departamento De Geología, Ucv.).....	66
Figura 36.	Rangos De Frecuencias Aproximados Correspondientes Al Ultrasonido.	66
Figura 36.	Afloramientos De La Formación Chuspita En El Área La Victoria- Paracotos (Colo Rojo)	74

Figura 37	Mapa Geológico Formación Tucutunemo, Modificado De Ostos (1990).....	76
Figura 38.	Mapa Formación Las Mercedes. Fuente: Wehrmann.....	82
Figura 39	Etapa Eoceno-Oligoceno De La Evolución Tectónica De La Cadena Caribe (Tomado Y Modificado De Ostos & Navarro, 1986)	92
Figura 40a.	Reconstrucción Del Triásico Tardío – Jurásico Temprano	95
Figura 40c.	Evolución Tectónica Durante El Neocomiense (125 Millones De Años).....	95
Figura 40d.	Evolución Tectónica Durante El Neocomiense (120 Millones De Años).....	96
Figura 41	Evolución Tectónica Para El Albiense Tardío (100 Millones De Años).....	96
Figura 42	Evolución Geológica Del Norte De Sur América, Modificado De Ostos (1990).....	96

INDICE DE GRÁFICAS

gráfica N° 1. Estado De Esfuerzo Deformación De La Totalidad De Muestras Ensayadas En Compresión Simple Y Tracción Indirecta De La Formación Chuspita 103	
Gráfica N° 2.....	104
Gráfica N° 3.....	105
Gráfica N° 4.....	106
Gráfica N° 5.....	107
Gráfica N° 6.....	108
Gráfica N° 7.....	109
Grafica N°8.....	110
Grafica N°9.....	111
Grafica N° 10.....	112
Grafica N°11.....	113
Grafica N° 12.....	114
Grafica N° 13.....	115
Grafica N° 14.....	116
Grafica N° 15.....	117
Grafica N° 16.....	118
Grafica N° 17.....	119
Grafica N° 18.....	120
Grafica N° 19.....	121
Grafica N° 20.....	122
Grafica N° 21.....	123
Grafica N° 22.....	124
Grafica N° 23.....	125
Grafica N° 24.....	126
Grafica N° 25.....	126
Grafica N° 26.....	127
Grafica N° 27.....	127
Grafica N° 28.....	129
Grafica N° 29.....	129
Gráfica N° 30.....	131
Gráfica N° 31.....	131
Gráfica N° 32.....	133
Gráfica N° 33.....	133
Gráfica N° 34.....	135

Gráfica N° 35.....	135
Gráfica N° 36.....	137
Grafica N° 37.....	137
Gráfica N° 38.....	139
Gráfica N° 39.....	139
Gráfica N° 40.....	141
Gráfica N° 41.....	141
Gráfica N° 42.....	143
Gráfica N° 43.....	143
Gráfica N° 44.....	145
Gráfica N° 45.....	145
Gráfica N° 46.....	147
Gráfica N° 47.....	147
Gráfica N° 48.....	149
Gráfica N° 49.....	150
Gráfica N°50.....	151
Gráfica N°51.....	151
Gráfica N°52.....	152
Gráfica N° 53.....	152
Grafica N° 54.....	153
Grafica N°55.....	153
Grafica N° 56.....	154
Grafica N° 57.....	154
Grafica N° 58.....	155
Grafica N° 59.....	155
Grafica N° 60.....	156
Grafica N° 61.....	156
Grafica N° 62. Estado De Esfuerzo Deformacio De La Totalidad De Muestras Ensayadas En Compresión Simple Y Tracción Indirecta.....	157
Grafica N° 63.....	158
Grafica N° 64.....	159
Grafica N° 65.....	160
Grafica N° 66.....	161
Grafica N° 67.....	162
Grafica N° 68.....	163
Grafica N° 69.....	164
Grafica N° 70.....	164
Grafica N° 71.....	166

BERNAL G. ODRA F.& CHEIK A JOSSE.

"CARACTERIZACION GEOLOGICA GEOTECNICA DE MUESTRAS DE ROCA, ENTRE EL TRAMO FERROVIARIO LA ENCRUCIJADA CUA (ESTADOS ARAGUA Y MIRANDA)"

Tutor académico: Carolina Machillanda

Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería

Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2010, 104p.

Palabras claves: Sistema ferroviario eje central, ensayos en roca, geotecnia, ferrocarril, caracterización.

Resumen

Se realizó un estudio geológico geotécnico y petrográfico para caracterizar muestras de rocas provenientes de las perforaciones realizadas a lo largo de la vía férrea, entre la ciudad de Tejerías estado Aragua y Cúa, estado Miranda. La zona se extiende aproximadamente unos 74km por un ancho aproximado de 1km, de las hojas cartográfica 6746 y 6846 escala 1:100.000 y forma parte del eje ferroviario central, Línea E

Para ello, se conjugó información bibliográfica, fotogeológica, y cartográfica con ensayos geotécnicos, sondeos a máquina del subsuelo y petrografías. Toda la información se sintetizó en 6 mapas de escala 1:5.000 generando una base de datos, donde se exponen las unidades litoestratigráficas formales, los parámetros geomecánicos

La zona se dividió para fines de caracterización en 4 tramos, En cada tramo se realizó una caracterización geológica, petrográfica y geomecánica por medio de ensayos especiales en roca con el fin de elaborar un archivo o base de datos de referencia sobre los parámetros geológico-geomecánicos de Venezuela.

Equation Chapter (Next) Section 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El trabajo de investigación, tiene como objetivo un estudio geológico y geotécnico, de una zona ubicada en la región centro occidental de Venezuela al sur de la Cordillera de La Costa, por todo el borde o paralelo al sistema de fallas Táchata – La Victoria, específicamente en el tramo ferroviario comprendido entre la localidad de Cúa (Estado Miranda y la Encrucijada Edo. Aragua) hoja 6746 y 6846 escala 1:100.000. El área de estudio para este proyecto se extiende unos 74 km. de largo.

1.2. OBJETIVOS GENERALES

Caracterizar desde el punto de vista geomecánico los macizos.

Complementar la información del Léxico Estratigráfico de Venezuela con los parámetros geomecánicos de las formaciones estudiadas en esta tesis y que sirvan de referencia a las futuras investigaciones en las áreas circundantes.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinación de los parámetros petrográficos mediante los siguientes ensayos:

- Análisis descriptivo de las secciones finas
- Difracción Rayos X
- Fluorescencia
- Realizar una base de datos con la información geológico-geotécnicas de las distintas rocas de la región de estudio.

Determinación de parámetros geotécnicos de las rocas mediante la realización de los siguientes ensayos:

- Compresión simple
- Carga puntual
- Triaxial
- Ultrasónico
- Corte directo sobre discontinuidades
- Brasilero

Elaborar un mapa de con los parámetros geotécnicos de las rocas de la zona estudiada

1.3. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y ALCANCES

El área de estudio se ubica en la región centro occidental de Venezuela al sur de la Cordillera de La Costa, por todo el borde o paralelo al sistema de fallas Táchata – La Victoria, específicamente en el tramo comprendido entre la localidad de Cúa (Estado Miranda y la Encrucijada Edo. Aragua) hoja 6746 y 6846 escala 1:100.000.

El área de estudio para este proyecto se extiende unos 74 km.

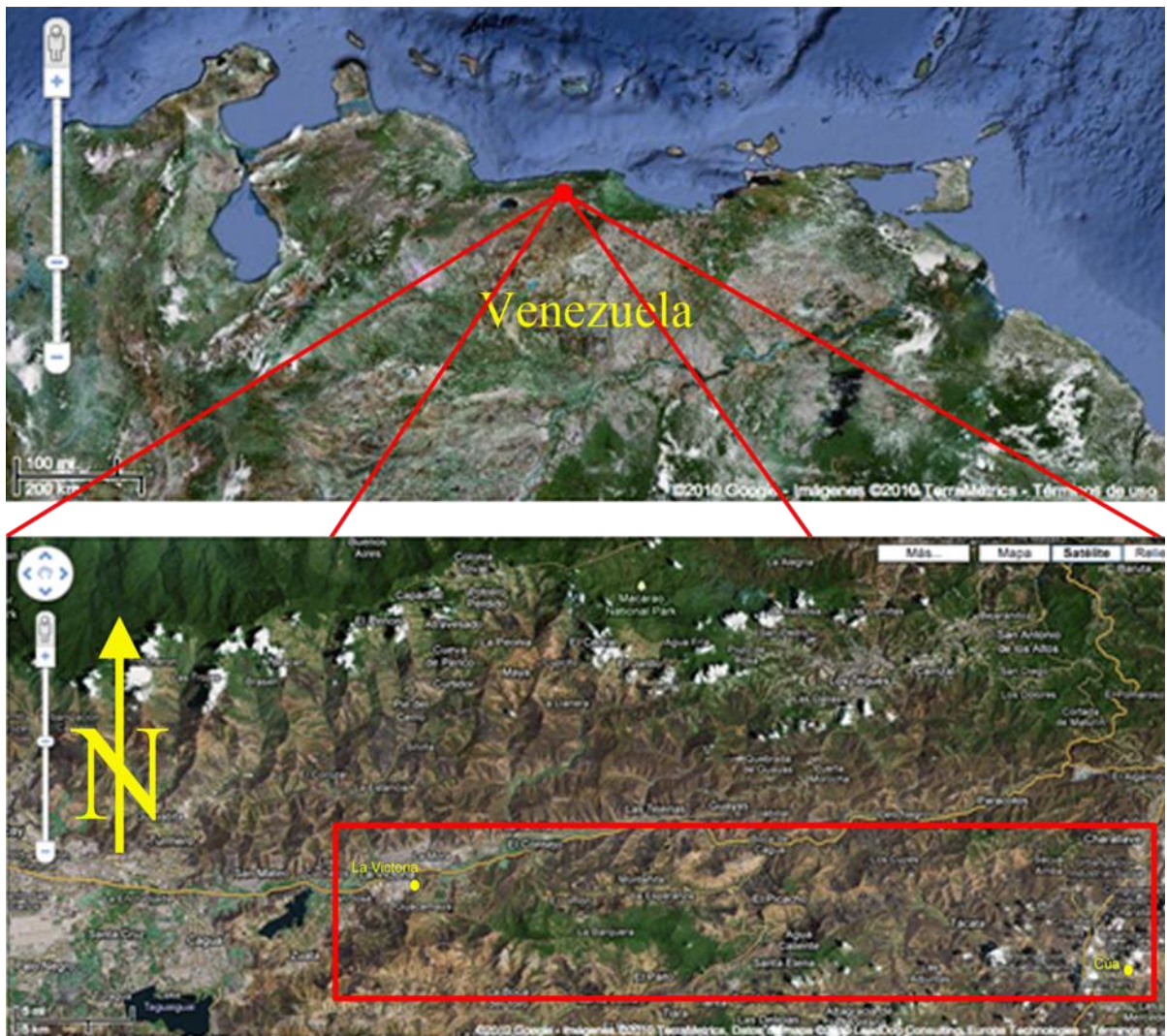


Figura 1. Imagen satelital del transecto La Encrucijada-Cúa (Tomando y modificado de <http://maps.google.com/>)

1.4. MARCO METODOLÓGICO

Este proyecto se realizara bajo la modalidad de tesis por localidades, cada uno en particular desarrollara una o varias localidades de Venezuela, de acuerdo a la disponibilidad de muestras y núcleos dependiendo de las obras por realizar o realizadas en el país.

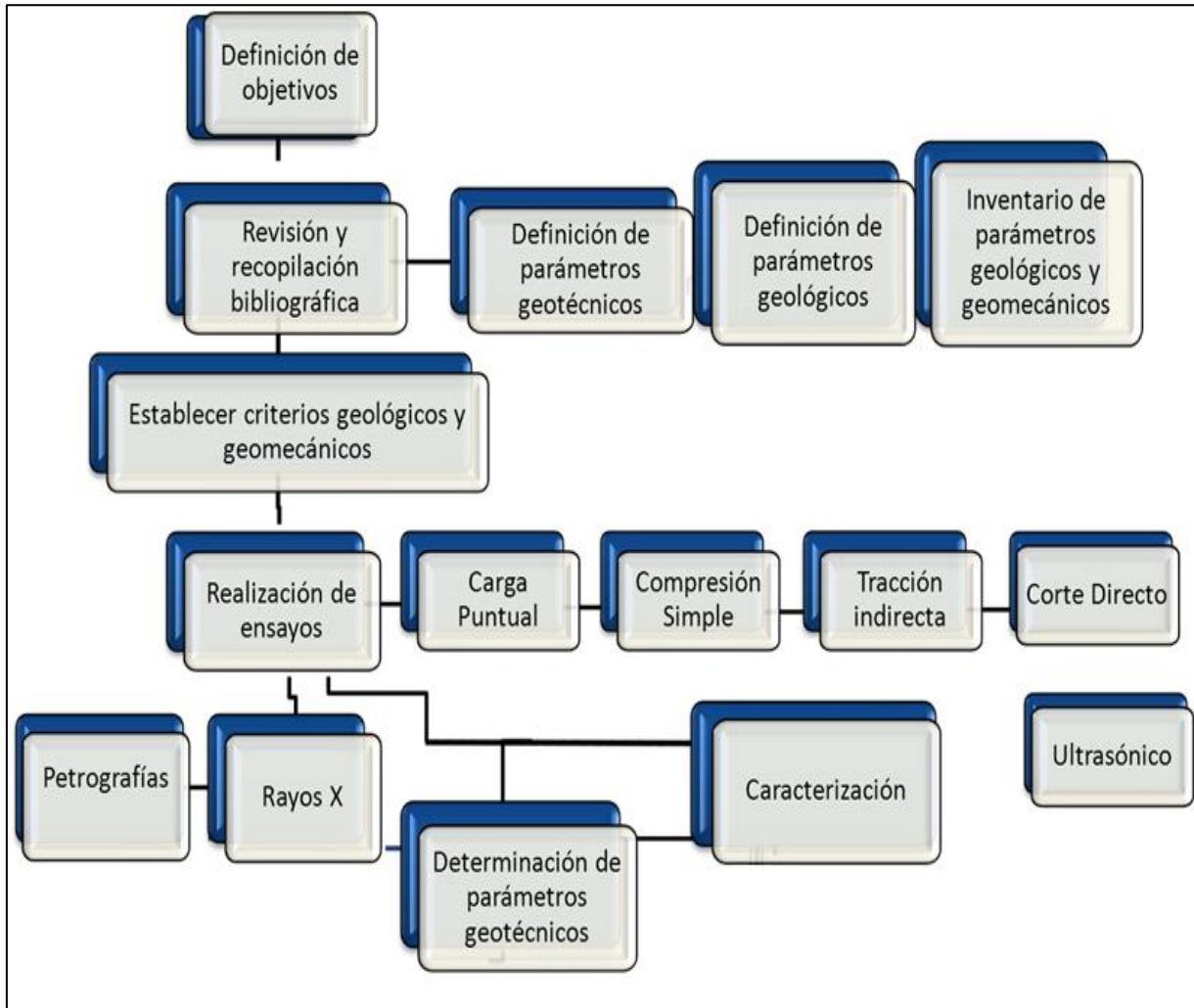


Figura 2. Esquema del marco metodológico

La metodología a desarrollar en cada trabajo especial de grado consiste básicamente en cuatro etapas:

1.4.1. Etapa de recopilación bibliográfica

En esta etapa se realizara la revisión y recopilación bibliográfica de mapas, trabajos previos, normas para la realización de los ensayos geotécnicos, libros, revistas especializadas, tesis de grado, artículos científicos, etc., además de todos los datos necesarios relacionados con la zona de estudio; esto con el fin de obtener información sobre las características geológicas de la zona.

1.4.2. Etapa selección de muestras y núcleos

Comprende la fase de recolección de los núcleos de roca para su posterior análisis, también se realizara una selección apropiados para realizar los diferentes ensayos geotécnicos según la normativa utilizada. (Ver mapas anexos, donde se referencia los tramos de estudio).

Tabla 1.
Tramo Cúa - Tácata

Perforación	Coordenadas UT		Progresiva	Cota(m)	Longitud (cm) (recuperación)
	Este	Norte			
CT-3 ^a	499422	1128058	58+309	290	30

Tabla 2.
Tramo Tejerías La Victoria

Perforación	Coordenadas UT		Progresiva	Cota (m)	Longitud (cm) (recuperación)
	Este	Norte			
VT-44	482562,88	1133822,11	39+908	469,0	45
VT-42	481890,08	1133712,01	39+255	472	38

Tabla 3
Tramo Tácata - Tejerías

Perforación	Coordenadas UT		Progresiva	Cota (m)	Longitud (cm) (recuperación)
	Este	Norte			
TT-01	482933.77	1133891.03	40+314	528	
TT-04	483524.38	1133973.10	40+911	466,8	34
TT-5	484502.87	1133926.30	41+895	465,3	30
TT-06	484528.38	1133920.59	41+921	453	35
TT-12	486860,00	1132685.43	44+574	446,5	35
TT-24	489257.2	1132183.4	47+069	417	30
TT-37	492753,0	1131830,00	50+581	403,5	28

Tabla 4.
Tramo La Victoria-La Encrucijada

Perforación	Coordenadas UT		Progresiva	Cota (m)	Longitud (cm) (recuperación)
	Este	Norte			
VE-2/2	448749,26	1128877,34	5+105	517	30
VE-2/4	448749,26	1128877,34	5+105	517	35
VE-3	448854,60	1128811,57	5+211	509,5	35
VE-55	465188,65	1130366,65	22+091	580	45
VE-56	465349,61	1130288,92	22+251	621	40
VE-60	466922,36	1130480,67	23+826	598	45

1.4.3. Etapa de caracterización de los parámetros geológicos-geotécnicos de las muestras y núcleos seleccionados

Esta etapa consiste en realizar la caracterización de los parámetros geológicos mediante la descripción de muestras de mano, análisis petrográfico, rayos X, a su vez, se realizara la caracterización de los parámetros geotécnicos de las rocas mediante los ensayos de: compresión simple, carga puntual, ultrasónico, ensayo brasilero y corte directo.

1.4.4. Elaboración de base de datos y mapas con los parámetros geológico-geotécnicos de Venezuela por localidades

Esta etapa consiste en elaborar las fichas y un mapa con los resultados obtenidos de los análisis y ensayos realizados con el fin de elaborar un archivo o base de datos de referencia sobre los parámetros geológico-geotécnicos de Venezuela.

1.5. ANTECEDENTES

(LOYO, 1986), realizó un estudio tectonoestratigráfico de la Cuenca del Tuy, edo. Miranda. Este trabajo incluye una descripción geológica general de la Cuenca tectónica y estratigráfica del área de estudio, donde se pueden distinguir dos unidades principales del relieve, una de relieve montañoso y otra de depresión sedimentaria. El estudio estratigráfico permitió la separación de la secuencia sedimentaria en unidades litoestratigráficas informales menores, tales como facie lacustre, facie fluvial y facie de conos aluviales.

(VAN BERKEL, 1988), estudia la zona comprendida entre las poblaciones de Tácata y Altagracia de la Montaña, edo. Miranda. Elabora una completa cartografía geológica a escala 1:25.000, donde se expone la ubicación del Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro, de la Formación Tucutunemo. Ubica la zona dentro de un antiforame de eje N55E. Se discriminan dos patrones de fallas: una transcurrente – dextral con traza N65-85W y otra inversa de corrimiento con trazas de rumbo N60-70W. Basándose en los criterios litológicos, texturales y geográficos se determinó que las rocas que afloran en el área de estudio forman parte del Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro, de la Formación Paracotos y del Miembro Los Naranjos de la Formación Tucutunemo.

(AUDEMARD, 1995), según los autores el sistema de Falla La Victoria en la parte norcentral de Venezuela tiene una longitud aproximada de 350km extendiéndose desde Tinaquillo (estado Cojedes) hasta Cabo Codera (estado Miranda). Desde el punto de vista estructural, lo definen como un accidente complejo caracterizado por una disposición de trazas “en échelon” (escalonadas) y con solapamiento dextral con discutible componente normal en el cuaternario. Asocian a este sistema las Fallas de Tácata - La Victoria (destrales).

1.6. TRABAJOS PREVIOS

Como se dijo anteriormente se han elaborado diversos trabajos en caracterización de parámetros geotécnicos a lo largo del territorio nacional aisladamente, no guardan conexión entre sí. Se citaran algunos autores que han trabajado en el área de estudio aunque no con el mismo objetivo.

(ZULOAGA, 1937), quienes hicieron el primer estudio sistemático de la Cordillera de la Costa, donde se introdujo la nomenclatura que sirvió de base para estudios posteriores, algunos válidos hoy en día, como la primera referencia a lo que se conoce actualmente como Esquisto de Las Mercedes.

(URBANI, 2002), establece una nueva nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de La Costa, adaptada a la norma internacional para unidades litodémicas, eliminando las denominaciones de Grupo, Formación o Miembro, que deben ser utilizadas exclusivamente para rocas sedimentarias

(DOMÍNGUEZ, 2005), realizó una caracterización geotécnica de las masas rocosas ígneo - metamórficas que conforman los taludes a lo largo de la autopista Valencia – Puerto Cabello, con la finalidad de calcular los parámetros geomecánicos de la roca intacta y de la masa rocosa; para luego aplicar los métodos racionales pertinentes para analizar la estabilidad de taludes y de esta manera cuantificar el nivel de riesgo geotécnico que esos taludes presentan.

(MARTÍNEZ, 2007), realizó un estudio geológico y geomecánico del macizo rocoso, para la construcción del túnel sistema ferroviario San Juan de los Morros - San Fernando de Apure, estado Guárico. Este estudio se basó en la caracterización del macizo rocoso desde el punto de vista geológico, interpretación fotogeológica de la zona, elaboración de ensayos de laboratorio a las muestras recolectadas para determinar las características geomecánicas de la roca, clasificación geomecánica del macizo rocoso, creación de un modelo geológico - geomecánico de la zona y diseño del sostenimiento del túnel.

(HERNÁNDEZ, 2008), realizó una evaluación de los parámetros geológicos y geomecánicos con el fin de estudiar los problemas de estabilidad en la excavación del túnel de la obra Tránsito Taguaguay - Valles de Tucutunemo, estado Aragua. Para ello, se efectuaron

estudios que determinaron la calidad de la roca, lo que se utilizó para la clasificación de los parámetros geológicos y geomecánicos de campo, los que fueron comparados con los utilizados para el diseño del túnel.

(LOPES, 2010) Realizó un estudio geológico y geotécnico para fines de construcción de una vía férrea, entre la ciudad de Tejerías y el poblado de Tácata, estado Miranda. La zona se extiende entre las progresivas km 42+000 y km 58+000, del tramo ferroviario Cúa – La Encrucijada, como parte del eje ferroviario central. Además se realizaron un estudio de estabilidad de taludes de un túnel, proponiéndose la estabilización de los portales de éste, que consisten en pantallas ancladas de concreto proyectado, y se diseñó el sostenimiento primario del túnel.

Equation Section (Next)

2. MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

Para la descripción e identificación cuantitativa de las propiedades básicas de las rocas se usan las llamadas propiedades índices. Estas se dividen en dos:

- Propiedades Físicas
- Propiedades Mecánicas

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS

2.2.1. Densidad

Depende de los componentes de la roca, y se define como el peso por unidad de volumen. Sus unidades son las de fuerza (kilopondio, newton, tonelada-fuerza, etc.) por volumen. En general se considera el mismo valor por volumen y se considera el mismo valor para el peso específico, γ y para la densidad, ρ ($\rho = \text{masa}/\text{volúmen}$), por lo que en ocasiones en la bibliografía geotécnica se emplea el término "Densidad" aunque se esté haciendo referencia al peso específico las rocas presentan una gran variación de peso específico en comparación con los suelos

2.2.2. Porosidad

Es la relación entre el volumen ocupado por los huecos o por los poros en la roca V_v/V y el volumen total V (partículas sólidas + huecos): $n(\%) = V_v/V$ Es la propiedad que más afecta a las características resistentes y mecánicas, siendo inversamente proporcional a la deformabilidad ya que la existencia de huecos puede dar lugar a zonas de debilidad. Los

poros, en el caso de rocas cristalinas ígneas o metamórficas pueden ser microfisuras o grietas en la matriz rocosa. La porosidad, en general, decrece con la profundidad y con la edad de las rocas.

El valor de n puede variar entre 0% y 90%, con valores normales entre el 15% y 30%. Las rocas sedimentarias y las rocas volcánicas pueden presentar valores muy elevados de porosidad al igual que las rocas meteorizadas o alteradas.

La porosidad eficaz es la relación entre el volumen de poros interconectados y el volumen de la muestra. Puede obtenerse a partir de los pesos seco y saturado de la muestra.

2.2.3. Permeabilidad

Es la capacidad de transmitir agua de una roca. La mayoría de las rocas presentan permeabilidades bajas o muy bajas. La filtración y el flujo de agua a través de la matriz rocosa se producen a favor de los poros o fisuras, dependiendo la permeabilidad de la interconexión entre ellos y de otros factores como el grado de meteorización, la anisotropía o el estado de esfuerzos a que esté sometido el material. La permeabilidad de una roca se mide por el coeficiente de permeabilidad o de conductividad hidráulica κ que se expresa en m/s , cm/s ó m/dia .

2.2.4. Durabilidad o alterabilidad

Se define como la resistencia que presenta la roca ante los procesos de alteración y desintegración esta propiedad índice también es conocida como alterabilidad en otras palabras esta propiedad mide la tendencia a rotura de los componentes o de la estructura de la roca, puede estar afectada por procesos de hidratación disolución y oxidación. Esta propiedad aumenta con la densidad y se reduce con el contenido de agua.

Esta propiedad se evalúa mediante el ensayo de sequedad-humedad-desmoronamiento es llamado S.D.T. (Slake Durability Test) Este ensayo consiste en someter al material fragmentado a ciclos estándares de humedad sequedad desmoronamiento de 10 minutos de duración en el Laboratorio. Se trabaja con el material retenido en el tambor. Generalmente se trabaja con dos ciclos y la nomenclatura usada en estos dos ciclos son

I_{D1} y I_{D2} dependiendo de la durabilidad de estos valores varía entre 0% a 100%

2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas definen la capacidad del material para resistir acciones externas o internas que implican la aplicación de fuerzas sobre el mismo. Esencialmente, estas fuerzas son de compresión, tensión (o extensión), flexión y de impacto.

2.3.1. Criterios Mecánicos de Resistencia y Deformabilidad de las Rocas

El comportamiento de los macizos rocosos frente a una intervención antrópica no responde a un patrón definido ni completamente predecible, esto se debe a su misma condición de ser un medio natural heterogéneo y anisótropo. La respuesta y el comportamiento de las rocas están controlados por sus características físicas y mecánicas, que son el resultado de los diversos procesos tectónicos y geológicos que ha sufrido la roca desde su formación hasta el momento en que es intervenida.

Las características físicas principales que presentan las rocas son propias de su naturaleza geológica y se refieren principalmente a su mineralogía, tamaño de grano, densidad, dureza, porosidad, textura, arreglo cristalino, permeabilidad y grado de meteorización, entre otros. Pero como las rocas en un macizo rocoso no se presentan de forma aislada, el comportamiento mecánico de éste se ve además afectado por los diferentes tipos de rocas que lo conforman, las estructuras presentes y los estados de esfuerzos a los que se vea sometido en su medio natural.

Todos estos factores que afectan al macizo rocoso, deben tomarse en cuenta al momento de diseñar una obra de ingeniería en donde éste deba ser intervenido; las características físicas, que se refieren básicamente a la geología y estructura del macizo, se pueden cuantificar de una manera aceptable pero surge entonces el problema de cómo se pueden medir o cuantificar las características mecánicas de la roca intacta y de todo el macizo rocoso.

Este ha sido por mucho tiempo uno de los principales problemas a los que se ha enfrentado la mecánica de rocas, ya que cada vez los proyectos de ingeniería son más ambiciosos y más exigentes en cuanto a calidad, seguridad y por supuesto en cuanto a menores costos. Se trata simplemente de poder aprovechar mejor las propiedades de las rocas o poder predecir con mayor exactitud el comportamiento que tendrá la roca de acuerdo a la forma en que sea afectada.

Para dar respuesta a este problema, surgieron los llamados *criterios de resistencia y rotura de las rocas*. Pero antes de definir estos criterios, se presentan a continuación una serie de conceptos que facilitarán su entendimiento y comprensión.

2.3.2. Fuerzas (P)

Al hablar de fuerzas en un sistema rocoso, debe acotarse que éstas son las principales responsables del estado y comportamiento mecánico del sistema; las fuerzas que actúan sobre un medio rocoso son la fuerza gravitatoria y las fuerzas superficiales que ejercen sobre el cuerpo los materiales que lo rodean. Estas fuerzas superficiales actúan directamente sobre las superficies de contacto entre las partes adyacentes del sistema rocoso y se transmiten a cualquier punto del interior del mismo. Las fuerzas superficiales pueden ser compresivas o distensivas, según actúen hacia dentro o hacia fuera del punto de aplicación.

2.3.3. Esfuerzo (σ)

Es la reacción interna de un cuerpo a la aplicación de una fuerza o conjunto de fuerzas; es una cantidad que no se puede medir directamente, ya que lo que se mide es la fuerza que se aplica, si la fuerza actúa uniformemente sobre una superficie o un plano, el esfuerzo o tensión indica la intensidad de las fuerzas que actúan sobre ese plano.

Es importante señalar que el esfuerzo sobre un plano no varía si la fuerza es aplicada uniformemente sobre éste, pero si esto no sucede, es decir que la fuerza no se aplica de manera uniforme sobre todo el plano, el esfuerzo variará para las diferentes áreas del mismo. Al igual que las fuerzas, los esfuerzos compresivos son positivos, y los distensivos o traccionales, son negativos.

El esfuerzo se puede representar como un vector σ_1 y como tal puede descomponerse en sus componentes normal σ_n y tangencial τ o σ_t , tal como se aprecia en la figura 3.

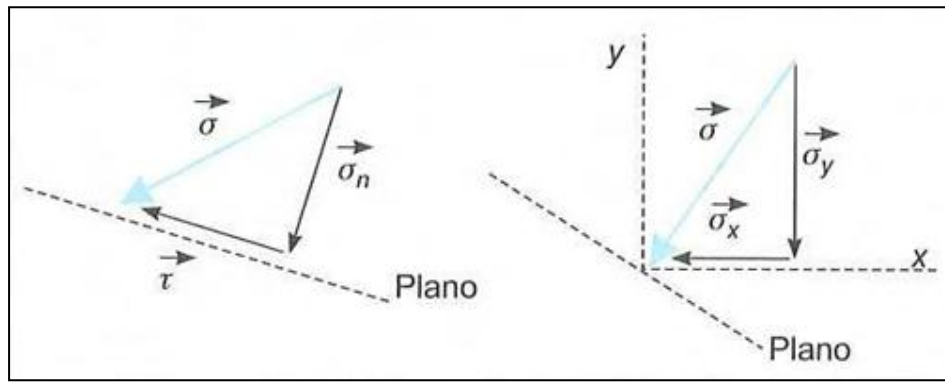


Figura 3. Representación gráfica de los esfuerzos sobre un plano

2.3.4. Estado de esfuerzos

Se refiere a la definición y cuantificación de todas las fuerzas por unidad de área que son aplicadas sobre un cuerpo en un momento determinado; generalmente se determina definiendo los esfuerzos que son aplicados sobre tres planos ortogonales a través de un punto. (fig. 4)

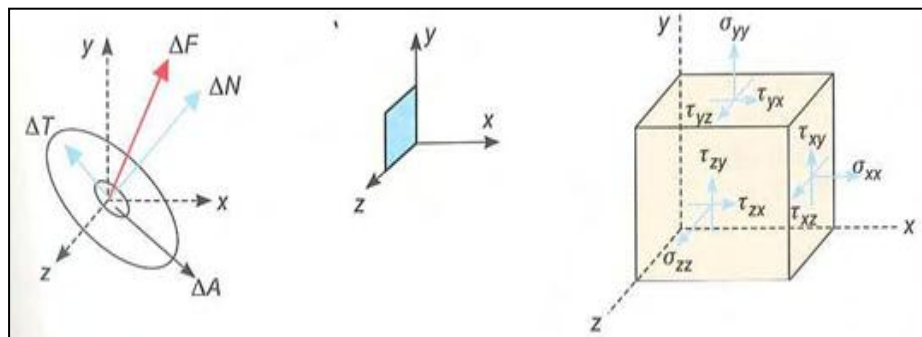


Figura 4. Esfuerzos en tres dimensiones

2.3.5. Deformación, (ϵ)

La deformación indica la variación entre la longitud o espacio entre dos partículas en dos estados mecánicos distintos, y se puede expresar como la relación entre la variación de longitud y la longitud inicial entre las partículas. Dicho en otras palabras, la deformación indica el cambio en la forma o configuración de un cuerpo, según los desplazamientos que sufre la roca al soportar la carga.

2.3.6. Resistencia, σ_c

La resistencia es el esfuerzo que la roca puede soportar para unas ciertas condiciones de deformación. Cuando una roca alcanza su resistencia máxima se habla de *resistencia pico* (σ_p), y si la roca sobrepasa esta resistencia pico y cae a otro valor de resistencia para deformaciones elevadas sin que exista rotura de la misma, se llama *resistencia residual* (σ_r).

2.3.7. Rotura

La rotura es un fenómeno que se produce cuando la roca no puede soportar las fuerzas que se le aplican, y el esfuerzo alcanza un valor máximo que corresponde a la resistencia pico del material. Según la resistencia de la roca y las relaciones entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones producidas, la rotura puede ser: rotura frágil, en la que la rotura de la roca se produce de forma instantánea y violenta; o rotura dúctil, donde la rotura de la roca se produce en forma progresiva.

En medio rocoso existen diferentes mecanismos de rotura de las rocas, de los cuales se presentan los siguientes:

Rotura por esfuerzo cortante, se produce cuando una determinada superficie de la roca se somete a esfuerzos de corte suficientemente altos como para que una cara de la superficie se deslice con respecto a otra; ejemplo, la rotura a favor de discontinuidades.

Rotura por compresión, se produce cuando la roca está sometida a esfuerzos compresivos, y a nivel microscópico se producen en la roca grietas de tracción y planos de corte por donde se producirá la rotura.

Rotura por tracción, se produce cuando la forma o estructura del macizo rocoso hace que una sección de la roca se someta a una tracción pura o casi pura.

2.3.8. Fractura

La fractura es la formación de planos de separación en la roca, rompiéndose los enlaces de las partículas para crear nuevas superficies; se pierden las fuerzas cohesivas y permanecen únicamente las fricciones. La dirección de estos nuevos planos de fractura depende de: la dirección de aplicación de las fuerzas y las anisotropías presentes en el material rocoso a nivel microscópico o macroscópico.

2.3.9. Cohesión, c

En una roca, la cohesión es la fuerza que une las partículas minerales que conforman la roca, o la resistencia al corte cuando la tensión normal es nula, medida en el plano de discontinuidad.

2.3.10. Angulo de fricción interna, ϕ

Es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca, o ángulo máximo que resiste la discontinuidad (diaclasa) antes de producirse el desplazamiento en la dirección de la inclinación.

2.4. ESFUERZOS, TENSIONES Y DEFORMACIONES EN LAS ROCAS

Las rocas pueden estar sometidas a diversos esfuerzos y estados de tensiones, en condiciones naturales, un núcleo de roca intacta puede estar sometido a los esfuerzos como los mostrados en la figura (2.3) donde σ_1 es el esfuerzo principal mayor y σ_3 es el esfuerzo principal menor ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$). Adicionalmente, también se encuentran sometidas a esfuerzos tangenciales τ , ocasionados por la tracción entre las partículas de rocas o en las discontinuidades

Debido a que estos esfuerzos a los que se ven sometidos las rocas le ocasionan ciertas deformaciones que influyen directamente sobre sus propiedades mecánicas, es importante conocer las relaciones entre los esfuerzos y las deformaciones para poder predecir la magnitud de éstas.

Uno de los aspectos más importantes que se debe conocer de un material rocoso es su resistencia a los esfuerzos que se ve sometido y las leyes que rigen su rotura y deformación.

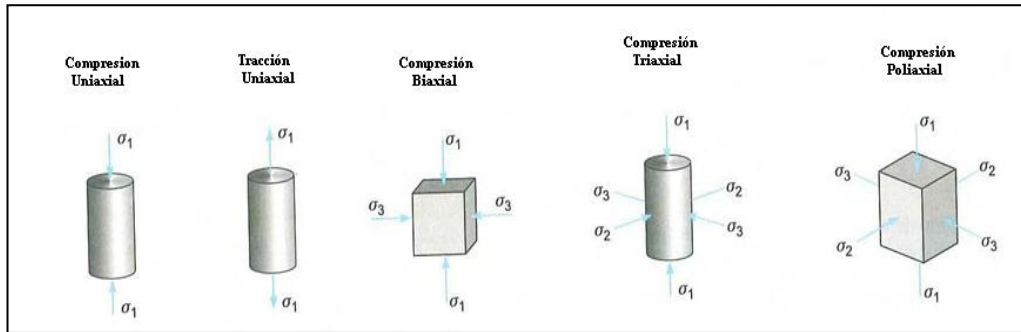


Figura 5. Diferentes estados de los esfuerzos aplicados a muestras de Laboratorio.

En este sentido, surgen los criterios de resistencia o rotura, los cuales no son más que expresiones matemáticas que buscan establecer una relación entre los esfuerzos aplicados, la resistencia del material y sus deformaciones, así como de otros parámetros representativos de la roca. Estos criterios son empíricos, y están basados en una serie de experiencias en campo y en laboratorio. Existen criterios para la roca intacta, para las discontinuidades y para el macizo rocoso, entre los más utilizados en la mecánica de rocas se encuentran el de Hoek y Brown y el de Mohr-Coulomb.

Durante el ensayo se van registrando los esfuerzos y las deformaciones que se producen en la muestra de roca en diferentes intervalos del ensayo, se puede dibujar la curva esfuerzo-deformación. La rama ascendente de la curva, antes de que se alcance la resistencia pico, presenta un comportamiento lineal o elástico para la mayoría de las rocas. En este campo elástico, la deformación producida es proporcional al esfuerzo y se cumple la siguiente relación:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon \cdot \alpha \cdot x} \quad (1)$$

Dónde:

E es la constante de proporcionalidad conocida como Módulo de Young o Módulo de Elasticidad

σ es el esfuerzo generado y

$\varepsilon \cdot \alpha \cdot x$ es la deformación axial de la muestra de roca.

Además del módulo de Young, existe otra constante que define el comportamiento elástico del material rocoso que se conoce como el Coeficiente de Poisson (ν), y está definido por la siguiente relación:

$$\nu = \frac{\varepsilon \cdot \tau}{\varepsilon \cdot \alpha \cdot x} \quad (2)$$

Donde $\varepsilon \cdot t$ es la deformación transversal o diametral de la muestra ensayada, figura (6).

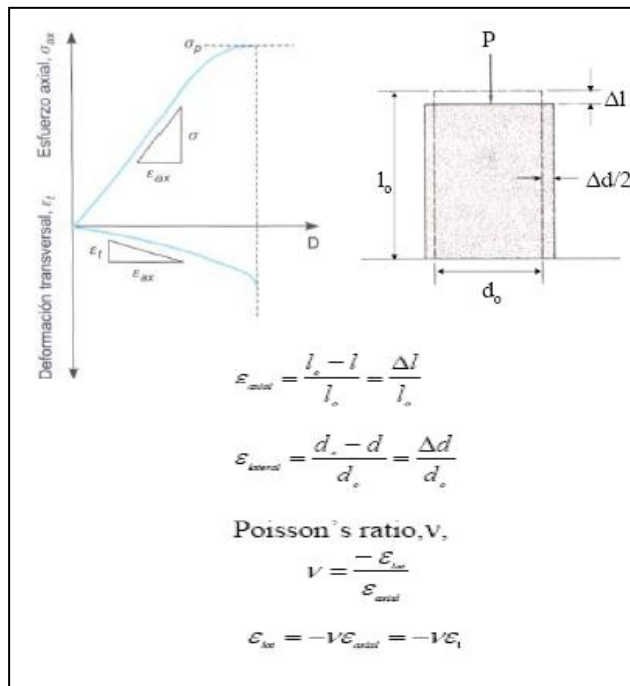


Figura 6. Curvas de esfuerzo-deformación obtenida mediante ensayos de compresión uniaxial y representación gráfica del módulo de Young y el coeficiente de Poisson.

En términos generales, el comportamiento de las rocas al ser sometidas a ensayos de carga se puede clasificar en tres tipos, estos son:

Frágil, las deformaciones que se presentan en la roca son elásticas y su resistencia disminuye de forma drástica y casi instantánea hasta alcanzar un valor cercano al cero, es típico de rocas duras y resistentes. Generalmente la rotura se produce a través de los planos de debilidad.

Frágil-Dúctil, las deformaciones son elásticas y plásticas no recuperables, la resistencia de la roca disminuye hasta un cierto valor luego de haber alcanzado deformaciones importantes,

este comportamiento lo presentan las discontinuidades rocosas o materiales arcillosos sobreconsolidados.

Dúctil, predominan las deformaciones plásticas y la resistencia no se pierde aún después de grandes deformaciones sino que se mantiene constante. La rotura se produce de forma progresiva y a través de numerosos planos que se van generando a medida que se aumenta la deformación; es un comportamiento típico de las sales y otros materiales blandos.

2.5. CRITERIOS DE ROTURA, RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DE LOS MEDIOS ROCOSOS.

2.5.1. Criterios de Mohr-Coulomb

El criterio de Mohr-Coulomb para la roca intacta es un criterio lineal que expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes en el momento de la rotura.

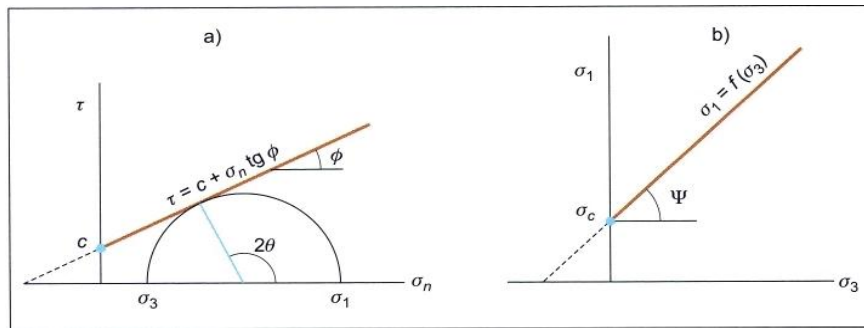


Figura 7. Envoltentes de Mohr-Coulomb en términos de (a) esfuerzos tangenciales y normales y (b) esfuerzos principales. Para un estado tensional situado por debajo de las envoltentes, no se producirá rotura.

Expresión matemática:

$$\tau = c + \sigma_n * \theta \quad (3)$$

Dónde:

τ y σ_n son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura; y

c y θ son la cohesión y el ángulo de fricción de la roca intacta.

Este criterio también se puede expresar en función de los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 .

$$(\sigma_1) = \frac{2c * \cos \theta + \sigma_3 * (1 + \sin \theta)}{(1 - \sin \theta)} \quad (4)$$

En condiciones de compresión sin confinar, es decir:

Dónde:

σ_1 Será la resistencia a la compresión simple de la roca $\sigma_1 = \sigma_c$ de la siguiente manera:

$$\sigma_1 = \sigma_c = \frac{(2c * \cos \theta)}{1 + \sin \theta} \quad (5)$$

Para condiciones en que la roca es sometida a tracción, esto es $\sigma_1 = 0$, σ_3 será igual a la resistencia a la tracción σ_t (negativo), y el criterio define para esto la siguiente expresión:

$$\sigma_3 = (-)\sigma_t = \frac{((-)2c * \cos \theta)}{1 \sin \theta} \quad (6)$$

La representación gráfica de los estados de esfuerzos en un punto recibe el nombre de círculo de Mohr; las intersecciones del círculo con el eje σ_n son los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 , el radio del círculo representa el máximo esfuerzo tangencial τ . Cualquier punto del círculo representa el estado de esfuerzos sobre un plano cuya normal forma un ángulo θ con la dirección del esfuerzo principal σ_1 aunque para las aplicaciones de la mecánica de rocas, el criterio de Mohr-Coulomb para roca intacta queda representado como lo muestra la figura (2.6).

Adicionalmente, también existe un criterio de Mohr-Coulomb para macizos rocosos, en donde tal como lo indica Hoek (2001), la resistencia del macizo rocoso es definida por la cohesión c y el ángulo de fricción θ , en la siguiente expresión:

$$\sigma_1 = \sigma * C_m + K * \sigma_3 \quad (7)$$

Dónde:

$\sigma * C_m$ es la resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso,

K es la pendiente de la relación lineal entre σ_1 y σ_3

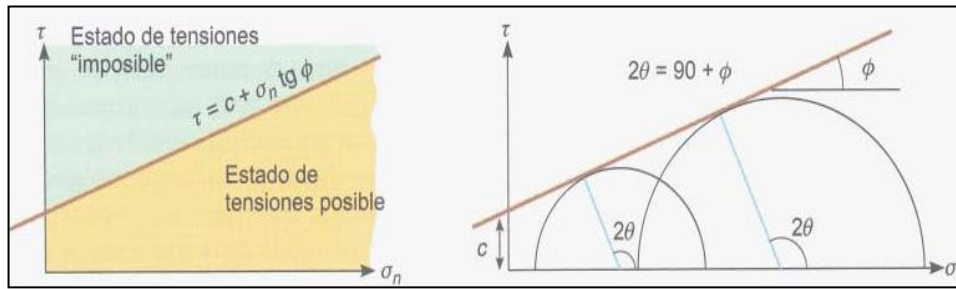


Figura 8. Criterio lineal de rotura de Mohr-Coulomb y su envolvente en términos de esfuerzos Normales y tangenciales.

El criterio de Mohr-Coulomb implica que la fractura ocurre por corte, al alcanzarse la resistencia tope del material. Este criterio es bastante sencillo, pero presenta algunos inconvenientes importantes:

- Suele presentar errores al considerar los esfuerzos actuantes en zonas de bajos esfuerzos confinantes, ya que se ha demostrado mediante experimentación, que las resistencias de las rocas aumentan menos con el incremento de la presión normal de confinamiento, que lo obtenido al considerar un sistema lineal.
- La dirección de los planos de fractura, no siempre coincide con los resultados experimentales.
- Sobrevalora la resistencia a la tracción.
- Para que el criterio sea lo más preciso posible, se recomienda:
- Suponer el valor de la cohesión aproximadamente como el 10% de la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

2.5.2. Criterio de rotura de Hoek y Brown.

Lo más recomendable para evaluar la resistencia de una matriz rocosa, es utilizando un criterio no lineal donde la gráfica generada, es una curva cóncava.

El criterio de Hoek & Brown (1980), es empírico de ruptura no lineal, válido para evaluar la resistencia de la matriz rocosa isótropa en condiciones triaxiales, cumpliendo con las condiciones que limitan el criterio de Mohr-Coulomb. La expresión utilizada se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{(m_i * \sigma_{ci} * \sigma_3) + (\sigma_{ci})^2} \quad (8)$$

Dónde:

σ_1 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor en la ruptura.

σ_{ci} es la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

m_i es una constante que depende de las propiedades de la matriz rocosa.

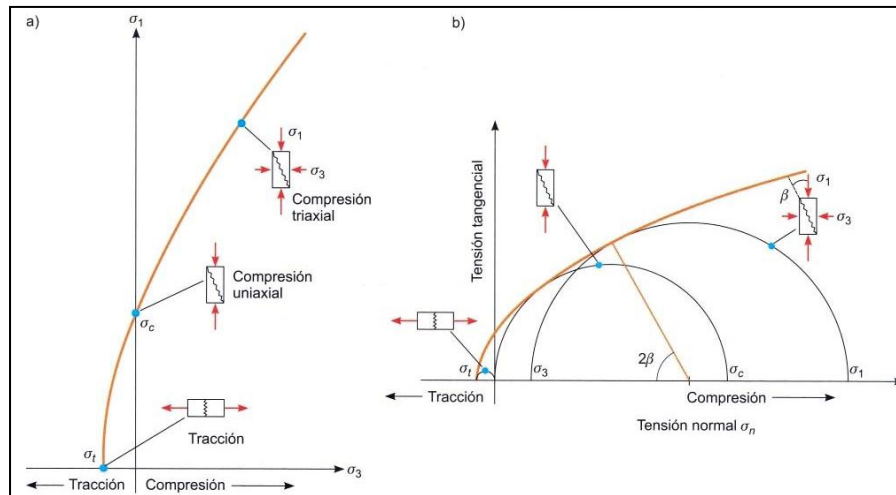


Figura 9. Envolturas de ruptura según el criterio de Hoek & Brown (1980) en función de: (a) esfuerzos principales y (b) esfuerzos normales y tangenciales.

En términos de esfuerzos normalizados con respecto a σ_{ci} , el criterio expresado adimensionalmente, se presenta de la siguiente forma:

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{ci}}\right) = \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}}\right) + \sqrt{m_i * \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}}\right) + 1} \quad (9)$$

Si en la fórmula (8), se sustituye $\sigma_3 = 0$, el valor de σ_1 será la resistencia de la roca a la compresión simple. Para $\sigma_1 = 0$ y $\sigma_3 = \sigma_1$, la resistencia a la tracción se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$\sigma_\tau = \frac{1}{2} * \sigma_{ci} \left(m_i - \sqrt{(m_i)^2 + 4} \right) \quad (10)$$

En función de los esfuerzos tangenciales y normales, la expresión viene dada por:

$$\tau = A * \sigma_{ci} \left(\left(\frac{\sigma_n - \sigma_\tau}{\sigma_{ci}} \right)^2 \right) \quad (11)$$

Dónde:

σ_τ Es la resistencia a la tracción

A, B Son constantes dependientes de m_i

σ_{ci}

Debe ser estimado en ensayos de laboratorio, o a partir de ensayos de carga puntual.

m_i Se obtiene realizando ensayos triaxiales, en caso de no ser posible, se puede obtener por medio de la bibliografía. (Tabla 5).

m_i , también puede ser calculado a partir de la ecuación (8), sustituyendo los valores $\sigma_1 = 0$

y $\sigma_3 = \sigma_\tau$ dando como resultado la ecuación siguiente:

$$m_i = \frac{(\sigma^2 - \sigma_{ci}^2)}{\sigma_t * \sigma_{ci}} \quad (12)$$

Tabla 5 Tabla de estimación de la constante m_i de acuerdo al tipo de roca.

	Tipo de roca	m_i	Tipo de roca	m_i
Sedimentarias clásticas	Conglomerado	(22)	Lutita	4
	Arenisca	19	Grauvaca	18
	Limolita	9		
Sedimentarias no clásticas	Caliza margosa	7	Caliza micrítica	8
	Brecha caliza	(20)	Yeso	16
	Caliza esparítica	(10)	anhidrita	13
Metamórficas	Mármol	9	Gneis (*)	33
	Cuarcita	24	Esquisto(*)	4-8
	Migmatita	(30)	Filita(*)	10
	Anfibolita	25-31	Pizarra (*)	9
	Milonita	(6)		
Ígneas	Granito	33	Diorita	(28)
	Riolita	(16)	Andesita	19
	Granodiorita	(30)	Gabro	27
	Dacita	(17)	Basalto	(17)
Ígneas extrusivas piroclásticas	Aglomerado	(20)	Toba	(15)
	Brecha	(18)		

(*) Valores obtenido de ensayos en matriz con dirección de aplicación de la carga normal a los planos de foliación. El valor de m_i será significativamente diferente si la rotura ocurre a favor de los planos de debilidad. Los valores entre paréntesis son estimados.

2.5.3. Criterio de Micro-Fracturas (Griffith)

El fallamiento puede ocurrir algunas veces bajo niveles de esfuerzo que son mucho menores que lo que predice el criterio de fractura. Esto indica que otro proceso puede estar dominando, y se atribuye a microfrazuras, las cuales se propagan bajo la concentración de esfuerzos que ocurre en la punta de una fractura o grieta. Una curva típica de esfuerzo deformación tiene cuatro etapas:

- Elástica
- Endurecimiento antes del máximo
- Rápida caída de esfuerzo
- Ablandamiento

Para algunos materiales frágiles, el factor determinante es el crecimiento inestable de fracturas durante la tercera etapa

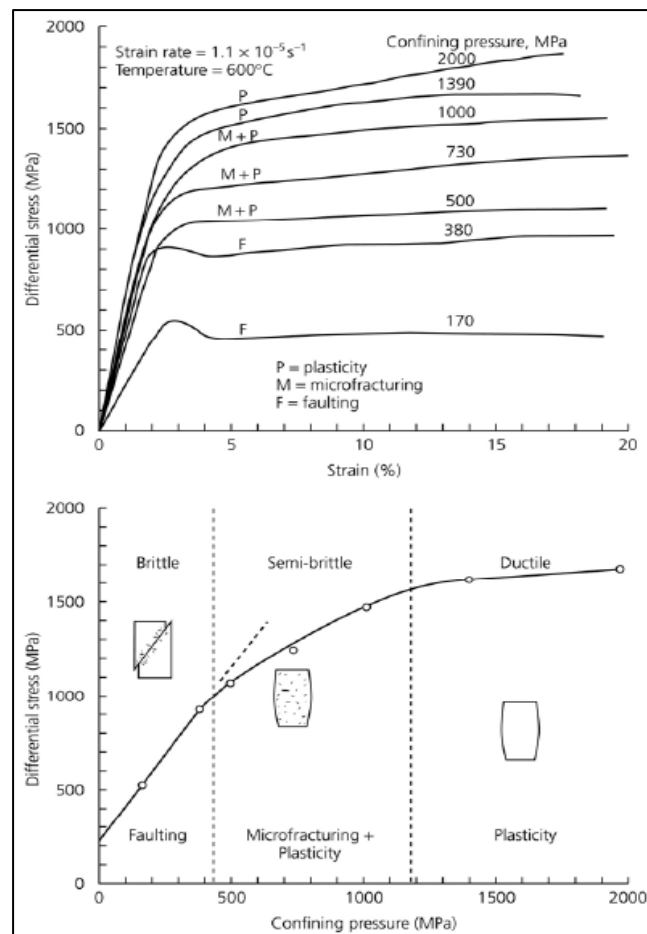


Figura 10. Reología de la roca sometida a grandes esfuerzos compresivos.

2.5.4. Clasificación de Bieniawski, 1980 (RMR – Rock Mass Rating)

Constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación, así como de sostenimiento en túneles. Toma en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.

Para aplicar la clasificación se divide el macizo en zonas que presenten las mismas características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades.

El valor RMR viene dado por la suma de las puntuaciones resultantes al aplicar los cinco parámetros de clasificación. El RMR varía de 0 a 100 puntos, distinguiendo 5 tipos de rocas. Que se muestran en la tabla (6)

Tabla 6. Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR

CLASE	CALIDAD	VALORACION RMR	COHESION	ANGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3kg/cm ²	25°-45°
IV	Mala	40-21	1-2kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	<20	<1kg/cm ²	<15°

Tabla 7. Parámetros de clasificación según Bieniawski (1989)

1	Resistencia de la roca intacta a la compresión simple (MPa)	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
1	RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	Puntuación	20	17	13	6	3			
3	Separación de diaclasas	>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m			
	Puntuación	20	15	10	8	6			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0,1mm	0,1-1mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Hidrogeología	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
	Puntuación	15	10	7	4	0			

2.6. CONSTANTES ELASTICAS "ESTATICAS" DE DEFORMACION DE LAS ROCAS

2.6.1. Introducción

Las constantes de deformación de un material son los parámetros más importantes en cualquier diseño y su determinación requiere el uso de técnicas de medición tanto de carga y deformación. La cantidad de deformación a la que la mayoría de las rocas se someten es extremadamente pequeña y su medición requiere técnicas especiales. A continuación trataremos los diversos instrumentos que se han utilizado con éxito para la medición de las deformaciones de las muestras de roca.

2.6.2. Definición de términos

Un material es llamado elástico cuando se recupera el estado original después de ser sometido a un ciclo de carga descarga.

La relación entre esfuerzo deformación es representada por constantes llamadas constantes elásticas del material.

Las constantes elásticas más importantes son:

- Módulo de elasticidad
- Módulo de Poisson
- Módulo de rigidez
- Módulo de Bulk
- Constante de Lamé

Una roca sometida a compresión tiende a deformarse. Las relaciones entre las tensiones aplicadas y las deformaciones correspondientes se denominan constantes elásticas

Las constantes elásticas pueden ser obtenidas en laboratorio aplicando gradualmente tensiones y midiendo las respectivas deformaciones, efectuando luego el cociente entre los valores absolutos.

Estos cocientes determinan las constantes elásticas "estáticas".

Otro método de medición es, bajo un estado de compresión determinado, aplicar un pequeño incremento de tensión y medir la deformación adicional; el cociente entre los

valores incrementales (D tensión/D deformación) determina las constantes elásticas "dinámicas.

Tabla 8. Constantes de deformación

μ	Relación de Poisson	$\frac{\text{Deformación Lateral}}{\text{Deformación Longitudinal}}$	$\frac{1/2(\Delta t_s/\Delta t_c)^2 - 1}{(\Delta t_s/\Delta t_c)^2 - 1}$
G	Módulo de Cizallamiento	$\frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Deformación de torsión}}$	$\frac{\rho_b}{\Delta t_s^2} * a$
E	Módulo de Young	$\frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Deformación normal}}$	$2G * (1 + \mu) * a$
K_B	Módulo volumétrico	$\frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Deformación volumétrica}}$	$\rho_b \left(\frac{1}{\Delta t_c^2} - \frac{4}{3\Delta t_s^2} \right) * a$
C_B	Compresibilidad volumétrica	$\frac{\text{Deformación volumétrica}}{\text{Fuerza aplicada}}$	$\frac{1}{K_B}$
Coeficiente $a = 1,34 * 10^{10} \rho_B$ en gm/cc y Δt en μs /pie			

2.6.3. Módulo de elasticidad o módulo de Young

El módulo de elasticidad, también denominado módulo de Young, es un parámetro que se obtiene empíricamente a partir de un ensayo denominado ensayo a tracción.

El ensayo de compresión simple estudia el comportamiento de un material sometido a un esfuerzo de compresión progresivamente creciente, ejercido por una máquina apropiada, hasta conseguir la rotura.

El ensayo se efectúa sobre una probeta normalizada, marcada con trazos de referencia, para poder determinar las deformaciones en función de los esfuerzos.

Los esfuerzos se definen como:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \tag{13}$$

Siendo

P = carga aplicada sobre la probeta,

A_0 = área transversal inicial

Mientras que las deformaciones las definimos como:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (14)$$

Con

$$\Delta l = l - l_0 \quad (15)$$

Siendo:

l = longitud correspondiente a una carga determinada y

l_0 = longitud inicial (sin carga).

A partir de los ensayos de tracción se obtienen las curvas tensión deformación de los distintos materiales. En dichas curvas se representan los valores obtenidos de los alargamientos frente a los esfuerzos aplicados. Las curvas, en el caso de materiales dúctiles, suelen tomar un aspecto similar a este:

2.6.4. Módulo de Poisson

Se conoce a la relación de Poisson, cuando un cuerpo se somete a una fuerza, este siempre se deformara en dirección a esta fuerza. Sin embargo, siempre que se producen deformaciones en dirección de la fuerza aplicada, también se producen deformaciones laterales. Las deformaciones laterales tienen una relación constante con las deformaciones axiales, por lo que esta relación es constante, siempre que se el material se encuentre en el rango elástico de esfuerzos, o sea que no exceda el esfuerzo del límite proporcionalidad; la relación es la siguiente:

$$\mu = \frac{\varepsilon(lateral)}{\varepsilon(axial)} \quad (16)$$

Donde

ε = deformación unitaria

μ = coeficiente de Poisson,

El coeficiente de Poisson depende indirectamente del módulo de elasticidad o módulo de Young (E), del módulo de rigidez o de cizalladura (G), la cual se puede expresar de esta manera:

$$E = 2G * (\mu + 1) \quad (17)$$

Cabe recalcar que el rango de valores para el coeficiente es muy pequeño, oscila dentro 0,25 y 0,35; habiendo excepciones, muy bajos como para algunos concretos ($\mu=0,1$), o muy altos como lo es para el hule ($\mu=0,5$), el cual es el valor más alto posible.

Obtención del coeficiente de Poisson

Hay dos formas de determinarlo, por método directo o por método indirecto. Ambos se obtienen por la prueba de tensión y compresión. La ASTM (American Society for Testing and Materials), ha publicado guías para efectuar estas pruebas y proporcionan límites para los que el uso de un material particular se considera aceptable.

2.6.5. Módulo de rigidez

El módulo de rigidez de un material viene dado por la relación entre la fuerza aplicada en dirección tangencial y la deformación unitaria correspondiente. Suministra información sobre la propagación de las ondas sísmicas a través de las rocas. El módulo de rigidez se puede calcular midiendo las velocidades de las ondas sísmicas a través de una probeta de rocas. En los líquidos y gases vale 0

$$\varphi = \frac{1}{G} * \frac{F}{s} \quad (18)$$

donde:

G=módulo de cizalladura o rigidez (N/m²).

φ =ángulo de cizalladura (radianes).

F=Esfuerzo al que está sometido (N).

s=sección (m²).

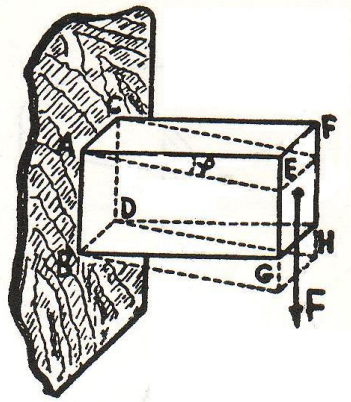


Figura 12. Módulo de rigidez

2.6.6. Módulo de Bulk

Define la Resistencia a la compresión de un fluido. Se refiere a la presión necesaria para aplicar a un líquido para generar una pérdida del volumen. Las unidades utilizadas son P_a (pascal) o psi (Lbs/in²).

$$K = \left(\frac{E}{3*(1-2\nu)} \right) \quad (19)$$

2.6.7. Constante De Lamé

Constante elástica igual al módulo volumétrico menos 2/3 del módulo de corte

$$\lambda = K - \frac{2G}{3} \quad (20)$$

2.7. MEDICIÓN DE LAS DEFORMACIONES

Las mediciones de pequeñas deformaciones de muestras de roca, por lo general son muy por debajo de las magnitudes que pueden ser detectadas por los sentidos, por lo tanto, estas requieren la ampliación en un grado variado.

Una serie de técnicas de medición de deformación están disponibles y han sido utilizadas con éxito. La mayoría de estas se pueden agrupar en uno de los siguientes grupos:

- Medidores mecánicos

- Dispositivos ópticos
- Medidores eléctricos

2.7.1. Medidores Mecánicos

Uno de los instrumentos más importantes usados en la medición de la deformación estática son los indicadores de línea que utilizan engranajes de medición de pequeños movimientos. El instrumento consiste en un tren de engranajes pequeños recubiertos, accionados por una rejilla de corte en el eje que sigue el movimiento que se medirá. El eje cuenta con un resorte (30 - 100 g) (3.1 oz) para proporcionar un contacto positivo y superar la pérdida de movimiento. Un puntero ligero está montado en el extremo de los ejes de movimiento del tren de engranajes y tiene una escala graduada.

Los contadores más comunes son por lo menos de 0,01 y 0,001 mm, una gama normal es de 2,5 a 10 mm, aunque algunos indicadores especiales están disponibles con un alcance de hasta 10-15 cm

El peso de la mayoría de estos relojes medidores es de sólo alrededor de 150 a 200g pero medidores pequeños de tan sólo 50g, también están disponibles con una gama de graduaciones con un rango de 0,5mm hasta 0.001mm. Los medidores pueden ser montados entre los platos de presión o en la nuestra cilíndrica o prismática, usando un accesorio especial. Un arreglo general para medir la deformación lateral y longitudinal se da en la figura, (13), muestra el montaje de los calibradores del dial utilizando bordes afilados fijos en dos soportes independientes unidos por dos tiras de resorte de acero

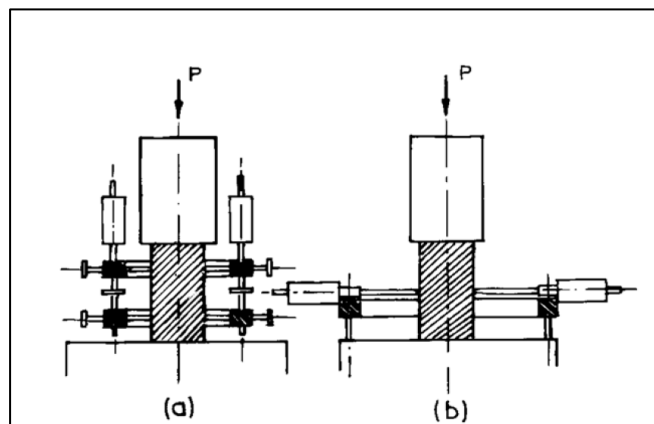


Figura 13. Esquema de medición de la deformación por indicadores diales, (a) mediciones de deformación lateral (b) medición de la deformación transversal.

Los tenedores superiores están provistos de un orificio a través del cual se puede insertar usando el dial indicador.

El eje extremo actúa contra una superficie plana que soporta la parte inferior del filo de la segunda cuchilla

La línea se hace Muecas de bordes afilados mostrados en las superficies los lugares de los puntos a una distancia igual a la distancia entre los bordes afilados. Dos conjuntos de marcos de duraluminio mantienen unidos los bordes con una cuchilla al resorte de deformación de acero.

La medición de la deformación lateral se realiza mediante el uso de soportes especiales para mantener una serie de indicadores dial con sus ejes de presión contra la superficie de la muestra. En tales casos, el ancho de la muestra es la base de medición y por lo tanto no se puede variar de la dimensión determinada de la muestra. El método ha demostrado ser muy confiable para las rocas de la fuerza media y alta.

El método no es adecuado para rocas blandas desde los bordes de la cuchilla se puede cortar profundamente la muestra puede descamarse bajo esfuerzos cortantes inducidos por las tiras de resorte de acero

2.7.2. Medidores ópticos

Los indicadores ópticos consisten en un brazo corto mecánico con un pequeño espejo montado sobre el que refleja un haz de luz que cae sobre ella.

Siguiendo la ley de la reflexión, el haz reflejado se mueve dos veces más rápido que el brazo corto y el movimiento angular aumentado del haz reflejado es medido a cierta distancia del punto de pivote del sistema o mediante un sistema óptico con ello el aumento el desplazamiento del final del brazo tipo mecánico.

Una gran variedad de instrumentos ópticos se disponen con un rango de ampliación de 10-10000 veces y de 5mm a 0,002mm usando uno dos o tres sistemas de espejo.

Uno de los más conocidos es el único espejo extensómetro Martens, que ha sido muy frecuentemente usados en las pruebas estática de rocas

El sistema consiste en un hilo fijo montado en un extremo de un brazo fijo un pequeño espejo montado en un diamante que tiene un borde de descanso en la arboleda del brazo que forma el punto de giro y el borde de diamante segundos de descanso.

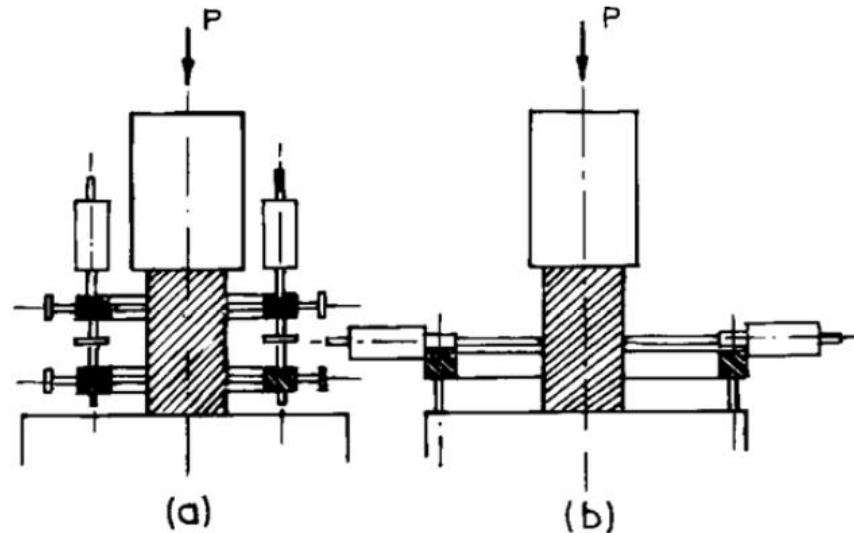


Figura 14. Esquema de los indicadores para mediciones de deformación (a) medidor de deformación longitudinal, (b) medidor de deformación transversal

2.7.3. Medidores eléctricos

Medidas eléctricas de deformación y muchos otros parámetros mecánicos como la fuerza la aceleración y el movimiento angular, son posibles medir, con efectos tales como el cambio en la resistencia eléctrica de los cables cuando se estira, o se mueve un elemento de imán los dos tipos de medidores eléctricos más utilizada en la medición de la deformación de las rocas son:

- Transformadores diferenciales de variable lineal
- Medidores de resistencia de tensión

Transformadores diferenciales de variable lineal (LVDT)

Es un transformador electromecánico que produce una salida eléctrica proporcional al desplazamiento de un núcleo móvil. Consta de tres bobinas igualmente espaciadas en una bobina cilíndrica de Pentecostés la bobina central que constituye la bobina primaria y los dos exteriores que forman las bobinas secundarias.

Un cilindro central movable de bobinas magnéticas dentro de esta forma el flujo magnético que une las bobinas. Las bobinas secundaria están conectados en serie en oposición, de modo que los dos voltajes en el circuito secundario son en fase opuesta y la producción neta de los transformadores es la diferencia de la tensión

Cuando el núcleo está en la posición central, la producción neta es cero y este punto se denomina punto de equilibrio o punto nulo. A medida que el núcleo se mueve a cualquier lado la tensión inducida a un lado de la bobina aumenta, mientras que en el otro lado disminuye, dando una intensidad diferencial de buena lectura.

La salida varía linealmente con el desplazamiento del núcleo

Equation Chapter (Next) Section 1

3. ENSAYOS PARA ROCAS

Las propiedades físicas de la roca intacta son determinadas mediante pruebas de laboratorio. Para ello, se realizan una serie de ensayos que permiten definir los parámetros característicos de cada espécimen de roca y de esta manera, poder tener una interpretación del comportamiento del macizo rocoso.

Los distintos ensayos a realizar, se dividirán en dos grupos; estáticos y dinámicos.

Los ensayos realizados para evaluar las propiedades físicas de la roca intacta se describen a continuación:

3.1. ENSAYOS ESTÁTICOS

3.2. Resistencia a la compresión simple de núcleos de roca intacta Norma (ASTM D 2938 – 95R02)

El método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión sin confinar, de especímenes de núcleos de roca intacta es utilizado para determinar fórmulas de diseño, y algunas veces es usado como índice de propiedades para determinar el método apropiado de excavación.

Este ensayo de laboratorio, no refleja del todo las características y propiedades del macizo rocoso (in situ), debido a que estas están influenciadas por las diaclasas, juntas, fallas, homogeneidad o heterogeneidad, planos de debilidad y otros factores. En general, estos ensayos de laboratorio son usados como una referencia para las aplicaciones ingenieriles



Figura 15. Equipo de Compresión simple

Para calcular la resistencia a la compresión sin confinar (σ), de especímenes de núcleos de roca intacta se debe utilizar la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (21)$$

Dónde:

P es la carga máxima soportada por la muestra (kg)

A es el área de la sección de la probeta (cm²).

En la tabla 9, se muestra la clasificación de la calidad de la roca intacta en función de su resistencia a la compresión uniaxial, sugerida por Franklin J. (1989).

Tabla 9. Clasificación de la roca en función de su resistencia a la compresión uniaxial.

Clasificación de la roca	Co (Kg/Cm ²)
Extremadamente débil	< 20
Muy débil (roca blanda)	20 - 60
Débil	60 – 200
Medianamente resistente	200 – 600
Muy resistente roca dura	600 – 2000
Extremadamente resistente	> 2000

3.3. Resistencia de Carga Puntual en Rocas (ASTM D 5731-02, 2002)

Determina un índice de resistencia en muestras de rocas de geometría irregular o cilíndrica (sin preparaciones especiales), las cuales son sometidas a carga entre dos piezas cónicas de punta redondeada.

Los resultados son utilizados para clasificación y caracterización geotécnica de la roca intacta. Igualmente, pueden establecerse correlaciones con la resistencia a la compresión y a la tensión uniaxial.

El ensayo mide el Índice de Resistencia a Carga Puntual, I_s (50) y el Índice de Anisotropía, I_a (50).

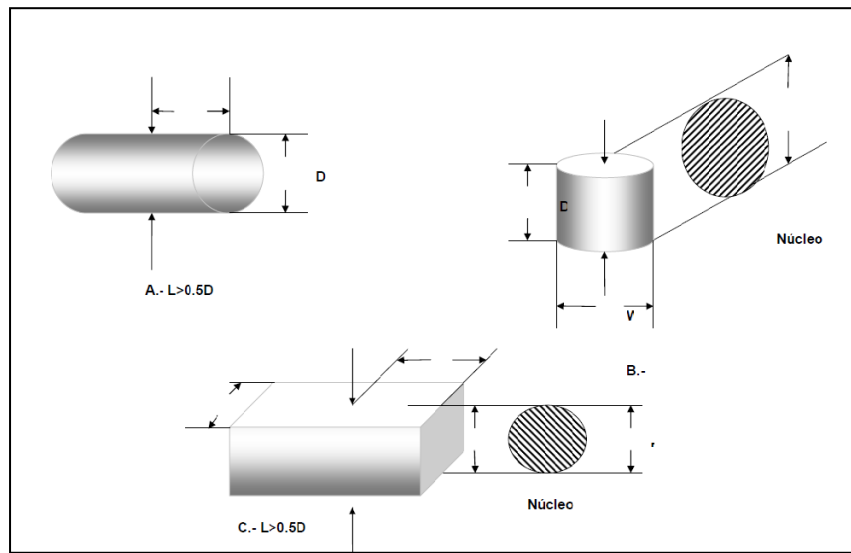


Figura 16. Requerimientos geométricos para el ensayo de Carga Puntual: A.-Diametral, B. Axial, C. Bloque

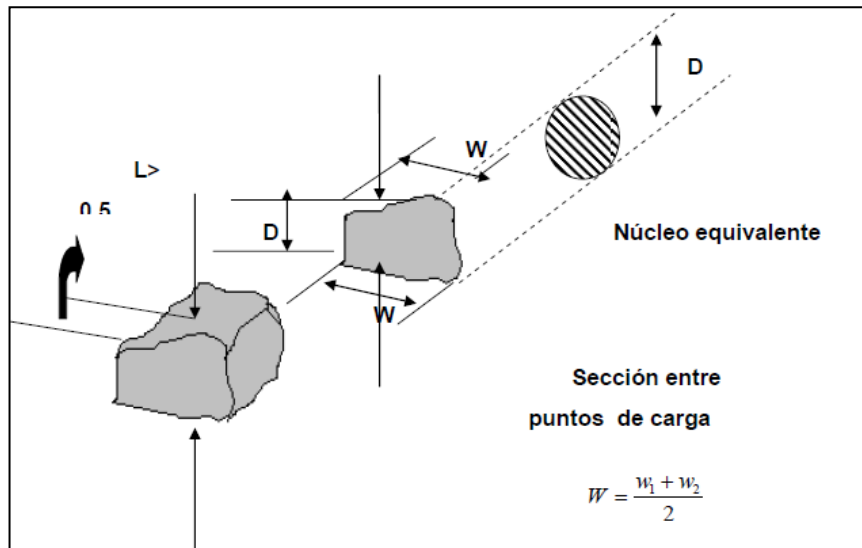


Figura 17. Requerimientos geométricos para el ensayo de Carga Puntual: Bloque Irregular

Aparatos y equipos necesarios

La máquina del ensayo (figura 18) consiste en un sistema de carga (placas de carga cónicas, bomba y gatos hidráulicos), un sistema para medir la carga (P) necesaria para romper la muestra y un sistema para medir la distancia (D) entre las puntas de carga, con las siguientes especificaciones:

El sistema de carga debe poder ajustarse para ensayar muestras de roca con un tamaño entre 25 y 100 mm preferiblemente.



Figura 18. Equipo para la realización del ensayo de Carga Puntual.

La capacidad de carga debe ser suficiente para romper las muestras más grandes y resistente. Una capacidad de 5000 kg es suficiente para las dimensiones indicadas anteriormente.

La máquina debe ser diseñada y construida de manera que no permita distorsiones durante la aplicación de cargas de fallas sucesivas y que las puntas cónicas se mantengan coaxiales en un rango de ± 0.2 mm durante el ensayo.

Las placas de carga deben tener forma cónica (60°), truncada esféricamente ($r=5$ mm) según se ilustra en la figura (19). Deben estar construidas de material suficientemente duro (tungsteno o acero), que no se dañe durante el ensayo.

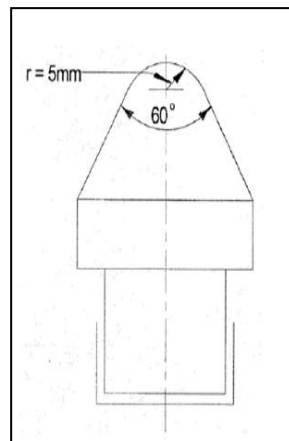


Figura 19. Equipo de Carga Puntual, Detalle de las placas de carga cónicas.

El sistema de medida de carga (manómetro, celda de carga o transductor), debe permitir la determinación de la carga (P) requerida para la rotura de la muestra con una precisión de $\pm 2\%$ P. Es esencial que posea un indicador de carga máxima, de manera que la carga de rotura quede registrada y pueda ser leída después de la falla.

El sistema de medida debe resistir el ariete hidráulico y a las vibraciones, de forma que conserve la precisión de las lecturas durante ensayos sucesivos.

La distancia (D) entre los puntos de contacto roca-cono se medirá con una precisión de $\pm 2\%$ D. El sistema debe permitir verificar el "desplazamiento nulo" cuando las puntas están en contacto preferiblemente incluir el ajuste a cero.

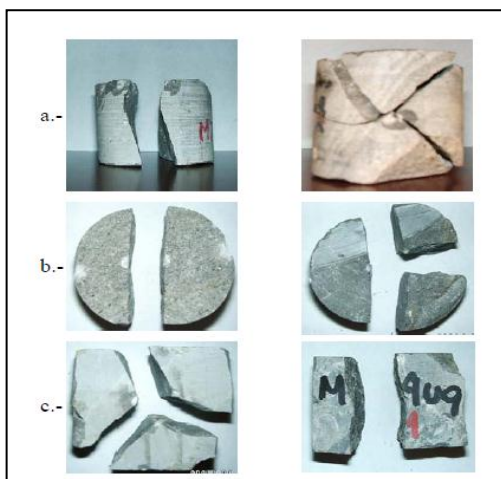


Figura 20. Modos de falla típicos: a. Ensayos diametrales, b, Ensayos Axiales, c.-Ensayos en bloques.

3.4. Ensayo de Corte Directo/Anillo de Corte CATS

La caja de corte convencional ha sido empleada extensivamente para determinar la resistencia al corte pico y residual de un material que se esté ensayando en función de los esfuerzos normales al plano de corte. El sistema utiliza unos mecanismos de aplicación de fuerza normal y también de carga horizontal (fuerza de corte). Las cargas normales y de corte serán registradas empleando celdas de carga o por medio de anillos.

Las deformaciones son registradas ya sea empleando medidores de deformación de dial o transductores de variación diferencial lineal/linear variable differential transducers (LVDTs).

Las cargas normales y de corte pueden ser aplicadas empleando bombas manuales o actuadores servo-controlados neumáticos o hidráulicos. La operación servo-controlada permite determinar fácilmente la dilatancia de la muestra.

Las cajas de corte convencionales consisten de una base o asiento de montaje de la muestra a ensayar en una masa encapsulante dentro de la caja de corte con el plano de discontinuidad posicionado precisamente entre los retenedores superior e inferior.

Las deformaciones normales y de corte son registradas, así como también las cargas normales y de cortes que son aplicadas.

Equipo de Corte Directo

La figura 21 muestra un equipo de corte característico disponible para realizar el ensayo de corte directo. La muestra a ensayar (intacta o con discontinuidades) es montada dentro de la caja de corte y cementada en las dos mitades superior e inferior de la caja de corte. La muestra se somete a un esfuerzo normal y a un esfuerzo de corte. La carga normal puede ser aplicada por medio de un actuador doble montado en el marco de carga externo. Los componentes del equipo de corte incluyen:

1. Caja de corte, superior e inferior
2. Actuador de carga de corte
3. Actuador de carga Normal
4. Sensor de desplazamiento de Corte

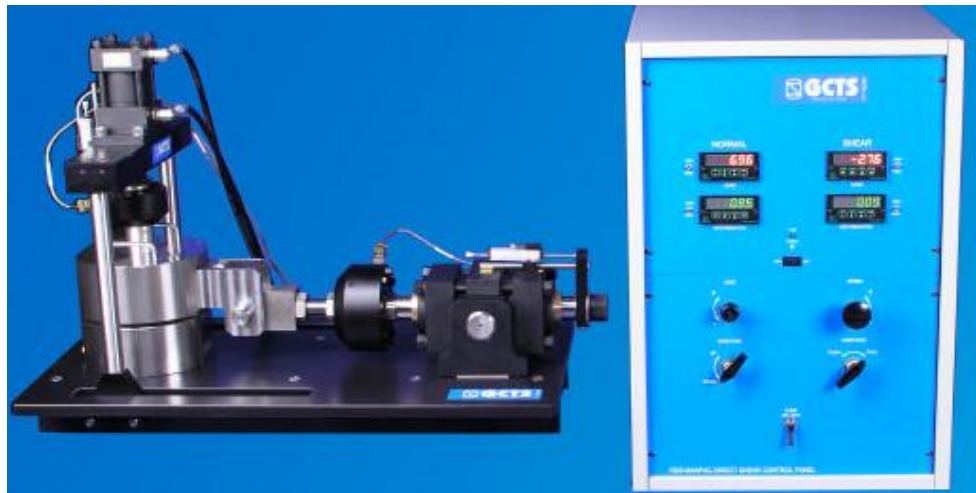


Figura 21. Diagrama del Equipo de corte directo

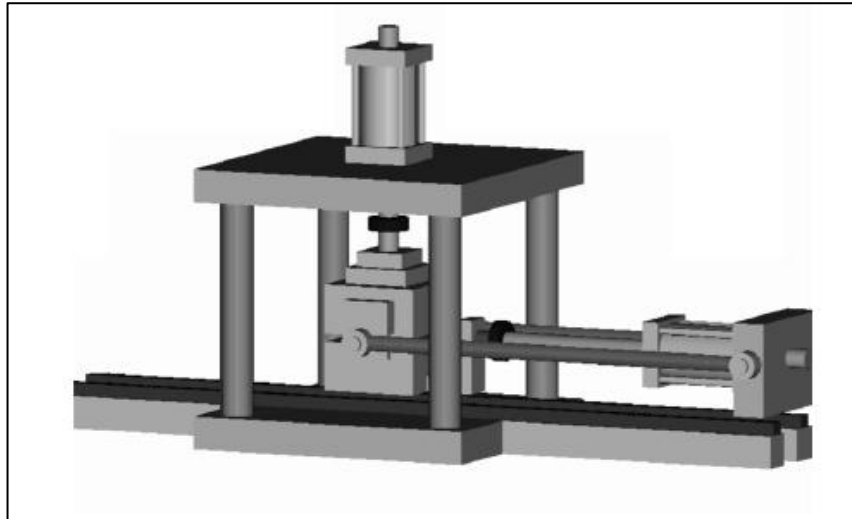


Figura 22. Diagrama del Equipo de corte directo

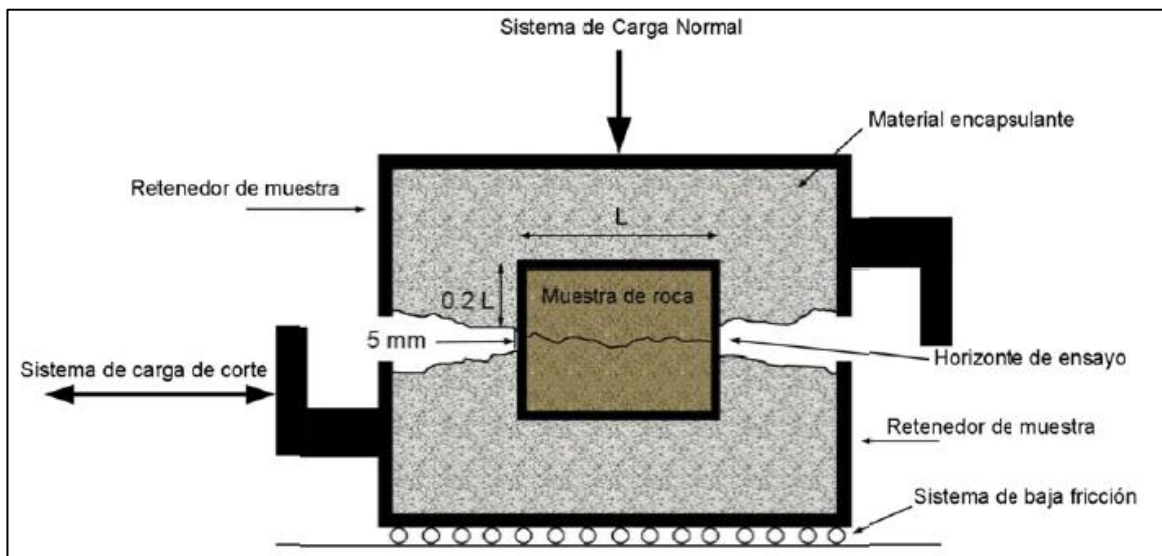


Figura 23. Diagrama de corte directo

Mecanismo de Carga Normal

La carga normal es aplicada empleando sistema hidráulico, neumático o mecánico de carga muerta, el cual es diseñado para hacer que cierta carga esté distribuida sobre el plano a ser ensayado. La capacidad del actuador de carga normal debe ser mayor que la dilatación o consolidación de la muestra esperada durante el ensayo y debe ser capaz de mantener la carga normal dentro de un 2% de la carga requerida.

Mecanismo de Carga de Corte

El mecanismo de carga de corte puede ser aplicado empleando sistemas hidráulicos o mecanismos mecánicos. La carga debe ser distribuida a lo largo de cada una de las dos mitades de la muestra a ensayar con la fuerza de corte actuante en el plano de corte. El actuador de corte debe tener un desplazamiento del 10% mayor que la longitud de la muestra. También debe ser construido sobre una unidad de baja fricción haciendo que el equipo construido asegure que la resistencia al corte por desplazamiento sea menor del 1% de la fuerza de corte máxima aplicada en el ensayo.

Detección de la Carga Normal y Corte

La carga normal es registrada empleando la celda de carga montada entre el actuador de carga normal y el tope de la caja de corte. La exactitud de la celda de carga debe ser $\pm 2\%$ de la carga máxima alcanzada en el ensayo. La celda de carga debe tener una exactitud de aproximadamente 0.1% de la capacidad de la celda de carga.

Tipos de especímenes para ensayo de corte directo

El ensayo de corte directo sobre un espécimen puede ser de 4 tipos: el aspecto importante es diferenciar al área de la superficie de corte del espécimen la cual será cizallada o cortada durante el ensayo. La configuración del espécimen determinara la forma del área de la superficie de corte

Existen básicamente 4 tipos de especímenes, los cuales, con la excepción del cilíndrico, relacionan la forma del área de la superficie de corte del espécimen:

- Cilíndrica
- Cuadrada
- Rectangular
- Otra

Por defecto el ensayo del espécimen tendrá los parámetros predeterminados del espécimen de la configuración del ensayo

Espécimen cilíndrico

El espécimen cilíndrico es configurado por su altura h así como su diámetro d . el área de la superficie de corte de un espécimen circular es dada por su orientación. En la actualidad el programa permite 3 orientaciones del espécimen cilíndrico, que dan tres posibles áreas de superficies de corte:

- Cuando el espécimen cilíndrico está orientado verticalmente, en este caso tendremos una sección transversal circular
- Si el espécimen está inclinado con respecto a la vertical tendremos una sección transversal horizontal elíptica para el área de superficie de corte.
- Cuando el espécimen esta acostado completamente (posición horizontal), entonces tendremos una superficie de corte rectangular.

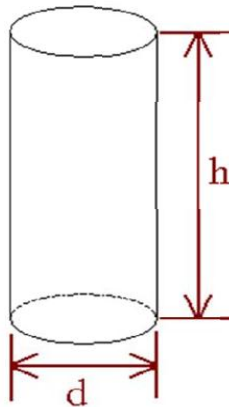


Figura 24. Espécimen cilíndrico para corte

Superficie del área de corte para un espécimen circular

Si un espécimen cilíndrico es orientado en posición vertical, entonces, obtendremos una sección transversal para el área de la superficie de corte que será definida por su diámetro d debido a que la sección transversal circular es simétrica, la dirección de carga no tiene que ser definida para esta área de la superficie de corte.

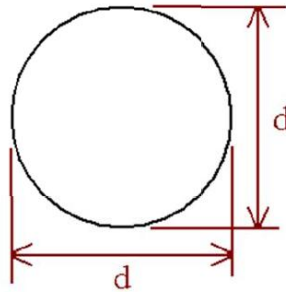


Figura 25. Área de corte para un espécimen circular
Superficie del área de corte elíptica para un espécimen circular

Si el espécimen cilíndrico está inclinado con respecto a la posición vertical en ángulo α , entonces tendremos un área de sección transversal elíptica para la superficie de corte la cual es definida por su diámetro d , así como también por la distancia horizontal mayor ld , para definir la elipse.

Debido a que la sección transversal no es simétrica una dirección de carga no está definida para esta área de la superficie de corte.

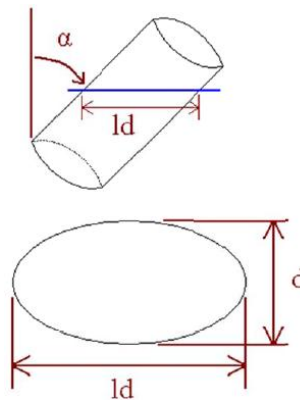


Figura 26. Superficie del área de corte elíptica para un espécimen circular
Superficie de área de corte rectangular para un espécimen circular

Si el espécimen es orientado de forma tal que se encuentra en posición horizontal en este caso tendremos un área de sección transversal rectangular para la superficie de corte, la cual es definida por su diámetro d , así como por su altura h , para configurar un rectángulo

En esta orientación se asume que la superficie del área de corte pasa por el centro del cilindro, donde el valor de la sección transversal es el diámetro por la altura del espécimen

$d * h$, Debido a que la sección transversal no es simétrica una dirección de carga no está definida para esta área de la superficie de corte.

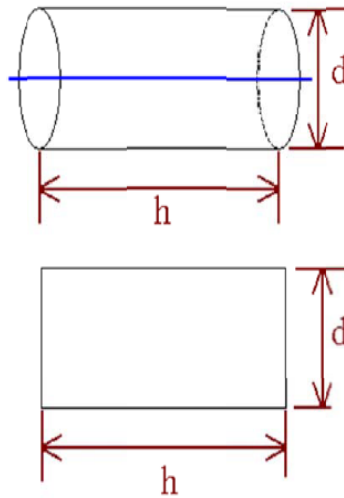


Figura 27. Superficie de área de corte rectangular para un espécimen circular
Espécimen cuadrado

Está configurado por su altura h así como también por las dimensiones de sus lados s , durante el ensayo se asume que el espécimen tendrá un área de sección transversal para la superficie de corte que será cuadrado en posición horizontal.

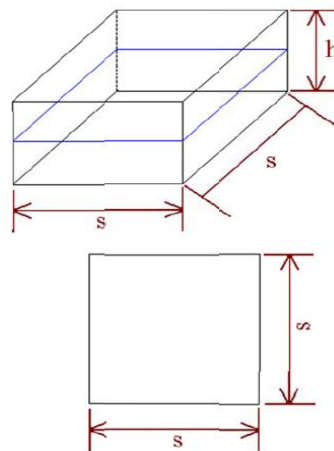


Figura 28. Superficie de área de corte para un espécimen cuadrado
Detección de la Deformación Normal y Corte

La deformación normal y corte en la muestra a ensayar puede ser medida empleando "transductores lineales variables diferenciales/linear variable differential transducers" (LVDTs).

Un posible arreglo es tener tres (3) LVDT para medir la deformación normal y otro LVDT para medir la deformación por corte. El rango de trabajo recomendado para los LVDT para el desplazamiento normal y de corte es de +0.25 pulgadas (+6mm) con una exactitud mejor de 0.001 pulgadas (0.025 mm).

Generalidades del Programa

El modo de Ensayo de Corte Directo GCTS de dentro del programa CATS, es un programa de uso fácil que permite al usuario configurar fácilmente el ensayo y realizar el ensayo de corte directo. El programa tiene previsto control y determinación de tiempo real de entradas experimentales diversas, tal como el área corregida de corte del espécimen, así como también el esfuerzo normal y el esfuerzo al corte. El usuario tiene la elección para configurar su propio ensayo consistente de múltiples etapas, dentro de cada etapa podrá iniciarse con una etapa de Consolidación, una Carga de Corte o Universal. La etapa de Consolidación permite al usuario realizar fácilmente una consolidación normal, y la Etapa de Carga de Corte es optimizada, mientras la etapa Universal le permite al usuario definir cualquier secuencia de ensayo que quiera. Como mínimo, el programa requiere que los sensores eléctricos midan la carga de corte y deformación de corte. El control de la carga normal y/o la carga corte o puede ser realizada utilizando a un controlador externo o servo controlado usando este programa cuándo es combinado con una servo de la válvula, o servo control, empleando el programa cuando es combinado con una servo-válvula, servo-amplificador y un actuador doble. El "Modo de Ensayo Anillo de Corte/Ring Shear Test mode" dentro del software

CATS, es un programa de fácil uso que permite configurar y realizar el "ensayo de corte de anillo torsional/torsional ring shear tests". La etapa de Consolidación permite al usuario realizar fácilmente un consolidación normal, y la Etapa de Carga de Corte es optimizada, mientras la etapa Universal le permite al usuario definir cualquier secuencia de ensayo que quiera. Como mínimo, el programa requiere que los sensores eléctricos midan la carga de corte y deformación de corte.

El control de la carga normal y/o la carga corte o puede ser realizada utilizando a un controlador externo o servo controlado usando este programa cuándo es combinado con

una servo de la válvula, o servo control, empleando el programa cuando es combinado con una servo-válvula, servo-amplificador y un actuador doble.

El programa permite en tiempo real determinar y controlar varias entradas de ensayos, tales como el esfuerzo normal y el esfuerzo de corte. El usuario tiene la elección para instrumentar su propio ensayo consistente de etapas múltiples, dentro de cada etapa se iniciara con una Consolidación, Carga de Corte o la Etapa Universal.

3.5. ENSAYO TRIAXIAL CATS

El ensayo triaxial es empleado para determinar las propiedades de resistencia esfuerzo deformación en suelos y rocas. El modulo experimental triaxial está dirigido para realizar pruebas triaxiales convencionales, realización de ensayos de compresión a una velocidad de deformación constante, así como también la ejecución de métodos avanzados como la trayectoria de esfuerzos y la trayectoria de deformación. El propósito de este programa es asesorar al usuario acerca de la función de ciertas tareas y recordarle los pasos necesarios como abrir y cerrar una válvula.

El modulo del ensayo triaxial dentro del software CATS es un versátil programa de prueba. Puede ser utilizado en formato simple usando una carga y un aporte de deformación, como puede ser utilizado para medir directamente calibres y deformaciones radiales y también para hallar los volúmenes externos e internos del espécimen. El software tiene la capacidad de controlar una válvula de desagüe automática de presión de poros así como también, controlar a un controlador de presión/volumen.

Las seis etapas independientes del ensayo (saturación, consolidación, carga dinámica, módulo resiliente, carga universal y carga estática) pueden estar programadas para ser realizadas de manera automática y consecutiva, con el sistema una vez programado para realizarse de manera totalmente automatizada.

La celda triaxial de alta presión ha sido diseñada para muestras de roca con diámetro comprendidos de hasta 100 mm (4 pulgadas) y longitudes de hasta 200 mm (8 pulgadas) con presiones confinantes de hasta 200 Mpa y cargas axiales de hasta 3500 kN. El diámetro interno de la celda es de 150 mm y posee conectores que se alimentan de otros conectores que se encuentran en la base de la celda, que permiten la instrumentación a través de la celda para realizar medidas precisas del módulo de deformación y la relación de Poisson.

Los cabezales de la muestra tiene canales para los o-ring, de manera de sellar correctamente y tiene asientos esféricos para minimizar las concentraciones debido a imperfecciones en el paralelismo de los extremos de la muestra. Las líneas de fluidos de poros tienen conectores en la base de la celda para una interface fácil, ya sea con el computador del servo-controlador y el sistema controlador del intensificador de presión aire/aceite. Y con un pistón de carga con asiento esférico.

Sistema de presión de confinamiento HPVC-210:

Sistema de intensificador de presión de confinamiento HPVC-210 ha sido diseñado para suministrar el control de volumen de confinamiento o presión de confinamiento cuando el control es operado con el servo-controlador SCON. El sistema ha sido probado para presurizar hasta 210 Mpa y también tiene un disco de seguridad como protección contra la sobrepresión. El intensificador tiene un volumen de 560cc. Un acumulador de presión ha sido instalado en línea con la presión de salida para minimizar algunos golpes que pueden ir de la servo-válvula, asegurando así el control constante y preciso en el proceso de control de volumen o presión. El sistema está diseñado para suministrar una presión máxima de 210 Mpa cuando la presión hidráulica inicial sea 21 Mpa (una relación 10:1).

Ejecución de un ensayo triaxial

Ensamble la celda triaxial y posicione la celda dentro del marco de carga.

Conecte la línea de compresión confinante a la celda triaxial.

Emplee las válvulas ubicadas en la parte frontal del gabinete hpc-210, abra las siguientes válvulas:

- Llenado de celda.
- Recarga/vaciado.
- Salida.
- Tope de celda válvula de 4 vías para el llenado celda.
- Flujo a on.

El fluido de confinamiento fluye desde el gabinete a la celda triaxial. Apenas la celda está llena se podrá observar el aceite en el indicador de llenado/full indicator.

Apague la válvula de flujo cambiando el interruptor a off.

Cierre la válvula de carga/descarga, y la válvula en el tope de la celda.

Aplique una pequeña carga de asiento, aplicando la presión confinante y entonces aplique la presión de poros.

Antes de aplicar la presión de poros, abra el drenaje de purga en el cabezal de carga superior (en la parte externa de la celda triaxial) y entonces aplique lentamente una pequeña presión de poros hasta que se vea drenar el agua a través de la línea de drenaje en la parte superior de la celda) esto indica que el circuito de presión de poros dentro de la celda

triaxial está lleno no hay aire atrapado. Cierre el dren de purga ubicado en la parte superior de la celda triaxial.

Procedimiento de descarga

- Una vez finalizado el ensayo, detenga el programa de carga y remueva la carga axial, presión de poros y presión confinante (en ese orden) empleando el programa del sistema.
- Cuando la carga axial haya sido reducida a cero, apague las válvulas del marco con la finalidad de bloquear el pistón de carga en su posición.
- Reduzca la presión de poros a cero por medio del programa CATS. Asegúrese que la presión es cero, abra la válvula de recarga/vaciado – recharge/dump, esto permite que cualquier presión residual sea liberada al tanque de almacenamiento.
- Cierre la válvula de recarga/vaciado – recharge/dump.
- Asegúrese que la presión de celda es cero con el programa.
- Abra la válvula de recarga/vaciado en el tope de la celda.
- Coloque la válvula de 4 vías en la posición de drenaje de celda/ drain cell.
- Coloque la válvula de 3 vías en la posición de drenaje de celda/ drain cell.
- Encienda la válvula de vacío/vac.
- El aceite fluirá desde la celda triaxial al tanque o reservorio de almacenamiento. Después que el aceite haya sido retirado, se debe succionar aire hacia el tanque, en ese punto se puede cerrar la válvula de vacío, válvula de recarga/carga, válvula de salida y válvula en el tope de la celda.
- La celda triaxial ahora está lista para ser desarmada.

Sistema de presión de poros HPCV-210:

Sistema de intensificador de presión de GCTS HPVC-210 ha sido diseñado para suministrar el control de volumen de poros cuando el control es operado con el servo-controlador SCON. El sistema ha sido probado para presurizar hasta 210 Mpa y también tiene un disco de seguridad como protección contra la sobrepresión.

El intensificador tiene un volumen de 560cc. Un acumulador de presión ha sido instalado en línea con la presión de salida para minimizar algunos golpes que pueden ir de la servo-

válvula, asegurando así el control constante y preciso en el proceso de control de volumen o presión. El sistema está diseñado para suministrar una presión máxima de 210 Mpa cuando la presión hidráulica inicial sea 21 Mpa (una relación 10:1).

Ejecución de un ensayo triaxial

- Conecte las mangueras de conexión desde el gabinete del HPVC-210 a la celda triaxial mientras esta se encuentre desarmada.
- Asegúrese que el intensificador este totalmente lleno. Una vez hecho esto cierre la válvula de salida/output y abra la válvula de recarga/vaciado. Seleccione el LVDT del intensificador como sensor de retroalimentación.
- Cierre la válvula recarga/vaciado y abra la válvula salida/output.
- Empuje a través de un volumen pequeño de agua.
- La línea de presión de poros está conectada en el cabezal inferior, y si el paso 2 ha sido ejecutado correctamente, debería haber agua presente en toda la línea hasta el cabezal inferior.
- Arme la muestra a ensayar y aplíquelo calor a la membrana y configure en medidor de deformación.
- Conecte el cabezal superior con la línea de presión de poros.
- Arme la celda triaxial y llene la cámara interna de la celda con el aceite de confinamiento (fluido hidráulico), a través del hueco del pistón de carga.
- Posicione la celda triaxial debajo del actuador axial de carga dentro del marco de carga. Los siguientes pasos básicos son requeridos cuando realizamos un ensayo triaxial: Aplique una pequeña carga de asentamiento, aplique la presión confinante, abra la válvula de drenaje o purga (colocado en la parte exterior de la celda triaxial) y entonces se aplica una pequeña presión de poros hasta que se vea salir agua por la línea de drenaje o purga, esto indica q el circuito de presión de poros interno en la celda triaxial está lleno y no hay aire entrampado. Cierre la válvula de drenaje que se encuentra en el exterior de la celda.

Procedimiento de descarga

Una vez finalizado el ensayo, detenga el programa de carga y remueva la carga axial, presión de poros y presión confinante (en ese orden) empleando el programa del sistema. Use el control de la deformación axial para reducir la carga axial.

- Cuando la carga axial haya sido reducida a cero, apague las válvulas del marco con la finalidad de bloquear el pistón de carga en su posición.
- Asegúrese que la presión de celda es cero con el programa.
- Abra la válvula de recarga/vaciado en el tope de la celda.
- Con la válvula de descarga de presión abierta, cambie la presión de aire /válvula aspiradora ventilación por la aspiradora de ventilación.
- Aplicar un vacío al abrir el vacío de encendido/apagado válvula de palanca

3.6. Ensayo de tracción indirecta (Brasilero)

Este ensayo tiene por finalidad determinar el esfuerzo de tracción de una roca a través de la aplicación de una carga lineal de compresión sobre un diámetro del disco de roca a ensayar. El esfuerzo de tracción debería ser obtenido de un ensayo de tracción uniaxial directa, pero este ensayo es difícil y caro de ser realizado repetidamente.

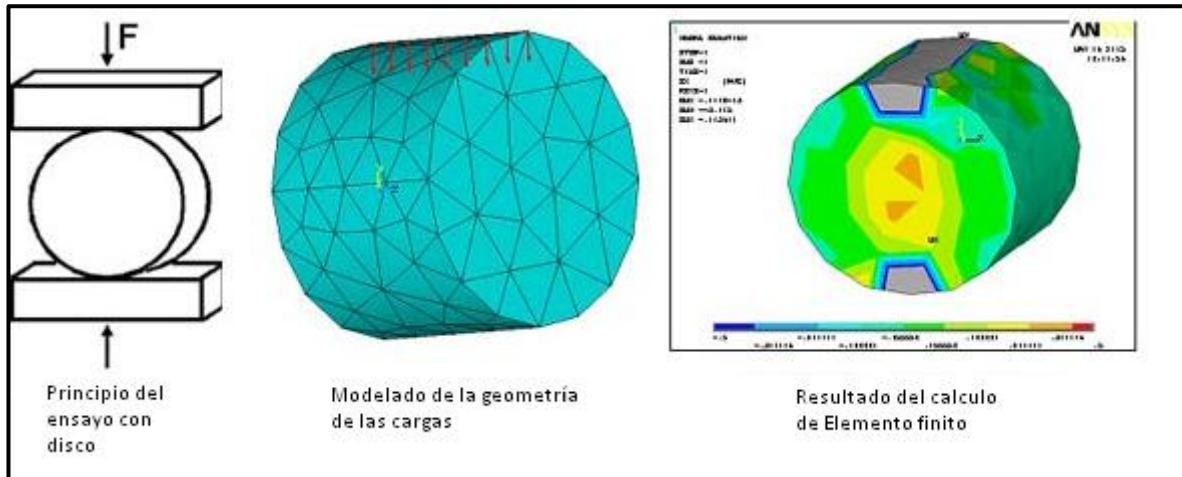


Figura 29. Ensayo de Tracción Indirecta

Uso

El valor de esfuerzo a la tracción se utiliza para Gráficar el círculo de Mohr σ_c , σ_t en la envolvente de esfuerzos.

Teoría

En este ensayo, el disco de roca es sometido a una carga lineal de compresión actuando sobre un diámetro. El resultado de este esfuerzo de compresión es una tensión horizontal y un esfuerzo de compresión vertical variable. Cerca de los bordes de contacto, los esfuerzos compresivos toman valores máximos, lo que puede causar un fracturamiento local. Esta anomalía se reduce empleando testigos con relación espesor/diámetro de 0.5 y colocando un apoyo adicional entre la roca y los bloques de la máquina en los puntos de carga.

La fractura inicial producida sobre el testigo será el resultado del esfuerzo de tracción que ocurre en el centro del disco. Esta fractura es inducida, por lo que el resultado del esfuerzo a la tracción obtenida a partir de este ensayo será algo mayor del que se obtiene de un ensayo de tracción directa en donde el testigo tiene más opción a fallar por la zona de menor resistencia.

Equipo

Máquina de ensayos. Una prensa que puede aplicar y medir la carga diametral sobre el testigo, con una capacidad de carga de 100 toneladas y que cumpla con los requerimientos de la Norma ASTM E4 y British Standard 1610.

Apoyos suplementarios. Entre el testigo y los bloques de apoyo se colocan unos apoyos adicionales que permiten reducir la alta concentración de esfuerzos. Estos apoyos pueden ser pedazos de cartón grueso (0.01D de espesor).



Figura 30. Prensa de carga para ensayo de tracción indirecta.

Preparación de testigos

Los testigos deben ser discos circulares con una relación espesor/diámetro entre 0.5 y 0.75.

El diámetro del testigo debe ser por lo menos 10 veces mayor que el grano más grande del mineral que forma la roca. Un diámetro de 4.92 cm por lo general satisface este criterio. Cuando el diámetro es menor que el indicado y se deben ensayar pues no hay disponibilidad de material, se debe anotar este hecho en el informe.

Se determinará el diámetro del testigo con una aproximación de 0.1 mm. Se tomará tres medidas y obtendrá el promedio. Una de las medidas debe ser tomada en el diámetro que se va ensayar.

Se determinará el espesor del disco con aproximación de 0.1 mm. Se tomará tres medidas y obtendrá el promedio. Una de las medidas debe ser tomada en el eje del disco.

Procedimiento

La orientación vertical del testigo esta determinada por el diámetro trazado en cada testigo, de manera que esta línea debe ser usada para centrar al testigo en la máquina de ensayos y asegurar una orientación apropiada.

El testigo debe ser instalado en la máquina de ensayos asegurando que la carga sea aplicada sobre el diámetro trazado y que los apoyos adicionales coincidan también con la superficie de apoyo.

Aplicar la carga normal con velocidad constante de manera que la falla se produzca entre 1 y 10 minutos luego de iniciar el ensayo dependiendo del tipo de roca.

Registra el valor máximo de la carga aplicada sobre el testigo.

Cálculos

El esfuerzo de tracción indirecta del testigo se halla calculando como sigue:

$$\sigma = 0,636 * P / D * e \text{ (MPa)} \quad (22)$$

Siendo

P = carga aplicada,

D = diámetro de la muestra

e = espesor de la muestra en mm

3.7. Difracción de Rayos X

Los rayos-X son una forma de radiación electromagnética de elevada energía y pequeña longitud de onda; del orden de los espacios interatómicos de los sólidos.

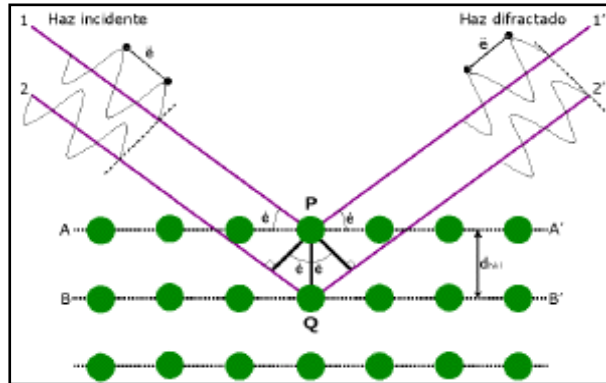


Figura 31. Ley de Bragg, Modificado de Cañada P. 2006

Cuando un haz de rayos-X incide en un material sólido, parte de este haz se dispersa en todas direcciones a causa de los electrones asociados a los átomos o iones que encuentra en el trayecto, pero el resto del haz puede dar lugar al fenómeno de difracción de rayos-X, que tiene lugar si existe una disposición ordenada de átomos y si se cumplen las condiciones que vienen dadas por la Ley de Bragg que relaciona la longitud de onda de los rayos-X y la distancia interatómica con el ángulo de incidencia del haz difractado. Si no se cumple la ley de Bragg, la interferencia es de naturaleza no constructiva y el campo del haz difractado es de muy baja intensidad.

Permite reconocer minerales y cualquier tipo de compuesto que posea una estructura interna ordenada, en muestras finamente pulverizadas

La difracción de rayos en muestra policristalina permite abordar la identificación de fases cristalinas (puesto que todos los sólidos cristalinos poseen su difractograma característico) tanto en su aspecto cualitativo como cuantitativo. Los estudios de polimorfismo, transiciones de fase, y soluciones sólidas, medida del tamaño de partícula, determinación de diagramas de fase, etc., se realizan habitualmente por difracción de rayos X.

En algunos casos, es interesante realizar el estudio de la evolución térmica de los difractogramas (termodifractometría) para conocer la evolución de la cristalinidad de la

muestra, caracterizar los procesos de descomposición térmica, los cambios de fase que tienen lugar, etc.

Las muestras deben ser:

- Polvo fino policristalino.
- Material policristalino compacto soportado (láminas delgadas)
- Material policristalino con forma irregular.

3.8. ENSAYOS DINÁMICOS (NO DESTRUCTIVOS)

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT non destructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo.

Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

En general los ensayos no destructivos proveen de datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los ensayos destructivos. Sin embargo suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a medir ya que no implica destrucción de la misma. En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos

Configuración del equipo ultrasónico

The image shows a software configuration window titled "Ultrasonics Configuration". It is divided into several sections:

- High Speed Input Board:** Type: GCTS Scope, Address: 0x330.
- Ultrasonic Pulser:** Type: GCTS Pulser.
- Trigger:** Radio buttons for Internal (Software) (selected) and External (I/O Input).
- Face To Face Arrival Times:** A dropdown menu set to 1, with a checked checkbox for Platen 1. Below it are input fields for P Wave Platens: 0.00 (msec) and S Wave Platens: 0.00 (msec).
- Number of Data Points in Waveform:** 4096.
- Number of Waveforms to Stack:** 16.
- Damping Max Limit:** 20.00 (msec).
- Delay Limits:** Max: 20.00 (msec), Min: -20.00 (msec).
- Default Frequency Limit for FFT:** 100 kHz.
- Velocity: Unit:** Meter/second, with a dropdown set to 0.
- Pressure/Stress Unit:** Kilopascals, with a dropdown set to 0.
- Time/Frequency Units:** msec/Hz.

Buttons for "Ok" and "Cancel" are located in the top right corner.

Figura 32. Ventana de configuración del equipo Ultrasónico

Tarjeta de entrada de alta velocidad

Es usada por el controlador ULT para leer la señal que el cristal piezoeléctrico suministra. La tarjeta de entrada de alta velocidad, es definida por su tipo y por su dirección.

Tipo de Tarjeta de Entrada de Alta Velocidad

Actualmente, solo la Tarjeta de Entrada de Alta Velocidad GCTS es soportada como Tarjeta de Entrada de Alta Velocidad.

Dirección de la Tarjeta de Entrada de Alta Velocidad

La Dirección de la Tarjeta de Entrada de Alta Velocidad, debe ser ingresada en formato hexadecimal, en la forma de 0xhhh. La única Tarjeta de Entrada de Alta Velocidad soportada, la tarjeta GCTS tiene el valor predeterminado de Dirección de 0x300.

Tipo de Pulso Ultrasónico

El Tipo de Pulso Ultrasónico que es utilizado por el controlador ULT es generar los pulsos empleando cristales piezoeléctricos. Actualmente, solo el GCTS Pulse, es permitido por el equipo como Generador Tipo de Pulso Ultrasónico.

Disparador/Trigger

Actualmente, el programa tiene la capacidad de emplear un Disparador Interno (programa) solamente. Disparadores Externos estarán disponibles en futuras versiones del programa.

Tiempo de Llegada cara a cara (Transductores)

El Tiempo de Llegada "Cara a Cara", permite al usuario fijar el Tiempo de Llegada "Cara a Cara" para tres (3) grupos de transductores ultrasónicos. El tiempo de llegada "Cara a Cara" observado cuando los cabezales son colocados en contacto el uno con el otro (sin espécimen).

El usuario puede disponer de más de un juego de transductores debido a los diferentes tamaños (1 pulgada más 1,5 pulgadas) o diferentes frecuencias del cristal (200 kHz a 1 MHz). Para cada grupo de transductores, el usuario puede tener un identificador, si es seleccionado o no y definir los tiempos de llegada "Cara a Cara" para cada uno de ellos.

Los Tiempos de Llegada "Cara a Cara" para ambas ondas P y/o S deben ser ingresados para que la Velocidad del Especimen, sea correctamente determinada al sustraer el tiempo de llegada "Cara a Cara" del Tiempo de Llegada para encontrar el Valor del Tiempo de Llegada del Especimen, que será empleada en el cálculo de la Velocidad, El Tiempo de Llegada "Cara a Cara" es empleado en la siguiente ecuación:

El Tiempo de Llegada "Cara a Cara" es empleado en la siguiente ecuación:

$$Velocidad = \frac{Altura\ de\ la\ muestra}{Tiempo\ de\ llegada - Tiempo\ de\ llegada\ de\ los\ transductores\ "cara\ a\ cara"} \quad (23)$$

El Tiempo de Llegada "Cara a Cara" es ingresado en las unidades seleccionadas de tiempo, la cual puede ser milisegundos (mseg), o microsegundos (µseg). Al menos debe ser definido y seleccionado un transductor de las tres (3) posibilidades disponibles. Cuando se determina el tiempo de llegada cara a cara de los transductores, es muy importante que no existan vacíos

de aire presentes entre las caras de los transductores. Las ondas p & s no pueden viajar a través del aire. Esto también es importante cuando usamos los transductores y la carga del espécimen durante el ensayo normal.

Donde sea posible, se deberá emplear un acoplador acústico para mejorar el paso de las ondas p & s del transductor al espécimen.

NOTA. El Ultrasonido para sistemas de ensayo de carga puntual PLT-110 y PLT-110 solo pueden realizarse con cristales de ondas P, y por lo tanto solo las mediciones de las ondas P es posible. Debido a esto, el tiempo de llegada "cara a cara" de los transductores de la onda S no estarán disponibles (estarán en gris).

Número de Puntos de Datos en la Forma de Onda

La selección del número de puntos de datos en la forma de onda, es el número total de puntos de datos que serán capturados de cada forma de onda. Esto trabaja en conjunción con la velocidad de muestreo que determina que cantidad será registrada en un lapso de tiempo. seleccionar un número de puntos de datos pequeño, requerirán un lapso de tiempo menor para capturarlos de la forma de onda, mientras que seleccionar un número de puntos de datos mayor de la forma de onda necesitará mucho más tiempo y también incrementara el tamaño del archivo de datos.

Configuración del ultrasonido y ejecución manual

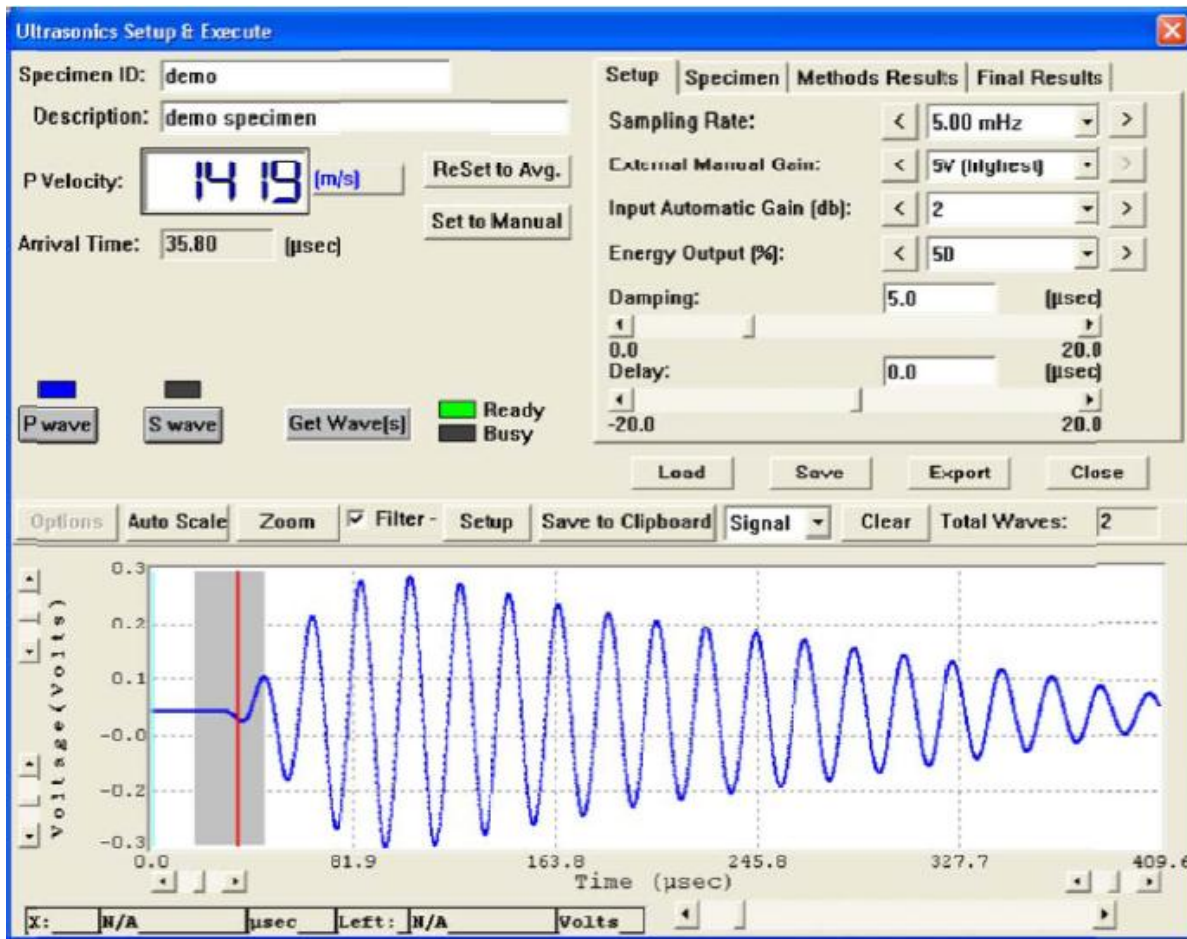


Figura 33. Ventana de configuración del ultrasonido y ejecución manual

La ventana de configuración del ultrasonido y ejecución manual es la ventana principal para determinar los tiempos de llegadas y velocidades de las ondas ultrasónicas P y/o S, así como también los parámetros resultantes finales que son la relación de Poisson, Modulo de Young, Modulo de compresibilidad y Módulo de corte. Como el usuario tiene la posibilidad de configurar los parámetros de generación de tipos de ondas, y determinar las velocidades ultrasónicas ya sea en modo automático o en modo manual.

2.8.1. Método de ensayo para descripción Petrográfica (ISRM, 1977)

La descripción petrográfica de rocas para propósitos ingenieriles incluye la determinación de todos los parámetros que no pueden ser obtenidos en la descripción macroscópica de muestras de mano, así como los parámetros que pueden ser determinantes en la mecánica

de la roca y del macizo rocoso. El método para hacer la descripción es mediante secciones finas y el uso de microscopios petrográficos de luz polarizada.

Para asegurar una correcta clasificación, el primer paso a seguir debe ser determinar la composición mineralógica y la textura de la roca. Análisis más profundos de las secciones finas permiten determinar análisis mineralógico, determinación del grado de alteración, presencia o ausencia de fracturas, porcentaje de minerales opacos (vistos bajo luz reflejada) y el tamaño de granos.

Una sección fina tiene dimensiones de 25 x 45 mm aproximadamente, y un espesor entre 1 y 2mm. En la figura (34) se puede observar la sección fina de una roca, preparada para descripción en microscopio petrográfico.

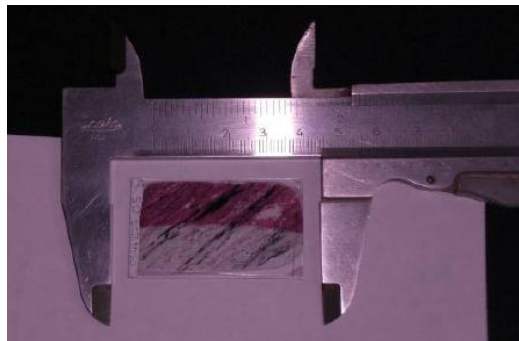


Figura 34. Sección fina. Foto: ALVAREZ, (2007)

Aparatos y equipos necesarios

El equipo necesario para realizar la descripción petrográfica de las muestras de roca en secciones finas, consiste en un microscopio de luz polarizada para rocas (Figura 35), cámara fotográfica y una lámpara para observar minerales metálicos bajo luz reflejada.



Figura 35. Microscopio petrográfico. Mod. Olympus CDX10. Laboratorio de petrografía Ígneo metamórfica. Departamento de Geología, UCV.)

2.8.3 Ensayo CATS Ultrasónico

Un ultrasonido es una onda acústica o sonora cuya frecuencia está por encima del espectro audible del oído humano (aproximadamente 20.000 Hz).

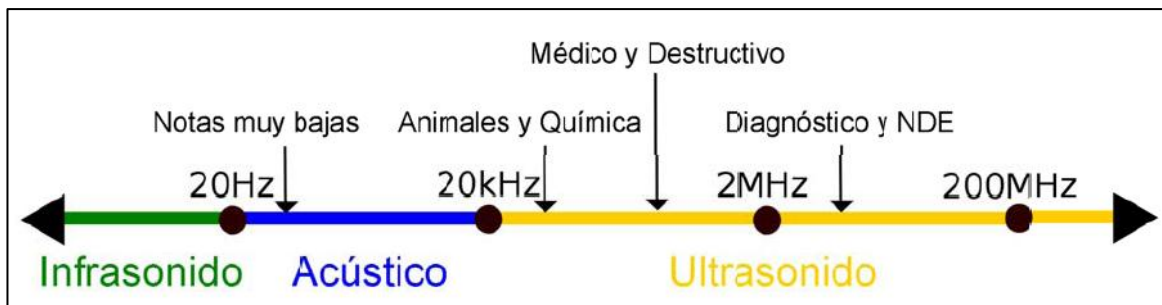


Figura 36. Rangos de frecuencias aproximados correspondientes al ultrasonido.

El programa GCTS CAT ultrasónico determina las velocidades de onda de corte y compresionales y además almacena las formas de estas ondas de manera digital. El sistema utiliza una tarjeta de la computadora para la adquisición de datos a alta velocidad y un paquete sofisticado de programas computacionales para el análisis de datos. Los programas de computadora son integrados dentro del entorno de trabajo del programa GCTS CATS.

El tamaño de pulso, la tasa de muestreo, la ganancia de la entrada y el realce de la forma de la onda se controlan con el programa, mientras la forma de la onda es vista en la pantalla de la computadora. Las correcciones de los transductores "cara a cara" deben ser ingresadas al programa de manera que las velocidades de corte y compresional puedan ser calculadas

simultáneamente. Los datos pueden guardarse en el disco para análisis posteriores usando dicho programa.

El programa permite al operador observar los datos originales y el espectro de frecuencia de la forma de la onda. El programa GCTS CAT ultrasónico, puede ser usado dentro de una variedad de sistemas de ensayos de laboratorio, que simulan las condiciones de esfuerzo in situ o ningún esfuerzo adicional aplicado (ensayo tipo banco/bench). Los sistemas que simulan las condiciones de esfuerzo in situ, incluyen las celdas triaxiales así como también los ensayos in situ en campo.

Ejecución del ensayo

En la experimentación por ultrasonido, un transductor conectado a una máquina de ensayo es pasado por el objeto a ser inspeccionado. El transductor es separado del espécimen por acoplador (como aceite, agua o gel) que es colocado entre el transductor y la muestra.

Existen dos formas de recibir la forma de la onda ultrasónica, por atenuación y por reflexión.

En el modo de atenuación un transmisor envía el ultrasonido a través de la superficie, y un receptor separado detecta la cantidad de la señal recibida en el otro extremo, después que la onda ha viajado a través del medio. Las imperfecciones y otras condiciones presentes en el espacio, entre el transmisor y el receptor reducen la cantidad de sonido transmitido, revelando su presencia. El empleo de acopladores aumenta la eficiencia del proceso reduciendo las pérdidas de la energía ultrasónica debido a la separación entre las superficies.

En el modo de reflexión o eco de pulso, el transductor realiza simultáneamente la emisión y la recepción de los pulsos de onda, como el sonido que es reflejado desde el dispositivo. El sonido reflejado viene de una interfaz, como la cara del objeto o de una imperfección dentro del objeto. El equipo de diagnóstico presenta los resultados en una forma de señal con un tamaño que representa la intensidad de la reflexión y la distancia, representado por el tiempo de llegada de la reflexión.

4. GEOGRAFÍA FÍSICA

4.1. CLIMA Y VEGETACIÓN

Según (ZAMBRANO, 1970), la región de estudio se encuentra dentro de la zona de clima tropical cálido lluvioso. En ella, la estación lluviosa abarca entre 7 y 8 meses del año, comenzando en abril y culminando en noviembre, lo cual corresponde a uno o dos meses después del equinoccio de otoño, mientras que el período de sequía se presenta entre los meses de diciembre y abril.

Los parámetros anuales de pluviosidad oscilan entre 800mm y 1500mm, mostrándose acentuados entre los meses de junio y julio.

No existen datos actualizados sobre la temperatura media en el año, sin embargo, los últimos estudios la ubican en 23°C, con una oscilación media anual inferior a 5°C; sin embargo, la oscilación diaria es más marcada, estando por el orden de los 10°C a 12°C.

Según (ZAMBRANO, 1970) la vegetación es diversa, y corresponde a la de bosques tropófilos y sabanas. Por lo general, a lo largo de las márgenes de los ríos se encuentra una alternancia de bosques de galería con matorrales y especiales herbáceas variadas. Hacia cotas superiores se observa el desarrollo de bosques sub-húmedos a húmedos densos.

4.2. CLIMA

La cordillera de la costa debido a que ocupa diferentes estados, se podría decir que posee una mezcla de todos los tipos de climas, de los que se pueden enumerar los siguientes:

4.2.1 Clima tropical o lluvioso cálido (A)

Este grupo climático se caracteriza por mantener una elevada temperatura durante todo el año superior a 18 °C (tipo A), con precipitaciones durante gran parte del año. De este grupo en la cordillera de la costa se hacen presentes dos tipos:

4.2.2. Clima (Aw) tropical de sabana

Comprende dos períodos definidos, seco entre diciembre y marzo; y lluvioso el resto del año. La precipitación anual oscila entre 600 y 1.500mm lo cual condiciona una vegetación predominantemente herbácea. Se localiza en parte de la cordillera.

4.2.3. Clima (Am), monzónico

Presenta un régimen de pluviosidad entre 1.600 y 2.500mm anuales con una corta estación seca menor a 45 días, pero la precipitación es suficiente para soportar el crecimiento de plantas durante la estación seca. Se localiza en parte de la Depresión Tuy–Barlovento.

4.2.4. Clima (B), secos cálidos

Son climas donde la evaporación supera la precipitación anual. La Cordillera de la Costa presenta los dos tipos de climas de este grupo.

4.2.5. Clima (Bwi) desértico tropical

Presenta escasa vegetación con temperaturas medias anuales superiores a los 18°C, se localizan en la planicie costera occidental de Falcón, así como en las islas de Margarita, Coche y Cubagua.

4.2.6. Clima (BSi) semi-árido tropical

Existe la presencia de una vegetación xerófila o montes espinosos, la evaporación es mayor que la precipitación y se localiza en la vertiente norte de la Cordillera de la Costa en el litoral central.

4.2.7. Clima (G) templado de altura tropical

En este tipo de clima se presenta por lo menos, un mes con temperatura inferior a 18 °C como consecuencia de la altitud. Es característico de zonas montañosas o terrenos ubicados

muy por encima del nivel medio del mar. Se localiza en los niveles más altos de la Cordillera de la Costa como la Colonia Tovar.

4.3. VEGETACIÓN

En la Cordillera de la Costa e islas del Caribe el paisaje vegetal es variado. En las partes interiores de la Cordillera (valles y depresiones), encontramos una vegetación caracterizada por la presencia de bosques deciduos montañosos y el matorral tropófilo, el cual sustituye los antiguos bosques deciduos destruidos por el hombre.

En la vertiente norte de la Cordillera de la Costa, a una altura comprendida entre los 400 y 700 metros, se localiza una vegetación de selva tropical montañosa.

A la altura de condensación en las montañas, se nos presenta la selva nublada, sin embargo cabe destacar que la altura en que se produce la condensación es variable.

En el litoral Caribe y en la mayoría de las islas se presenta el bosque xerófilo de espinar, particularmente en sectores donde la precipitación fluctúa entre los 200 y los 400mm anuales. Este tipo de vegetación, se caracteriza por elevadas temperaturas, escasa pluviosidad y altos valores de evaporación, lo cual engendra una situación de semi-aridez.

4.4. DRENAJE:

Los cursos principales de agua son de tipo consecuente, ya que fluyen en correspondencia con los elementos estructurales de los cuerpos de roca o surcando valles en "V", definiendo un fenómeno de superposición desde el punto de vista geomorfológico. Es común encontrar a lo largo de sus cauces, saltos de agua que alcanzan alturas de hasta 10m.

El drenaje secundario exhibe un patrón dendrítico, notándose un control morfoestructural menos marcado que en los cursos principales. Muchas de las quebradas que lo conforman son de régimen intermitente, activándose sólo en la época de lluvia, sin embargo, es común encontrar flujos permanentes en este tipo de drenaje a lo largo de todo el año.

Sobre el cauce epigénico del río Tuy, (LOYO, 1986), comenta que consiste de una larga y relativamente angosta abertura, localizada entre El Consejo y Tucuchito (al oeste de Cúa). Entre las poblaciones de Túcata y Tucuchito, está representada por una abertura en forma de "U" abierta y de fondo "plano". El lecho del río Tuy corre a unos 270m de altitud,

aproximadamente a todo lo largo del tramo entre estas localidades, la profundidad de la abertura es de unos 330m.

Con respecto a las anomalías del río Tuy, el mismo autor considera que el río drenaba originalmente al hacia el Lago de Valencia, mientras que el trazado actual del río parece resultar de un mecanismo de captura asociado al movimiento del sistema de fallas de Tácata.

Según (KAYE, 1947), el tramo superior del río Tuy fue "robado" por las cabeceras de drenaje de la Cuenca del río Tuy. Si se considera que los ríos más antiguos depositados por este río corresponden a una cuña perteneciente a la Formación Tuy, de edad Pliocena terminal-pleistocena; la captura de este río se produjo como consecuencia de la reactivación del sistema de Fallas de Tácata. Por tanto, por tanto se puede definir, que la captura de este río se llevó a cabo en el Pleistoceno superior-Pleistoceno inferior.

Equation Section (Next)

5. GEOLOGÍA REGIONAL

5.1. GENERALIDADES

Las zonas excavadas que comprende este estudio, corresponden a formaciones geológicas pertenecientes a la Cordillera de la Costa, principalmente formado por rocas metamórficas como el gneis (con varios grados de meteorización), esquistos (con meteorización moderada a fuerte), anfibolitas (sin alterar o poco alteradas), también se reconocen rocas calizas, o dolomitizadas, con bajo grado de metamorfismo.

5.2. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Las diferentes unidades litoestratigráficas que se piensa afloran en la región de este estudio, se mencionan a continuación, todas referidas del Léxico Estratigráfico (electrónico) de Venezuela, de donde se extrae dicha información:

5.2.1. Formación Chuspita

Cretácico Temprano

Estado Miranda, Referencia original: V. M. Seiders, 1965, p. 303.

Localidad tipo: Río Chuspita, a unos 10 km al noroeste de Caucagua, distrito Zamora del estado Miranda. (Hoja 6947, esc. 1:100.000, Cartografía Nacional).

Descripción litológica: La Formación Chuspita consiste de meta-areniscas puras, las cuales constituyen el 45% de la unidad, con filitas oscuras (50%) y mármoles (5%). Las meta-areniscas son de color gris claro a gris oscuro, localmente grafitosas y micáceas, pero cuyo constituyente principal es el cuarzo, con cantidad mucho menor de feldespatos. En algunas muestras se encuentra abundante muscovita y clorita. Presentan estratificación gradada, principalmente en las capas de menos de 1 m de espesor, mientras que en las capas más

gruesas, se hacen conglomeráticas con fragmentos líticos como guijarros y peñas de hasta 25 cm de diámetro, constituidos por filitas, mármoles y meta-arenisca calcárea.

Las filitas de color gris oscuro son calcáreas y grafitosas. Los mármoles (calcíticos) se presentan en dos tipos: uno de tipo litográfico formando capas delgadas de color gris oscuro a negro, con vetas de calcita, mientras que el otro tipo es argiláceo. La foliación de los mármoles oscurece la estratificación original. Además de los mármoles calcíticos (sus calizas), Seiders (1965) menciona escasos mármoles dolomíticos, negros, grafitosos y finamente cristalinos, formando capas delgadas y cortados por vetas de cuarzo y calcita.

Espesor: No es mencionado por los autores que la han estudiado.

Extensión geográfica: Los afloramientos de esta formación ocupan una faja de orientación este-oeste de unos 37 km de largo por 3 a 8 km de ancho, en la parte centro-oriental del Estado Miranda.

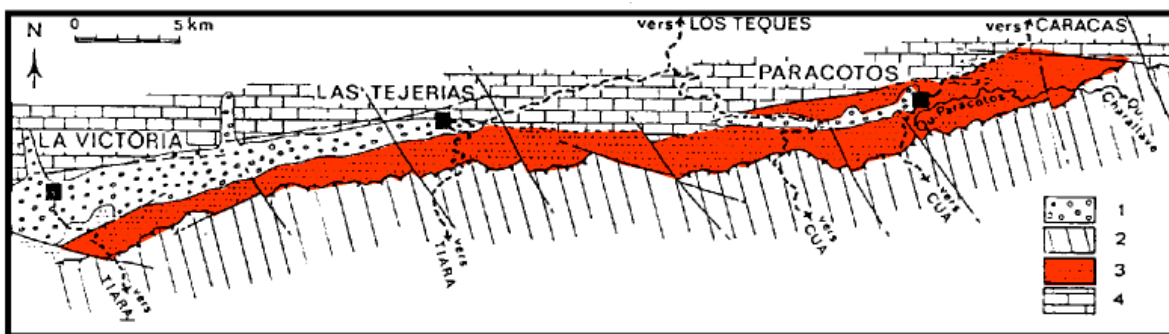


Figura 36. Afloramientos de la formación Chuspita en el área la Victoria-Paracotos (color rojo)

Contactos: El contacto con La Formación Las Mercedes infra yacente, es de falla. En el tope, está también en contacto de falla con la Formación Urape, aunque Seiders (1965) sugiere la posibilidad de "una gran discordancia no angular" entre ambas formaciones.

Fósiles: En 1969 el geólogo L. Asuaje localiza en el cauce medio de la quebrada Fofa, un afloramiento con fauna de amonites desenrollados, los cuales fueron identificados por Macsotay (1972), como *Hamites sp.*, *Hemiptychoceras gaultinum*, *Idiohamites sp.* y *Pseudohelicoceras sp.*

Edad: La fauna de amonites indica una edad Cretácico Temprano (Albiense superior) (Macsotay, 1972).

Correlación: En base al contenido faunal, Macsotay (1972) la correlaciona con la Formación Carorita, del estado Lara y con la Formación Güinimita, de la península de Paria.

Paleoambientes: La Formación Chuspita representa condiciones sedimentarias de plataforma continental poco profunda (González de Juana *et al.*, 1980: 338). Las filitas con su contenido de amonites, corresponden a una sedimentación lenta en aguas relativamente tranquilas, mientras que las meta-areniscas y meta-areniscas conglomeráticas, indicarían episodios de corrientes de turbidez y deslizamientos submarinos, como lo sugiere la presencia de fragmentos líticos relativamente grandes.

5.2.2. Formación Tinapú

Pre-Mesozoico (?)

Estado Cojedes, Referencia original: A. Menéndez, 1965, p. 439.

Localidad tipo: Río Tinapú, entre el paso del camino La Cañada-La Guamita y un punto 3 kilómetros al este del mismo, Estado Cojedes.

Descripción litológica: El esquistos cuarzo-albítico-muscovítico es el tipo más abundante de roca en la unidad; constituye el 70% de la misma y se intercala con esquistos albítico-cuarzo-cloríticos. Los esquistos muscovíticos son de color gris verdoso y forman capas de hasta 4 metros de espesor. Un bandeamiento definido por variaciones en el tamaño del grano es probable herencia de la roca sedimentaria original.

Comúnmente los esquistos muscovíticos se hacen conglomeráticos y pasan gradualmente a conglomerados esquistosos. Los conglomerados contienen guijarros cuneiformes de queratófido cuarcífero, granito y cuarzo. Los esquistos cloríticos constituyen alrededor del 30% de la unidad, son de color verde oscuro y forman capas delgadas de 10 a 50 centímetros de espesor. El conjunto mineralógico de los esquistos de Tinapú indica un grado metamórfico equivalente al de la subfacie cuarzo-albita-epidoto-biotita de la facie del esquistos verde.

Espesor: Estimado en 1.000 metros como mínimo.

Extensión geográfica: Alrededores de la localidad tipo.

Contactos: El esquistos de Tinapú suprayace transicionalmente al gneis de La Aguadita, e infrayace con discordancia angular a la Formación Las Placitas.

Edad: Pre-Mesozoico (?).

Correlación: No se ha establecido la correlación de los esquistos de Tinapú con otras unidades.

5.2.3. Formación Tucutunemo

Paleozoico Tardío

Estados Aragua y Miranda, Ref original: R. Shagam, 1960, p. 582.

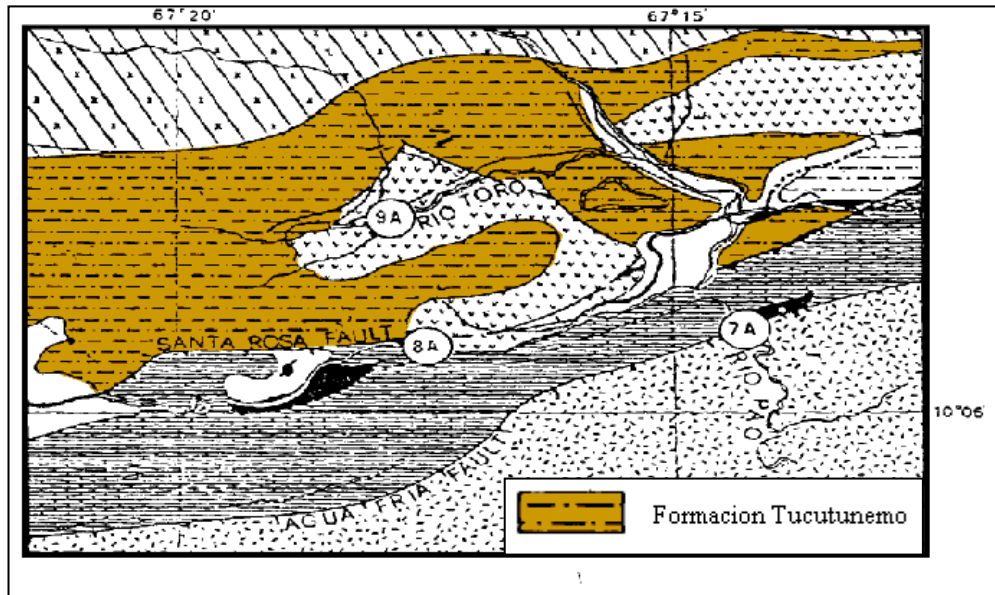


Figura 37 Mapa geológico Formación Tucutunemo, Modificado de Ostos (1990).

Localidad tipo: La localidad tipo de esta unidad se encuentra ubicada en el río Tucutunemo y colinas adyacentes al este de Villa de Cura, estado Aragua. (Hoja 6745, esc. 1:100.000, Cartografía Nacional).

Descripción litológica: De acuerdo a la descripción original dada por Shagam (op. cit.), esta unidad consiste principalmente en filitas carbonáceas arenosas que varían a meta areniscas y limolitas cuarzo feldespáticas, encontrándose también cantidades menores de areniscas de grano grueso (asperones) y conglomerados cuarzo-calcáreos. Una zona discontinua pero prominente de caliza cristalina negra, de grano fino, asociada a un conglomerado calcáreo, se ubica cerca de la parte superior de la secuencia y cerca de la base de la misma, aparecen algunas capas delgadas de toba básica afanítica de color verde.

De acuerdo a la descripción dada por González de Juana et al. (1980) las filitas son azules, carbonáceas y comúnmente varían a facie arenosas; presentan mica blanca de origen

metamórfico y gran desarrollo de texturas y estructuras metamórficas. Los mármoles son de color gris oscuro a negro, microcristalinos, con aspecto moteado, impuros, con cristales de cuarzo y albita de bordes reentrantes, que constituyen hasta el 30% de la roca y escasos fragmentos de fósiles y desarrollan fuerte foliación metamórfica; los metaconglomerados son de color blanco a gris oscuro, con mal escogimiento, con guijarros de cuarzo de veta, plagioclasa y menor cantidad de ftanita, presentando desarrollo de texturas y estructuras metamórficas.

El aumento de elementos volcánicos que se produce hacia la base de la Formación Tucutunemo, al oeste de la localidad tipo, permitió la introducción del término Miembro Los Naranjos, para su designación.

Espesor: Shagam (1965) estima un espesor de 350 m, pero debido al replegamiento y naturaleza de los contactos, esta cifra, al igual que la dada a otras unidades metamórficas de la Cordillera de la Costa, debe tomarse solamente de carácter referencial y aparente.

Extensión geográfica: De acuerdo con González (op. cit.), la Formación Tucutunemo se extiende de este a oeste, desde la región de Los Teques-Cúa en el estado Miranda, hasta la región de Tinaquillo en el estado Cojedes, atravesando parte de los estados Aragua y Guárico.

Expresión topográfica: Los mayores cuerpos de mármol ubicados en la zona de Cagua - Villa de Cura, Aragua y los del oeste de Charallave, Miranda, presentan una topografía kárstica bien desarrollada.

Contactos: De acuerdo con Shagam (op. cit.), el contacto superior con la Formación Paracotos es de falla, al igual que su contacto inferior con otras formaciones. Según el mapa geológico de Beck (1985, 1986) los contactos son de fallas (tanto de ángulo alto como de corrimiento) con las unidades constituyentes de su Napa de Loma de Hierro, mientras que pueden ser tanto estratigráficos como tectónicos, con otras unidades de la Napa de Caucagua - El Tinaco. Que debido al replegamiento y naturaleza de los contactos, se desconoce el espesor.

Fósiles: Beck (1985, p. 203, 1986) señala la presencia de madreporáceas y algas mal preservadas, que impiden su estudio. Benjamini et al. (1986-a, b) describen crinoides y

briozoarios bastante deformados, que compara con material de la Formación Palmarito del Pérmico.

Edad: Cretáceo medio a Cretáceo tardío (?). Generalmente fue considerada de edad Cretácico, e inclusive Beck (1985, p. 203, 1986) aporta una edad K-Ar de 73,5 Ma que interpreta como una edad metamórfica posterior. De acuerdo con Benjamini et al. (op. cit.), las calizas de la unidad se asignan al Paleozoico tardío (Pérmico).

Navarro et al. (1987, 1988) al discutir sobre esta edad Paleozoica, dicen que "la presencia de estos mármoles en la secuencia de la Formación Tucutunemo no indica necesariamente una edad paleozoica para esta unidad ya que estos cuerpos... pueden representar olistolitos o bien bloques emplazados tectónicamente durante la orogénesis caribeana". Posteriormente, uno de los coautores del trabajo anterior (Ostos, 1990, p. 22), acepta la edad Paleozoica. Hasta que haya disponible mayor información, se recomienda utilizar una edad tentativa Paleozoico tardío.

Correlación: La parte inferior (Miembro Los Naranjos) se correlaciona con las metavolcánicas de Las Placitas, Aragüita, Rocas de Conoropa y Pilancones (Menéndez, 1966). El resto de la unidad, se considera parcialmente equivalente a las formaciones Urape y Muruguata. Navarro et al. (op. cit.), son de la opinión que la Formación Tucutunemo es equivalente a la Formación Paracotos, al norte del Arco Magmático de Tiara y a las formaciones Garrapata y Escorzonera, al sur del mismo. Por otra parte Benjamini et al. (1986-a, b) quienes proponen una edad paleozoica, la correlacionan con la Formación Palmarito de la Cordillera de Mérida.

Ambiente tectónico y petrogénesis: De acuerdo con Shagam (op. cit.), la presencia de calizas de origen químico y una proporción notable de rocas de grano grueso, son factores que parecen indicar una sedimentación de agua llana, del tipo de plataforma, agregando que el ambiente y el origen depositacional durante el tiempo, Tucutunemo parece haber sido una continuación de los producidos durante la sedimentación de la Formación Las Mercedes, incluyendo la repetición de capas conglomeráticas finas del tipo Charallave.

El mismo autor, apunta que las rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional de bajo grado, pero lo suficientemente intenso como para causar la destrucción de los restos

orgánicos, fragmentos de los cuales, se han observado frecuentemente en las calizas de la unidad.

Navarro et al.(op. cit.), consideran que la Formación Tucutunemo corresponde a la sedimentación profunda (anóxica) en zonas, de un talud incipiente que bordeaba el arco magmático de Tiara (sur), donde facie pelágicas-hemipelágicas, representadas por filitas oscuras, esquistos grafitosos y mármoles oscuros, se intercalan con el producto de sedimentación rápida, como lo son los conglomerados polimícticos que representan rellenos de canal y flujos gravitacionales de detritos, provenientes de una plataforma muy incipiente, desarrollada alrededor del arco magmático mencionado con anterioridad.

Por otra parte, Benajmini et al. (1987), al asumir una edad Paleozoico para esta unidad, concluyen en que la misma representa el basamento autóctono expuesto en una ventana tectónica, o que constituye un alóctono (junto con el Complejo El Tinaco) dentro de un modelo de terreno exótico.

Correlación: La unidad es correlativa probable del Gneis de Sebastopol.

5.2.4. Formación Las Mercedes

Mesozoico (Jurásico - Cretácico)

Distrito Federal, Ref. Original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a,

Localidad tipo: Antigua hacienda las Mercedes al este de Caracas (Hoja esc. 1:100.000, Cartografía Nacional) hoy Urb. Las Mercedes. Debido al crecimiento del urbanismo con la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo, Wehrmann (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare-Santa Lucía, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con la Formación Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas - Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta - Charallave.

Descripción litológica: Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado..., gris, con zonas blancas cuando frescas. Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana et al. (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de

lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris pardusco.

La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro.

Oxburgh (op. cit.), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facie oriental, de esquistos grafiticos, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes; y una facie occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas, con abundante granate, y filitas grafiticas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección.

Wehrmann (op. cit.), menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorfizadas, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, sin hallar fósiles en ellos. Este mismo autor, indica que el tope de la formación se hace más cuarzoso y menos calcáreo en su transición hacia la Formación Chuspita. Seiders (op. cit.), menciona además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), incluyen dentro de la formación una zona constituida por calizas oscuras y densas, en capas delgadas, interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado, que denominan Fase Los Colorados, y que constituyen excelentes estratos guía. Dengo (op. cit.), Seiders (op. cit.), y Wehrmann (op. cit.), no coinciden con esta formación, ya que según ellos, tales calizas se encuentran en diferentes niveles en la sección.

Urbani et al. (1989-a) cartografían dos subunidades en la zona de Valencia - Mariara, estado Carabobo. La mayoritaria de esquisto calcítico - grafitoso y mármol, con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad minoritaria de cuerpos de mármol masivo, contentivo de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita. En la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, Distrito Federal y Miranda, Urbani et al. (1989-b) reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquisto grafitoso y mármol, así como de mármol, de metaconglomerado cuarzo - feldespático - calcáreo, de metaconglomerado y metarenisca y de esquisto albitico - grafitoso. Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facie de los esquistos verdes, zona de la clorita.

Característico de la formación, es la presencia de pirita, que al meteorizar, infunde una coloración rosada a rojo ladrillo a la roca. Smith (op. cit.), opina que la coloración rosada proviene de la meteorización de la sericita. Otra característica es la extraordinaria proporción de vetas de calcita recristalizada, en colores blanco, pardo y marrón, que ha sido identificada erróneamente como ankerita o siderita. En muestras de sondeos profundos con muestras no meteorizadas, esta coloración marrón de la calcita está ausente.

Talukdar y Loureiro (1982), sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a un arco volcánico. La estructura finamente laminada de la calizas, indica la sedimentación en un ambiente pelágico, mientras que los escasos restos de fósiles hallados, indican lo contrario.

Urbani et al. (1997) estudian mineralógicamente los mármoles de esta Formación en la zona de Birongo, estado Miranda, encontrando que la dolomita se encuentra en baja concentración predominando los mármoles calcíticos.

Extensión geográfica: En toda la extensión y en los flancos del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre Carenero, estado Miranda, hasta el estado Cojedes.

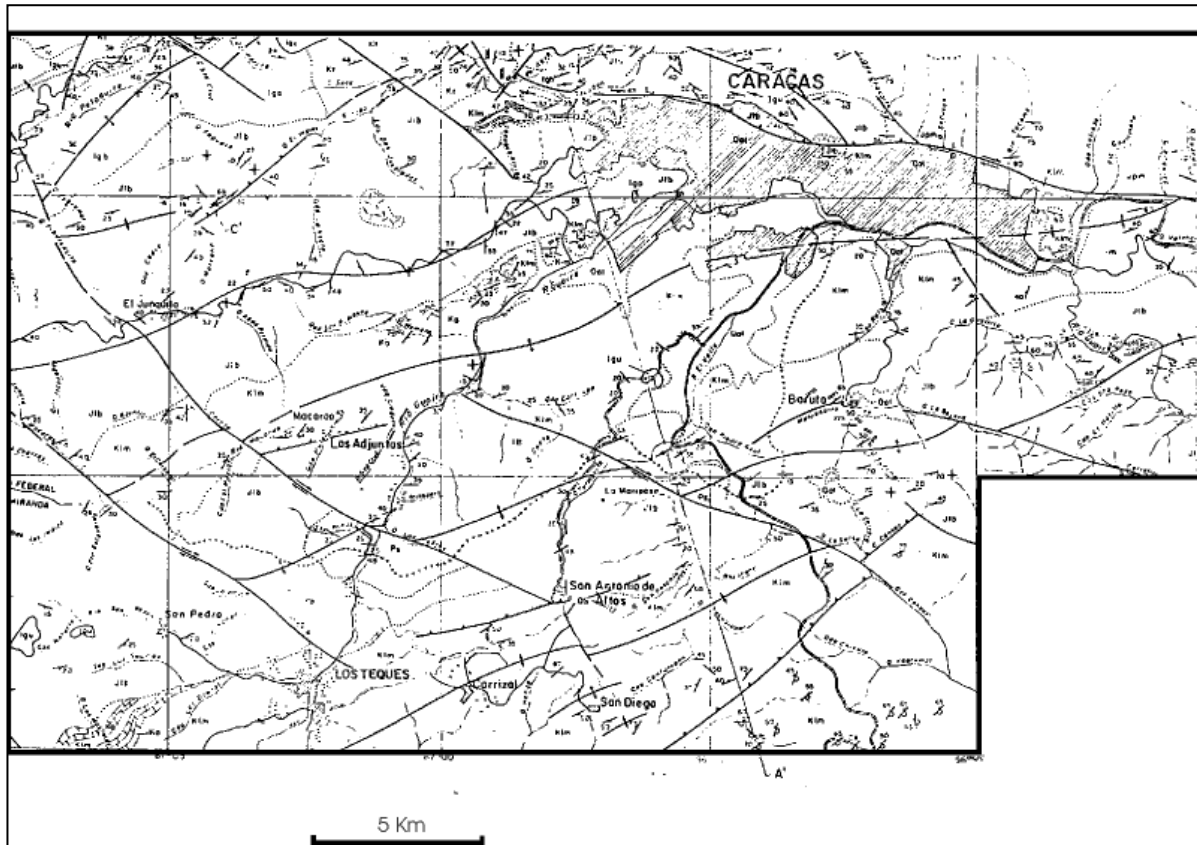


Figura 38. Mapa Formación las Mercedes. Fuente: Wehrmann

Contactos: La mayoría de los autores hasta los años 70 han considerado el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas, como concordantes y de tipo sedimentario. Mientras que autores más recientes considera que es de tipo tectónico conservando paralelismo en la foliación en ambas unidades (e.g. González de Juana et al., 1980, p. 318). En la zona de la Colonia Tovar, Ostos (1990, p. 55) señala que el contacto entre el Augengneis de Peña de Mora y el Gneis de Colonia Tovar, con la Formación Las Mercedes puede ser interpretado tanto como una falla normal de bajo ángulo, como un contacto sedimentario original.

El contacto con la Formación Las Brisas lo interpreta como de corrimiento. En el estado Cojedes el mismo autor, señala que la Peridotita de Tinaquillo está en contacto con la Formación Las Mercedes a través del corrimiento de Manrique. Cantisano (1989) en su estudio de la zona de Mamera, Distrito Federal, indica que el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Antímamo corresponde a una falla de corrimiento. El contacto con la Formación Chuspita parece ser transicional (Seiders, 1965).

Edad: Estas asociaciones de fósiles poco diagnósticas solo permiten sugerir una edad Mesozoica, sin diferenciar.

Correlación: Por su similitud óptica, se la presume equivalente a la Formación Aroa, en el macizo occidental de la Cordillera de la Costa, y a la Formación Carúpano, en Oriente. Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), la correlacionan tentativamente con la Formación La Luna y Querecual, inclusive Navarro et al. (1988) afirman que la única diferencia entre las unidades litoestratigráficas "Formación Las Mercedes" y "Grupo Guayuta" lo constituye el metamorfismo, ya que representan facie semejantes en tiempo y ambiente. También ha sido correlacionada con la Unidad No-Feldespática del Grupo Juan Griego en la isla de Margarita (Vignali, 1979). Wehrmann (op. cit.), se pronuncia por una similitud con las formaciones La Luna y Querecual.

Paleoambientes: Talukdar y Loureiro (1982) sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a una arco volcánico, donde la estructura finamente laminada de la caliza, indica la sedimentación en un ambiente pelágico. Navarro et al. (1988) interpretan que esta Formación se formó en un ambiente de facie pelágicas de sedimentación oceánica en las cuencas del Caribe y de Altamira. Los escasos restos de fósiles hallados indican ambientes más someros, pero es probable que sean retrabajados y hayan sido acarreados a los ambientes pelágicos por corrientes de turbidez.

Importancia económica: El mármol de los afloramientos de La Vega, Distrito Federal, se utilizaron hasta su total explotación para la fabricación de cemento, se explota el esquisto grafitoso, como material de compactación para carreteras no asfaltadas.

Sinonimia: Las Mercedes, Esquistos de.

6. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología de la zona pautada para la construcción del tramo Cúa-La Encrucijada, del sistema ferroviario nacional, está ampliamente relacionada con la génesis de la cuenca del río Tuy, sobre la cual Audemard (1984), realiza la siguiente caracterización:

6.1 GRAN UNIDAD I: COMPLEJO ROCOSO METAMÓRFICO

Esta gran unidad puede ser dividida en dos unidades debido a que presentan modelados diferentes:

6.2 UNIDAD 1: SERRANÍA META-SEDIMENTARIA

Se encuentra generalmente al norte de la Falla del Pichao (al norte de la cuenca de Tuy) y al oeste de la cuenca. En ella, predominan rocas metasedimentarias de metamorfismo de bajo grado del Grupo Caracas (Fm. Las Mercedes) y las rocas de Conoropa. Corresponde a la Serranía del Litoral.

El modelado es en general abrupto, con drenajes encajados, filas angostas y laderas rectilíneas de pendiente alta (entre 30° y 40°). Singer (1977) indica la presencia de gargantas epigénicas en el río Guaire, entre Petare y Puente Pichao. Además, señala la existencia de remanentes de por lo menos cuatro sistemas de aplanamiento escalonados (200, 1750, 1500, 1250m), algunos de estos presentan un abombamiento antiformal de eje paralelo a la Serranía del Litoral, que se observan bien en la cadena de la Colonia Tovar, encima de la meseta de Los Teques. Loyo (1983), también señala la existencia de tres superficies de aplanamiento (100, 800 y 600m) hacia el sureste de Caracas. El drenaje es de tipo dendrítico subparalelo.

6.3 UNIDAD 2: SERRANÍA META-VOLCÁNICA

Se encuentra al sur de la cuenca. Comprende las siguientes áreas montañosas de la Serranía del Interior:

- Etribaciones este de la Serranía de Guatopo (200 a 100m).
- Áreas montañosas de los Valles del Tuy medio (400 a 1400m): Selva de Guatopo, cuencas de Lagartijo y Ocumarito.
- Área montañosa sur del alto Tuy (600 a 1400m): Altagracia de la Montaña, Loma de Hierro, Fila El Socorro.

En esta unidad afloran principalmente rocas del Grupo Villa de Cura.

La morfología es menos pronunciada que la unidad 1. Las laderas son menos rectilíneas y de pendientes más suaves (entre 10° y 25°). El drenaje es dendrítico desordenado y los valles angostos y profundos. Las cimas de sus cerros frecuentemente están subredondeadas o aplanadas, que corresponden a remanentes de diversas superficies de aplanamiento encajonadas por posibles cambios climático-tectónicos.

Excelentes remanentes de estos niveles aplanados se encuentran al este de San Casimiro, en el tope denominado Las Yaguas, a 1400m, presentando su superficie un modelado aborregado y hallándose delimitada por drenajes suspendidos. Otro buen ejemplo lo constituye Loma de Hierro, que presenta un tope aplanado a 1200m de altura.

Por lo menos seis niveles de aplanamientos han sido establecidos. Estos no se ven controlados por litología o fallas (a excepción tal vez de aquellas activas), puesto que truncan el todo por igual.

6.4 GRAN UNIDAD II: CUENCA SEDIMENTARIA DEL TUY

Esta gran unidad se haya encajada dentro de la Gran Unidad I. su altura varía entre 130 y 400m sobre el nivel del mar. En base a la diferenciación de los modelados, puede subdividirse en unidades, a saber:

Unidad 3: “Hog’s back” piemontinos

Constituye una franja estrecha, 600 a 700m de ancho, que afora hacia la parte noreste de la cuenca del Tuy, contra la Falla de Pichao.

Morfológicamente se caracteriza por filas muy angostas, con crestas de buzamiento de pendientes de 45° al sur (hog’s back y crestas monoclinales). Litológicamente está constituido por un conglomerado de peñones de color ladrillo que corresponde al Miembro Pichao.

Unidad 4: Filas lacustrinas

Esta unidad aflora hacia la parte norte y NE de la cuenca, entre Suapire al oeste, El Placer de Siquire al este y el parcelamiento Paraíso del Tuy al sur.

Litológicamente se caracteriza fundamentalmente por lutitas y limolitas finalmente laminadas, interestratificadas con arenisca de grano fino, bien compactadas y ocasionalmente cementadas, lo cual genera un binomio de resistencia poco marcado, que morfológicamente genera, por acción de la erosión diferencial, filas escalonadas con crestas de pendientes del orden de 15°, valles angostos y en forma de “V”. El drenaje presenta un patrón enrejado.

6.4. FALLAMIENTO ACTIVO, SISMICIDAD Y ACELERACIONES DE DISEÑO.

Desde La Encrucijada hasta Cúa, la ruta transcurre prácticamente a lo largo de la falla de La Victoria, la cual es comprobadamente activa y de carácter intraplaca. Adicionalmente, se identificaron algunos sistemas de fallas menores donde destaca la Falla de Tácata, que atraviesa la zona de interés de este estudio, a la cual se le han atribuido sismos históricos importantes.

6.4.1 Falla La Victoria

La Falla La Victoria es un elemento sismotectónico que presenta expresión morfológica desde el sector La Mona en el estado Carabobo, hasta las costas del Mar Caribe en las cercanías de Carenero, estado Miranda para una longitud total de 350 Km aproximadamente.

Es una falla con poca expresión superficial, ya que transcurre fundamentalmente a lo largo de valles y planicies de alta agradación sedimentaria con lo cual la expresión de la falla se atenúa y es casi invisible, ya que la tasa de sedimentación es superior a la velocidad de la falla. Su movimiento es transcurrente dextral con una velocidad de 0,7 mm por año con una estimación de sismo máximo posible de magnitud 6,6, con un promedio de retorno de 1600 años (Coral 83, 1993).

La falla de La Victoria cruza la ruta aparentemente en la progresiva 39+650 de acuerdo a la información disponible; sin embargo, este cruce no necesariamente corresponde a la traza de mayor actividad o aquella que tendrá el próximo desplazamiento. En conclusión, es muy difícil predecir el lugar exacto de la zona de la próxima ruptura; no obstante, es importante mencionar que esta falla se le ha estimado un desplazamiento lateral de 5cm en el caso de activarse alguna traza, lo cual es perfectamente manejable para la vía férrea.

6.4.2 Falla de Tácata

Esta falla corresponde al grupo de fallas de orientación Noroeste-sureste que se observan a lo largo de la Serranía del Interior Central, desde el Lago de Valencia hasta la planicie de Barlovento. Esta falla tiene una longitud aproximada de 90 km desde su conexión con el sistema de corrimientos piemontinos hasta su intersección con la Falla de La Victoria, cerca de Tácata al sur de Los Teques. Presenta un movimiento dextral y sus principales evidencias corresponden con facetas triangulares bien desarrolladas, ensilladuras de fallas, alineación de relieves y algunos drenajes desplazados.

Su velocidad es de 0,4 mm/año con desplazamientos cosísmicos del orden de 1 a 5 cm y presenta una buena expresión morfológica sobre las rocas metamórficas mesozoicas, predominado facetas triangulares y drenajes desviados. Su sismo máximo probable se ha estimado en una magnitud de 6,7 con período de retorno de 2000 años.

La conexión de esta falla con el Sistema de Fallas de La Victoria fue la responsable de la "crisis" sísmica de mayo de 2009, donde destacó un sismo de magnitud 5,4. Adicionalmente, el terremoto destructivo de 12 de abril de 1878 el cual causó más de 400 víctimas en la ciudad de Cúa y más de 10 réplicas durante todo el mes de abril de dicho año, se atribuye a la actividad de la Falla de Tácata.

6.4.3 Fallas inactivas

Sobre los planos geológicos se han cartografiado una serie de fallas, que salvo la de Tácata son de carácter inactivo y corresponden con estados de deformación antiguos. Estas fallas generalmente fungen como contactos entre unidades litoestratigráficas y en algunos casos actúan como planos pasivos de debilidad con presencia de brechas o alineaciones de diaclasas maestras; que facilitan potenciales deslizamientos a través del plano de falla.

6.4.4. Sismicidad

La actividad sísmica del área de estudio se limita a sismos por debajo de magnitud 6 con predominancia de sismos entre 2 y 4. Se solicitó el catálogo sísmico instrumental a Funvisis para presentar con este informe la sismicidad registrada instrumentalmente.

6.5. ZONIFICACIÓN SÍSMICA

Toda la ruta transcurre a través de los municipios Urdaneta y Guaicaipuro del estado Miranda, y de los municipios Santos Michelena, José Félix Ribas, Bolívar y Sucre. A todos estos municipios menos el municipio Guaicaipuro se les asigna la zona 4; es decir, región con probabilidad de excedencia de 10% en 50 años de aceleraciones de 0,25 g. El municipio Guaicaipuro es zona 5 con aceleración horizontal de 0,3 g.

6.6. CONSIDERACIONES SOBRE EL RIESGO GEOLÓGICO Y LIMITACIONES A LO LARGO DEL TRAZADO PROPUESTO

Todo el trazado se encuentra sobre dos corredores tectónicos controlados por las fallas de La Victoria y la Falla de Tácata, esta condición es el punto de inicio de todos los aspectos que tienen que ver con el riesgo geológico que afecta negativamente, aunque no determinante, el trazado propuesto.

La primera parte de trazado de la vía férrea desde la progresiva 0+000 hasta la 41+200 transcurre en zona plana cuya única limitación es la presencia alternante de zonas de suelos blandos a medios cerca de la superficie. Esta condición será subsanada con un diseño apropiado de la infraestructura; no obstante, no consideramos esto ninguna limitación relevante ya que generalmente a profundidades mayores de 10 m, los suelos aumentan su consistencia y compacidad.

La otra desventaja en este tramo inicial está relacionada con la cercanía entre la ruta y el Sistema de Fallas de La Victoria, a la cual se le asigna una tasa de desplazamiento dextral de 0,7 mm/año (Coral 83, 1993). La ruta propuesta aparentemente cruza la Falla de La Victoria en la progresiva 17+000; no obstante, los estudios de Coral 83 indican que los desplazamientos se encuentran por debajo de 5 cm, lo cual es manejable en cuanto a daños de un sismo con ruptura local.

En términos de aceleraciones sísmicas, la principal amenaza proviene de la Falla de San Sebastián y no de las fuentes sismogénicas de Táchata y La Victoria. Esta falla, controla el 90% del potencial de ocurrencia de aceleraciones que excedan la norma Covenin 17576-2001. La sismicidad debe ser manejada de manera tradicional considerando las acciones sísmicas prescritas por la mencionada norma y evaluando los aspectos que tienen que ver con la vulnerabilidad estructural.

La ruta seleccionada por el personal técnico de China Rail Way Eryuan Group de Venezuela C.A., ha considerado alejarse lo más posible de las trazas geomorfológicamente más activas que presenta la Falla de Táchata. Inicialmente en el sector de Táchata el trazado se alineaba prácticamente con la zona de mejor expresión de la falla, coincidente con una ladera de más de 200 m de altura, con evidencias de inestabilidad superficial que son la consecuencia de la combinación de una litología de rocas blandas (Filitas de Paracotos) y fracturamiento con zonas de brechas que aumentan la inestabilidad potencial de dicha unidad litológica. Esta situación adversa ha sido mitigada con los cambios efectuados en la ruta.

Al final de la ruta, 2 Km antes de llegar a la Estación Cúa, se encuentra el valle aluvial del río Tuy, donde la principal limitación se centra en los procesos hidráulicos, la dinámica fluvial del río y la presencia de espesores de suelos blandos saturados con presencia local de suelos expansivos.

7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

7.1. TEORÍAS DE LA EVOLUCIÓN DE LA CORDILLERA DE LA COSTAS MODIFICADO DE (CANO Y MELO 2002)

La Cordillera de la Costa se considera un bloque epirogénico donde predomina el augengneis, el cual se originó a partir de inyecciones de un magma granítico en una roca de origen sedimentario, laminar y localmente conglomerática. Aguerreverre y Zuloaga en 1937, proponen el nombre de esta litología como augengneis de Peña de Mora.

Dengo 1951, hace referencia a varias estructuras como foliaciones, lineaciones, diaclasas y pliegues de flujo; sosteniendo así que la foliación es esencialmente paralela a la estratificación original.

La secuencia metamórfica de la Cordillera de la Costa está constituida por un basamento ígneo –metamórfico de edad Precámbrica-Paleozoica (Ostos, 1990). Este basamento está cubierto por rocas meta-sedimentarias de edad Mesozoica, que fueron depositadas en un ambiente semi-restringido en el Jurásico Superior y Cretácico Inferior, e incluyen numerosos cuerpos de migmatitas y granitos, así como unidades de serpentinas y anfibolitas (Wehrmann, 1972).

La región está controlada por tres principales sistemas de fallas que reflejan la influencia de los diferentes procesos orogénicos que llevaron a la formación de la Cordillera de la Costa y su actual apariencia.

Estas fallas, están conformadas por la Falla Curucuti, con rumbo N50°-80°E, y buzamiento hacia el sur; la Falla Tacagua del sistema de falla Tacagua-El Ávila, con rumbo N60°W y

buzamiento principalmente al sureste; y la zona de Falla de Macuto, con una orientación preferencial este-oeste y buzamiento al norte de ángulo alto (Dengo, 1951).

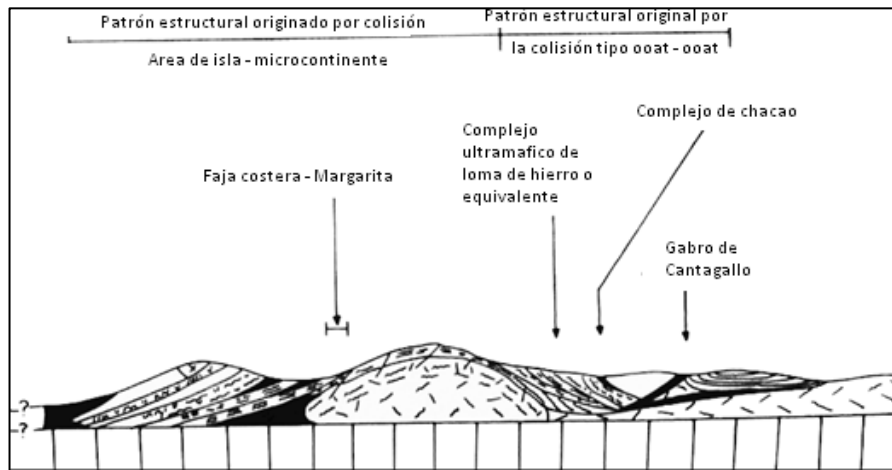


Figura 39 Etapa Eoceno-Oligoceno de la evolución tectónica de la Cadena Caribe (tomado y modificado de Ostos & Navarro, 1986)

Sánchez & Silva (1986) en la zona comprendida entre Capaya, Oritapo y Cabo Codera, definen 10 unidades litológicas: Unidad de esquistos grafitosos y mármoles, Unidad de esquistos cuarzo albitico muscovítico clorítico, Unidad de esquistos y gneis cuarzo plagioclásico micáceo, Unidad de esquistos y gneises cuarzo plagioclásicos y anfibolitas granatíferas, Unidad de esquistos plagioclásicos grafitosos, Unidad de gneises y esquistos feldespáticos, Complejo de Todasana, Complejo de Caruao, Complejo de Cabo Codera y serpentinitas.

Basándose en las asociaciones mineralógicas presentes en las unidades, los esquistos habrían sufrido un metamorfismo de la facie de los esquistos verdes, zona de la clorita, con una P/T intermedia y los gneises y complejos un metamorfismo tipo Barroviano en la facie de la anfibolita epidótica, zona del almandino con una P/T intermedia.

Ostos (1987) realiza un trabajo sobre el transporte tectónico de la Formación Peña de Mora, en la parte central de la Cordillera de la Costa, basándose en un estudio de afloramientos en la carretera vieja Caracas-La Guaira y en la Colonia Tovar; concluye que las alineaciones desarrolladas por la milonitización del augengneis de Peña de Mora indican un transporte tectónico desde el nor-este al sur-oeste.

Ríos (1989) define nueve unidades en un segmento de la carretera Macuto-Naiguatá y Los Ocumitos-Turgua, las cuales son: Unidad de mármol compuesta por esquistos calcáreos epidóticos y epidocitas, correlacionándola con la Formación Tacagua.

Unidad de serpentinitas, Unidad de augengneis feldespático cuarzo micáceo correlacionada con el Augengneis Peña de Mora, Unidad de gneis y esquistos feldespáticos cuarzosos correlacionados con el Esquisto de San Julián, Unidad de metagranito, Unidad de esquistos anfíbolíticos y anfíbolita granatífera, Unidad de esquistos calcáreos grafitosos y mármol grafitoso correlacionado con la Formación Las Mercedes, Unidad de mármol correlacionado con la Formación Antímano, Unidad de esquistos cuarzo feldespáticos muscovíticos y paragneis cuarzo feldespático correlacionado con la Formación Las Brisas. Dicho autor llega a la conclusión que la zona fue afectada por un metamorfismo de la facie de los esquistos verdes, zona de la clorita y biotita de bajo grado y P/T intermedia, con la presencia de granate en algunas unidades, lo que indica un gradiente de temperatura muy alto.

Urbani & Ostos (1989) redefinen la Cordillera de la Costa en tres asociaciones e igual número de franjas al norte de los valles de Valencia-Maracay, Caracas y Guatire, las cuales son:

Faja Septentrional, constituida por el Complejo la Costa con la fase Nirgua, Tacagua, Antímano y rocas ultramáficas.

Faja Central, compuesta por el Complejo Ávila y subdividida en Augengneis de Peña de Mora y Esquisto de San Julián.

Faja Meridional: con rocas metasedimentarias mesozoicas del Grupo Caracas, con las formaciones Las Brisas y Las Mercedes.

Estos autores determinan la edad del Augengneis de Peña de Mora como Paleozoico-Precámbrico (1.560 Ma) por medio del método de Rb/Sr y además sugieren restringir el nombre de esta unidad a dispersos cuerpos de augengneis y gneis granítico.

Beck (1985), luego referido por Bellizzia & Dengo (1990) mencionan que la Cordillera de la Costa está compuesta por una serie de unidades tectónicas complejas formadas por la superposición de varias napas, aflorando discontinuamente algunas de ellas, producto de la

presencia de grandes fallas transcurrentes más jóvenes, lo que hace complicado la interpretación tectónica.

Ostos (1990) presenta un estudio geoquímico-estructural con el fin de dar una interpretación a la evolución tectónica del margen sur-central del Caribe, cuyo objetivo principal fue el de tratar de corroborar los diferentes modelos tectónicos propuestos con anterioridad y determinar cuál o cuáles de estos modelos pueden explicar de una mejor manera la geología, y la aloctonía de los diferentes cinturones tectonoestratigráficos del norte de Venezuela.

Propone la evolución tectónica (Figuras 40-a,b,c,d,e), presentando modelos con movimientos de más de 1.000 km, en la cual se identifican la afinidad ígnea de las rocas de los 7 cinturones tectonoestratigráficos que de norte a sur serían:

Islas holandesas y venezolanas, sobre las cuales concluye que consisten en rocas ígneas de origen oceánico de edad Cretácico Temprano y rocas de arcos de isla de edad Cretácico Tardío, correlacionando este terreno con las unidades litológicas que constituyen el cinturón tectónico Villa de Cura y la plataforma venezolana.

Plataforma venezolana.

Terreno de la Cordillera de la Costa-Margarita.

Cinturón de la Cordillera de la Costa: consiste de un basamento granítico de edad Precámbrica y una cobertura sedimentaria de edad Mesozoica, la cual estaría afectada sólo por el segundo evento metamórfico de los dos que afectaron el terreno de la Cordillera de la Costa-Margarita.

Cinturón Caucahua – El Tinaco.

Cinturón Paracotos.

Cinturón de Villa de Cura.



Figura 40a. Reconstrucción del Triásico Tardío – Jurásico Temprano

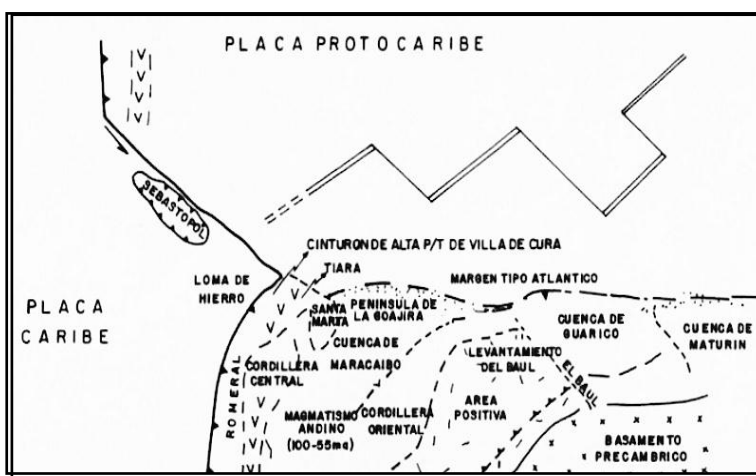


Figura 40b. Evolución geológica del norte de Sur América, Modificado de Ostos (1990)

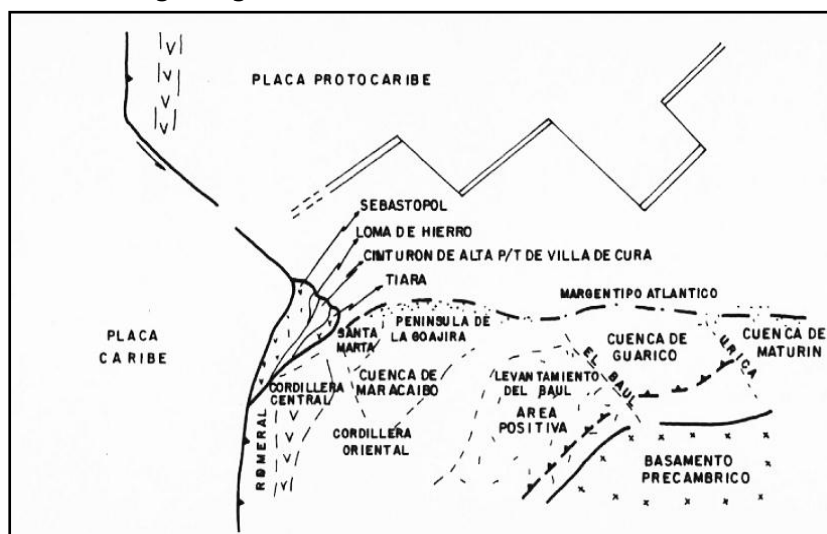


Figura 40c. Evolución tectónica durante el Neocomiense (125 millones de años).

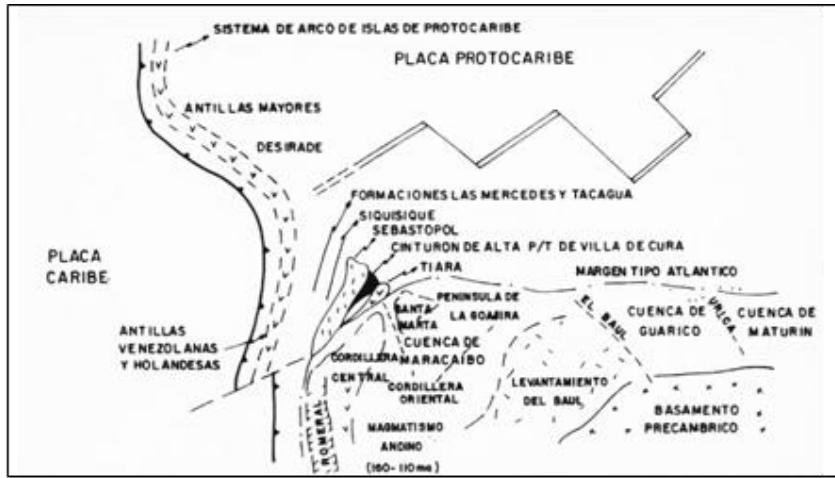


Figura 40d. Evolución tectónica durante el Neocomiense (120 millones de años).



Figura 41 Evolución tectónica para el Albiense Tardío (100 millones de años).

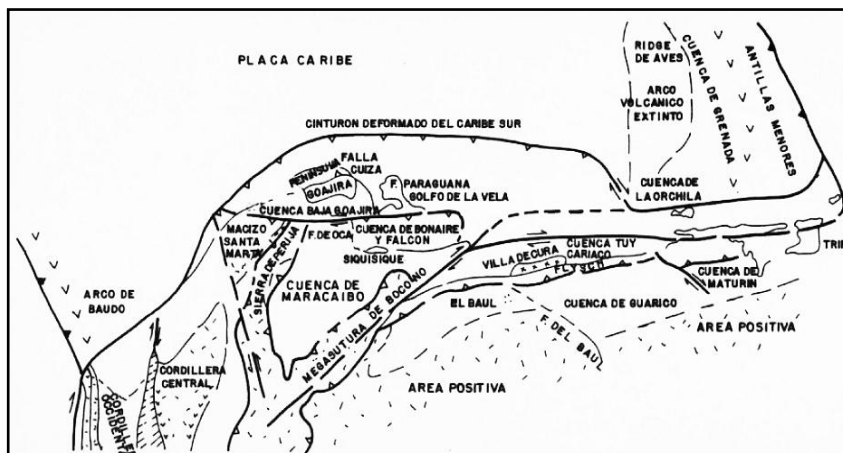


Figura 42 Evolución geológica del norte de Sur América, modificado de Ostos (1990)

En los últimos años, cuatro tesistas de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV realizaron sus trabajos especiales de grado en el flanco sur del macizo del Ávila, los cuales limitan con la zona de estudio, estos son:

García (1994) en su trabajo de la cuenca del río Tócome, establece una serie de unidades informales agrupadas en: Unidad de esquistos plagioclásico micáceo epidótico y gneis plagioclásico cuarzo micáceo; Sub-Unidad de esquistos anfíbolíticos y esquistos plagioclásico cuarzo epidótico; Sub-Unidad de esquistos plagioclásico epidótico; Sub-Unidad de esquistos plagioclásico epidótico; Unidad de rocas metaígneas y Unidad de Metagranito. Menciona que la facie de metamorfismo que afectó estas unidades es la de los esquistos verdes en un rango de P/T intermedio. Encuentra evidencias de deformación cataclástica típica de profundidades cercanas a los 15 km y una temperatura próxima a los 300° C.

Sabino (1995) elabora la cartografía geológica del flanco sur del Pico Naiguatá, dividiéndola en siete unidades informales las cuales son: Unidad de esquistos grafitoso y mármol, Unidad de esquistos cuarzo muscovítico, Unidad de augen-esquistos y Gneis feldespático cuarzoso, Subunidad de metaígneas máficas y Unidad de Metagranito. Por medio de la asociación mineralogía de las rocas concluyó que estas sufrieron un metamorfismo en la facie de los esquistos verdes en la zona de la clorita y la biotita.

Aranguren (1996) realiza un reconocimiento geológico en la cuenca de la quebrada El Encantado, en la cual define las siguientes unidades informales: Unidad de gneis y esquistos cuarzo feldespático; Sub-Unidad de metaígneas máficas; Unidad de metatonalita, Unidad de Metagranito, y Unidad de esquistos cuarzo micáceos grafitosos y esquistos calcáreo. Menciona que estas unidades litodémicas sufrieron un metamorfismo de la facie de los esquistos verdes, ubicándolo en la zona de la clorita y la biotita.

Baena (1998), realiza un reconocimiento geológico en la cuenca del río Tacamahaca, definiendo las siguientes unidades informales: Unidad de esquistos calcáreo cuarzoso y esquistos cuarzo micáceo grafitoso, Unidad de gneis y esquistos cuarzo feldespático micáceo, Sub-Unidad de metaígneas máficas y Unidad de metagranodiorita. Concluye que la facie de metamorfismo es de esquistos verdes ubicada en la zona de la clorita y la biotita.

Urbani et al. (1997) integran los trabajos de García (1994), Sabino (1995), Aranguren (1996) y Uzcátegui (1997), agrupando las siguientes unidades: Grupo Caracas (Mesozoico), compuesto por las formaciones Las Brisas y Las Mercedes. Complejo Ávila (Pre-Mesozoico), integrado por: Esquisto de San Julián, Metaígneas de Tócome, Metagranito de Naiguatá y Augengneis de Peña de Mora. Establecen que las rocas de este complejo poseen una asociación mineralógica metamórfica de la facie de los esquistos verdes, zona de la biotita, aunque algunas muestran trazas de almandino.

Audemard & Giraldo (1997) no comparten los diversos modelos geodinámicos propuestos para la región caribeña hasta el momento, los cuales mencionan desplazamientos dextrales del orden de los 1.000 km en el límite sur de la Placa del Caribe, ya que parecen difícilmente sustentables cuando se evalúa por medio de una revisión bibliográfica y su propia interpretación, los desplazamientos dextrales acumulados a lo largo de cada uno de los accidentes transcurrentes mayores ubicados en el territorio venezolano que acomodan lo esencial de dicha transurrencia en los modelos (fallas de Boconó, San Sebastián, El Pilar y Oca-Ancón) son del orden de los 60 km para todo el sistema.

Urbani et al. (2000) proponen una actualización de nomenclatura de las unidades de rocas ígneo-metamórfica de la parte central de la Cordillera de la Costa, adaptándose a las convenciones internacionales para unidades litodémicas. La proposición de la nueva nomenclatura se expone a continuación, indicando entre paréntesis la litología predominante y entre corchetes los nombres anteriormente usados:

7.1.1. Súper Asociación Ígneo-Metamórfica de La Cordillera De La Costa.

Cinturón ígneo-metamórfico paralelo a la costa norte de Venezuela, de edad Precámbrico-Mesozoico que desde el punto de vista geológico-tectónico se puede subdividir en tres franjas dispuestas de norte a sur, a saber:

Franja septentrional. En forma general las unidades litodémicas que la conforman, se extienden, de este a oeste, paralela a la costa y presenta un ancho variable de 0 a 5 Km. Su límite meridional, en el área del estado Vargas, lo representa la zona de fallas de Macuto.

Tabla 10. Asociación Metamórfica La Costa. Edad: Mesozoico. [Complejo La Costa]

Asociación Metamórfica La Costa. Edad: Mesozoico [Complejo La Costa]		
Mármol de Antímamo	(mármol y anfibolitas)	[Fase Antímamo] (1)
Anfibolita de Nirgua	(anfibolitas variadas)	[Fase Nirgua] (1)
Esquisto de Tacagua	(esq. grafit. y epidocita)	[Fase Tacagua] (1)
Serpentinita		[sin nombre formal]

Franja central. Presenta las partes más elevadas de la Cordillera de La Costa (2.765 m en pico Naiguatá y 2.640 m en la Silla de Caracas). En el área de Caracas se ubica entre las zonas de fallas de Macuto y Tacagua- Ávila

Tabla 11. Asociación Metamórfica Ávila. Edad: Paleozoico-Precámbrico. [Complejo Ávila]

Asociación Metamórfica Ávila. Edad: Paleozoico-Precámbrico [Complejo Ávila]		
Anfibolita de Tócome	(anfibolita, metagabro)	[Metaígneas Tócome]
Metagranito de Naiguatá	(metagranito y gneis)	[igual]
Metadiorita de Todasana	(dior., metagabro, anfib.)	[Complejo Todasana] (3)
Metatonalita de Caruao	(Tonalita, anfib.)	[Complejo Caruao] (3)
Anfibolita de Cabo Codera	(anfib., metagabro)	[Complejo Cabo Codera] (3)
Metagranito de Guaremal	(metagranito)	[Granito de Guaremal]
Gneis de Cabriales	(gneis granítico)	[igual]
Gneis granítico de Choróní	(gneis granítico)	[igual]
Gneis de Colonia Tovar	(gneis granítico)	[igual]
Complejo San Julián	(Esquisto, gneis, anfib.)	[Esq. San Julián] (2)
Augengneis de Peña de	(augengneis)	[igual]

Franja meridional. Mayoritariamente aflora al sur de la zona de fallas Tacagua-Ávila y de La Victoria.

Tabla 12. Asociación Metamórfica Ávila. Edad: Paleozoico-Precámbrico. [Complejo Ávila]

Asociación Metamórfica Ávila. Edad: Paleozoico-Precámbrico. [Complejo Ávila]		
Anfibolita de Tócome	(anfibolita, metagabro)	[Metaígneas Tócome]
Metagranito de Naguayá	(metagranito y gneis)	[igual]
Metadiorita de Todasana	(dior., metagabro, anfib.)	[Complejo Todasana] (3)
Metatonalita de Caruao	(Tonalita, anfib.)	[Complejo Caruao] (3)
Anfibolita de Cabo	Codera (anfib., metagabro)	[Complejo Cabo Codera] (3)
Metagranito de Guaremal	(metagranito)	[Granito de Guaremal]
Gneis de Cabriales	(gneis granítico)	[igual]
Gneis granítico de Choroní	(gneis granítico)	[igual]
Gneis de Colonia Tovar	(gneis granítico)	[igual]
Complejo San Julián	(esquisto gneis, anfib.)	[Esq. San Julián] (2)
Augengneis de Peña de	(augengneis)	[igual]

El término Fase no es utilizado en el Código de Nomenclatura Internacional en lo relativo a unidades litodémicas, por ello y dado que las unidades previamente nombradas de esta forma tienen litotipos uniformes, se ha cambiado la nomenclatura usando el nombre del litotipo predominante.

La definición de Complejo sólo parece ser válida para la unidad previamente denominada "Esquisto de San Julián", ya que posee tipos de rocas entremezclados de diversos orígenes: metasedimentos (esquistos micáceos), plutónicas félsicas (gneis de diversos tipos de composición globalmente granítica), plutónicas - hipoabisales - volcánicas de naturaleza máfica (rocas anfibólicas muy diversas).

Las unidades que originalmente había sido definida como Complejos (Todasana, Caruao y Cabo Codera) contienen varios tipos de rocas plutónicas de una misma serie, por tanto el término Complejo no es recomendable y se prefiere utilizar el nombre del litotipo predominante.

El **miembro informal** cartografiado por Dengo (1950) como "Gneis Microclínico" dentro de su "Formación Las Brisas", merece ser elevado a una unidad formal. Para ello se requiere de estudios adicionales y su publicación. Hay buenas localidades en la zona de Baruta y en el trazado del antiguo ferrocarril Caracas - Santa Lucía, en la zona de El Rosario - Tismare.

8. RESULTADOS

8.1. FORMACION CHUSPITA

Tabla 13. Resumen de los valores obtenidos de los diferentes ensayos realizados en la formación Chuspita

Muestra	Nombre	Prof (m)	Compresión sin confinar (Mpa)	Brasilerero (Mpa)			Ultrasonido	
				Máx	Min	Rango	Vp	Vs
TT-1	Filita	28	-	9,6	9	8,6	-	-
TT-4	Metarenisca	26,5	-	3,5 3,3	1,0 1,2	2,5 2,1	5481	3555
TT-5	Esquisto Cuarzo calcáreo	29	27,6	8,2 7,5	1,2 1,3	6,9 6,1		
TT-6	Esquisto Cuarzo Calcáreo	18	-	-	-	-	5016	2759
TT-12	Esquisto Cuarzo Feldespático	24	-	-	-	-	-	-
TT -37	Mármol	36	109,7	-	-	-	-	-
VT – 42	Mármol Bandeado	31,5	37,0	2,43	0,2	2,1	5772	2659
VT – 44	Esquisto cuarzo carbonatico	19	24,9	-	-	-	1783	1010
VE-55	Mármol	20	-	-	-	-	1565	691
VE-56	Esquisto Cuarzo Micáceo	41	-	-	-	-	1937	1200
VE – 60	Esquisto cuarzo grafitoso	28	63,3	1,69	1,3	0,3	4374	782

Una vez obtenido los valores de resistencia a la compresión simple de las muestras para esta formación, pudimos diferenciar el comportamiento mecánico por tipo litológico, obteniendo los siguientes rango de valores:

Esquistos: 24,9MPa - 63,3MPa

Mármoles: 3 7,0MPa – 109,7MPa

Promedio

Esquisto: 44,1 MPa

Mármoles: 73,3 MPa

Los valores de resistencia a la Tracción de las muestras para esta formación, diferenciando el comportamiento mecánico por tipo litológico, se obtuvieron los siguientes rangos de valores:

Esquistos: 1,6MPa – 8,2MPa.

Para las Metarenisca y la filita ensayada no se pudo establecer un rango de valores ya que sólo se contaba con un solo ejemplar de este tipo litológico

Los valores de Velocidades de onda sísmica de las muestras para esta formación pudimos diferenciar el comportamiento mecánico por tipo litológico obteniendo rango de valores:

Vp Esquistos: 1783 – 5016

Vs Esquistos: 782 - 2759

Vp Promedio: 3277

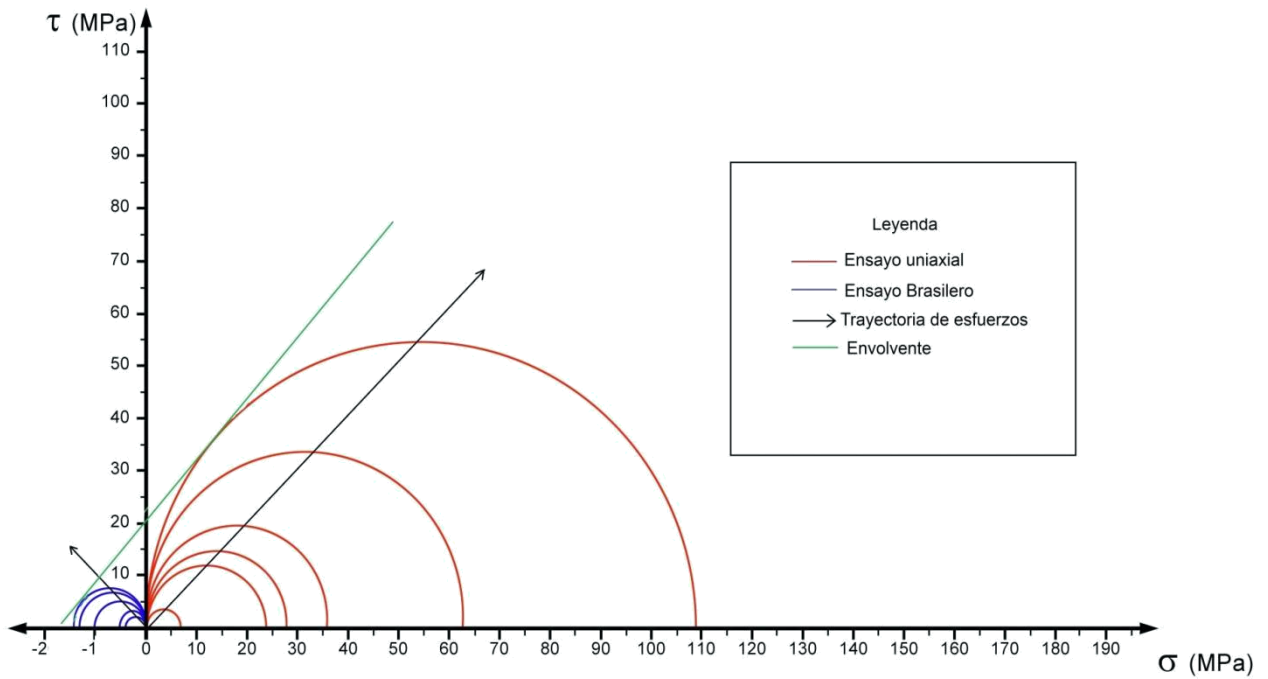
Vs Promedio: 1437

Vp Mármol: 1937 – 5772

Vs Mármol: 691 – 2659

Vp Promedio: 3668

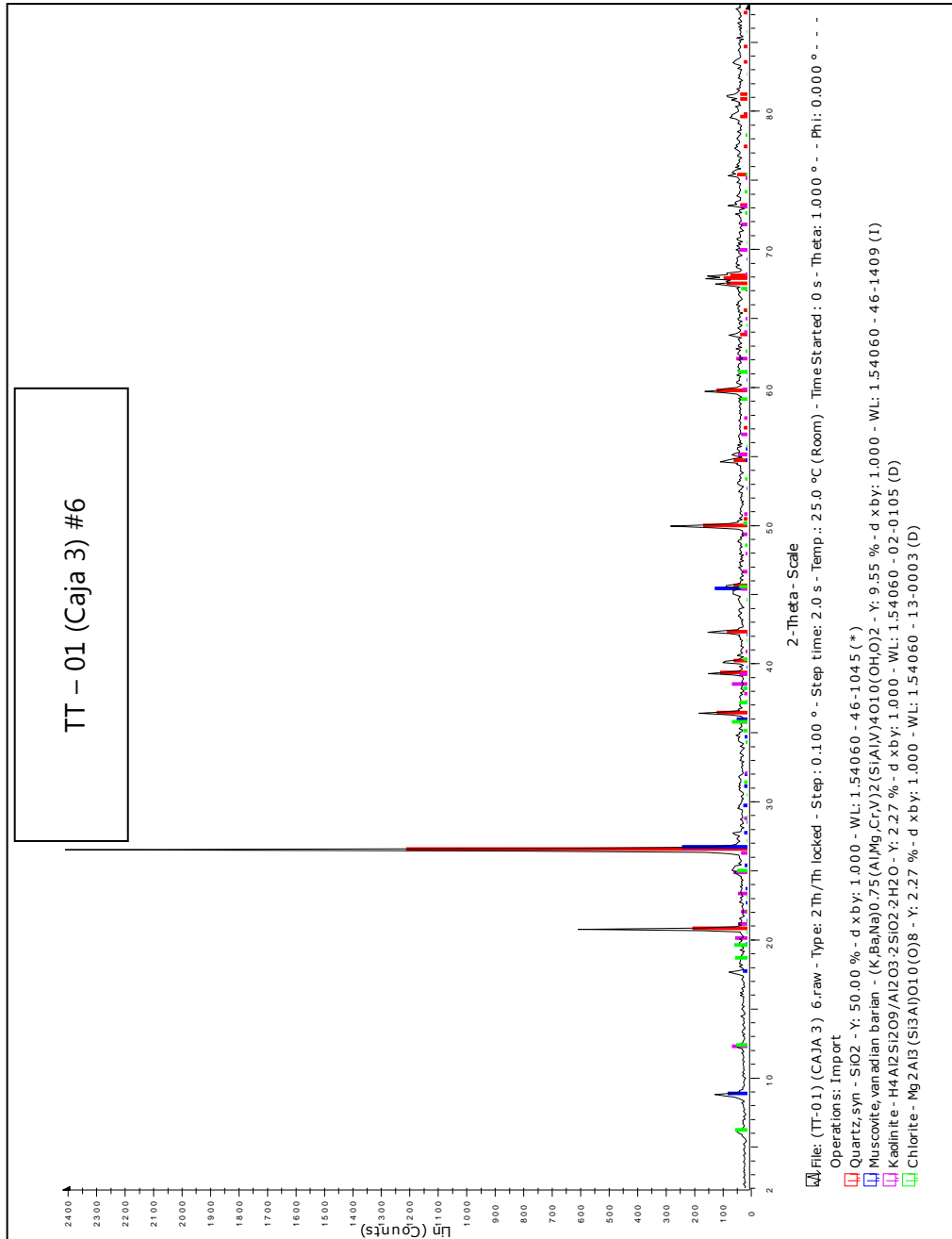
Vs Promedio: 1675



Gráfica N° 1. Estado de esfuerzo deformación de la totalidad de muestras ensayadas en compresión simple y tracción indirecta de la Formación Chuspita

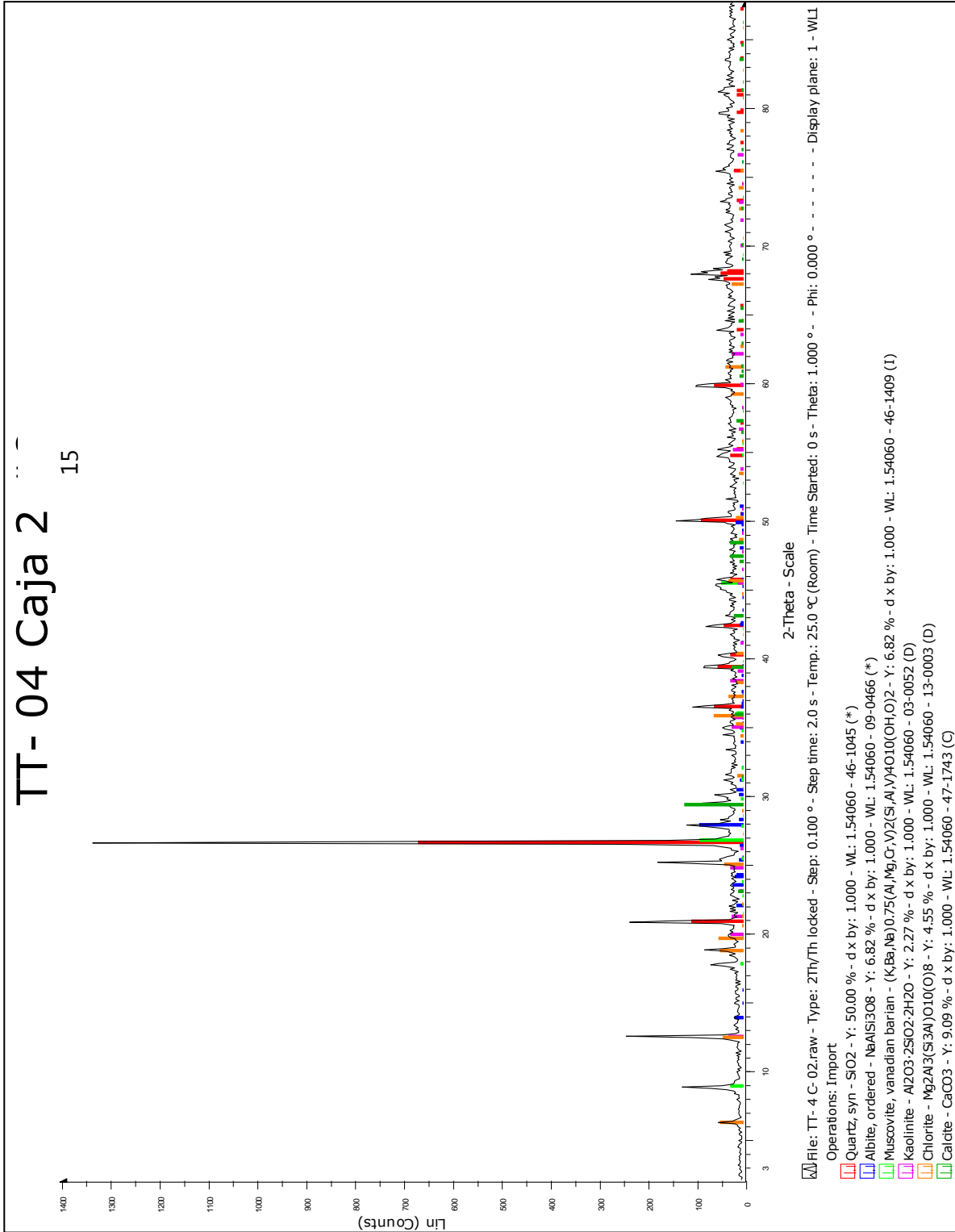
Difraccion de rayos X

MUESTRA TT 01



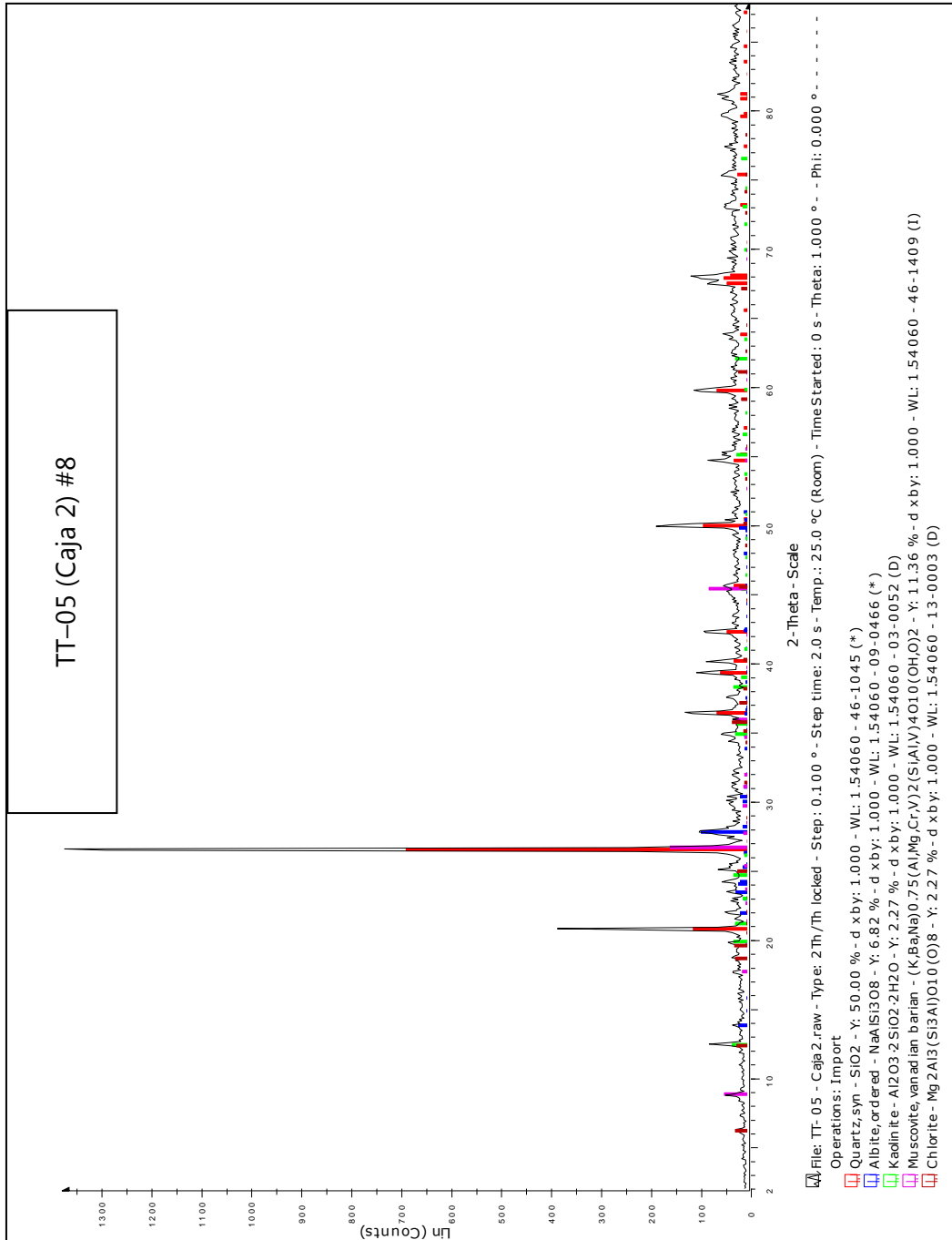
Gráfica N° 2

Muestra TT 04



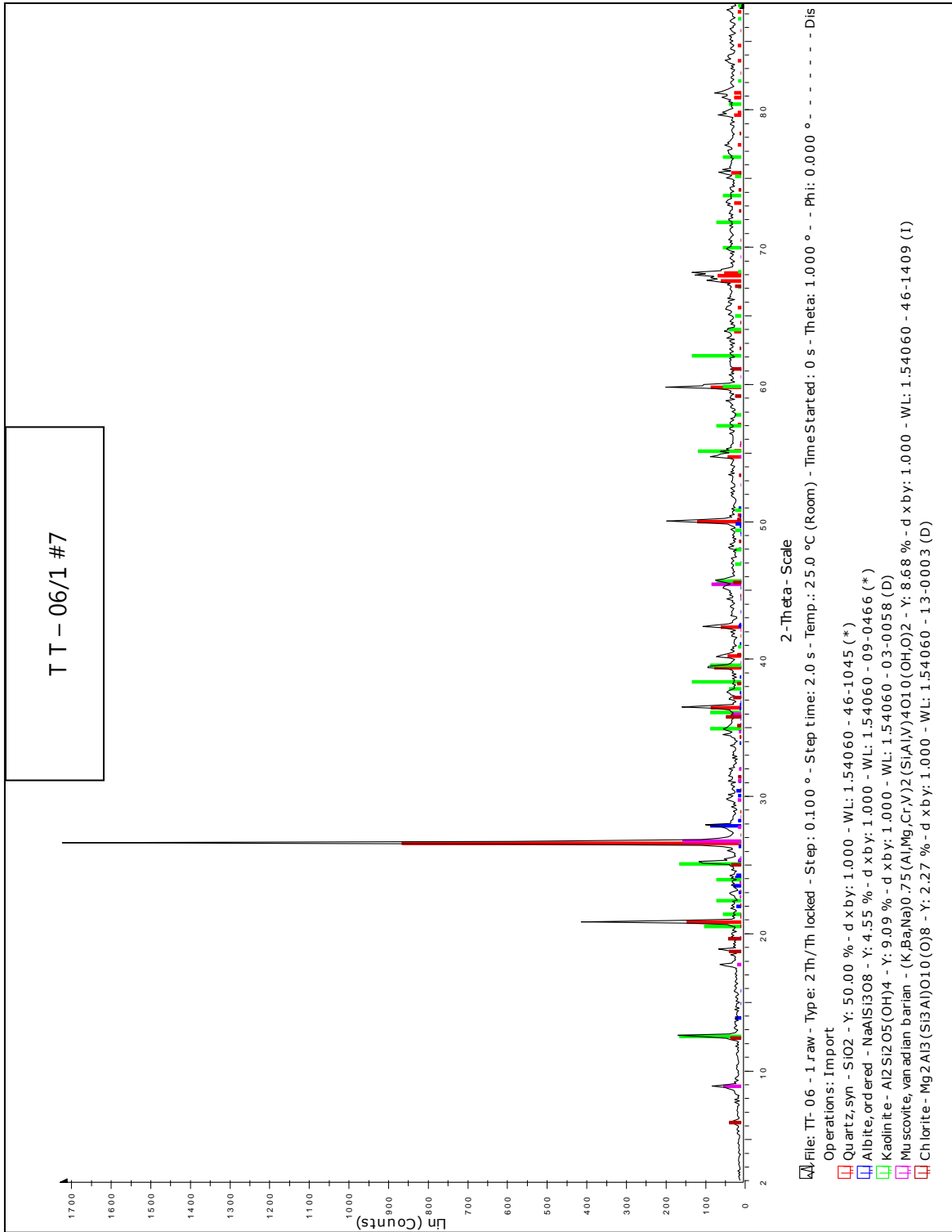
Gráfica N° 3

Muestra TT 05



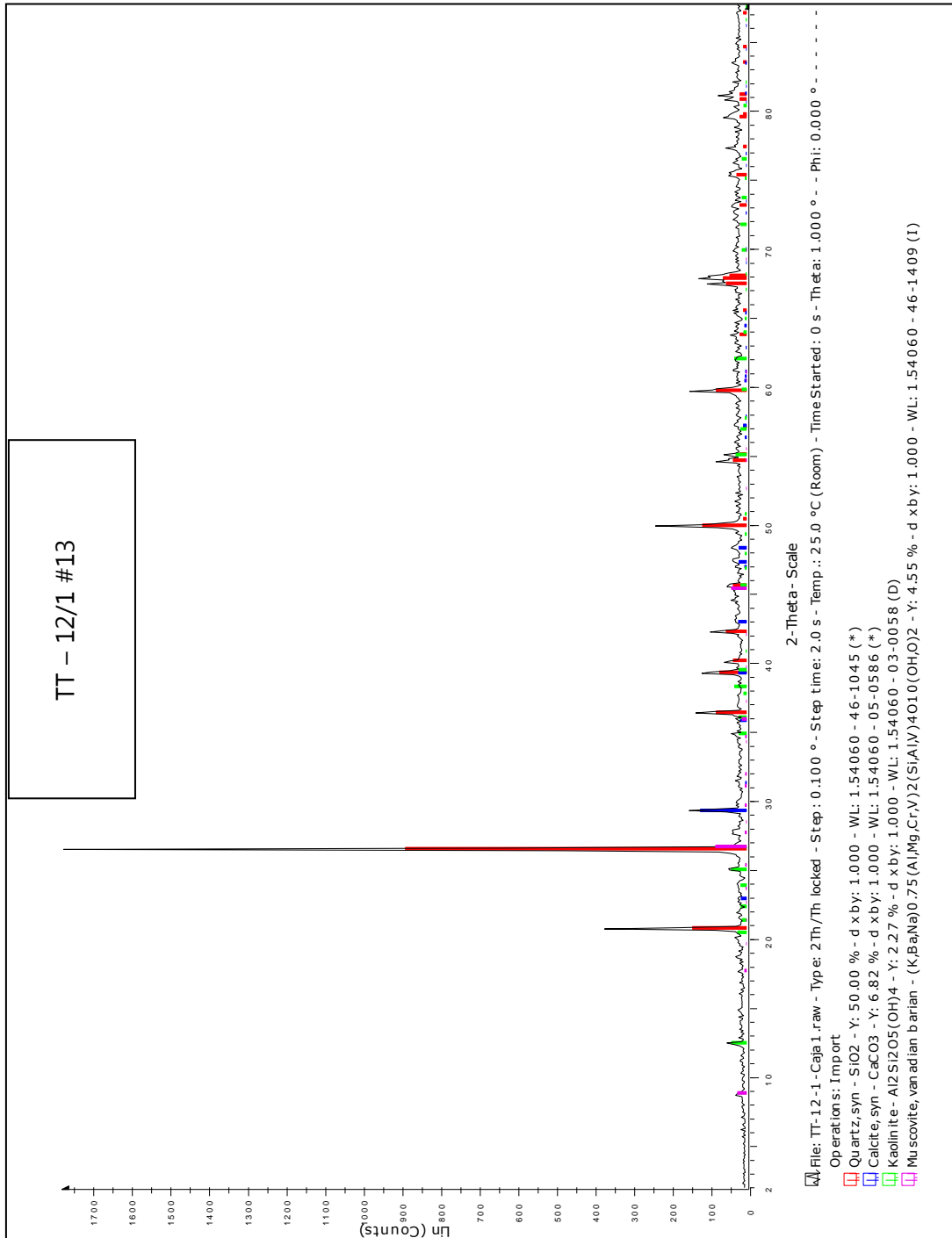
Gráfica N° 4

Muestra TT 06



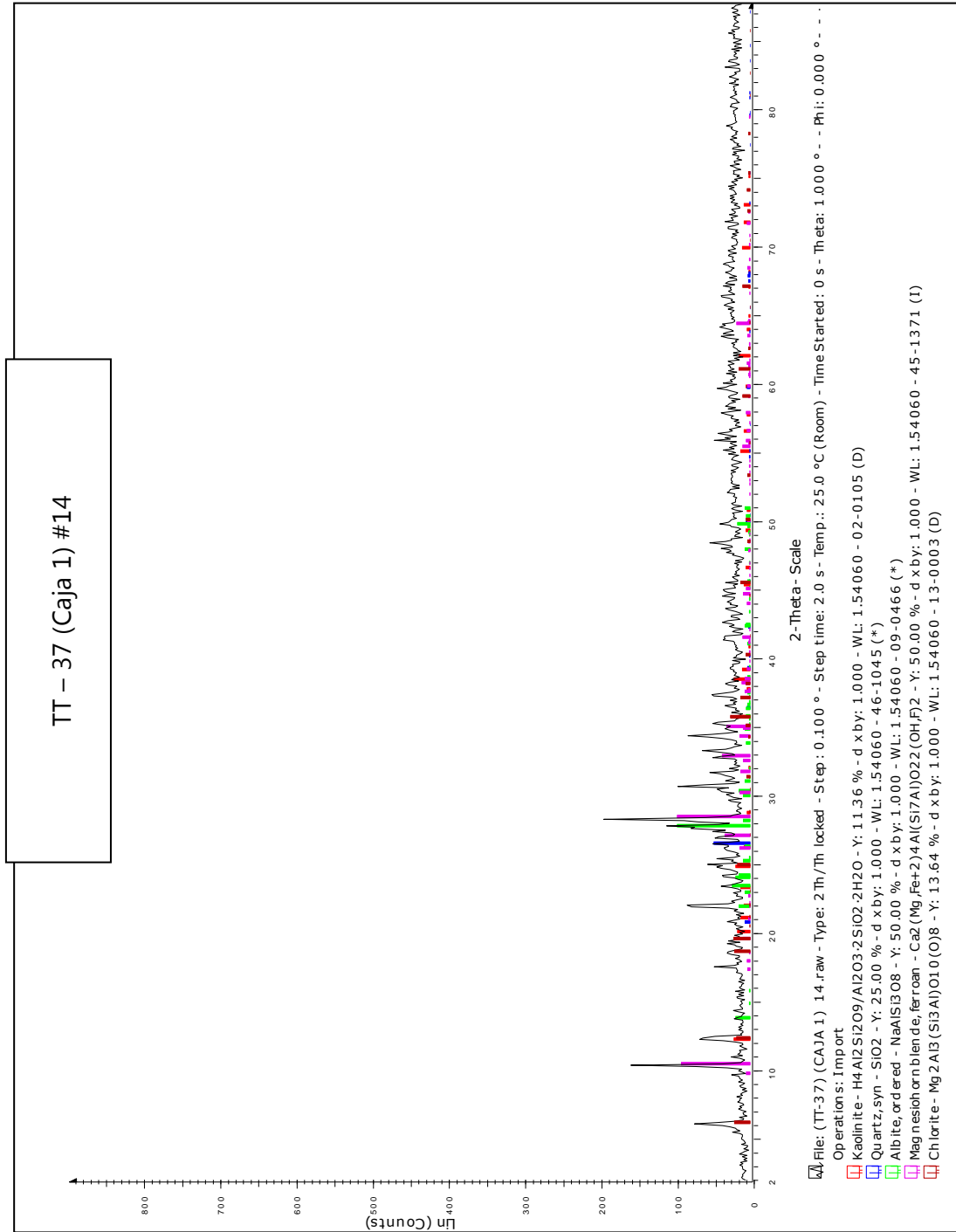
Gráfica N° 5

Muestra TT 12



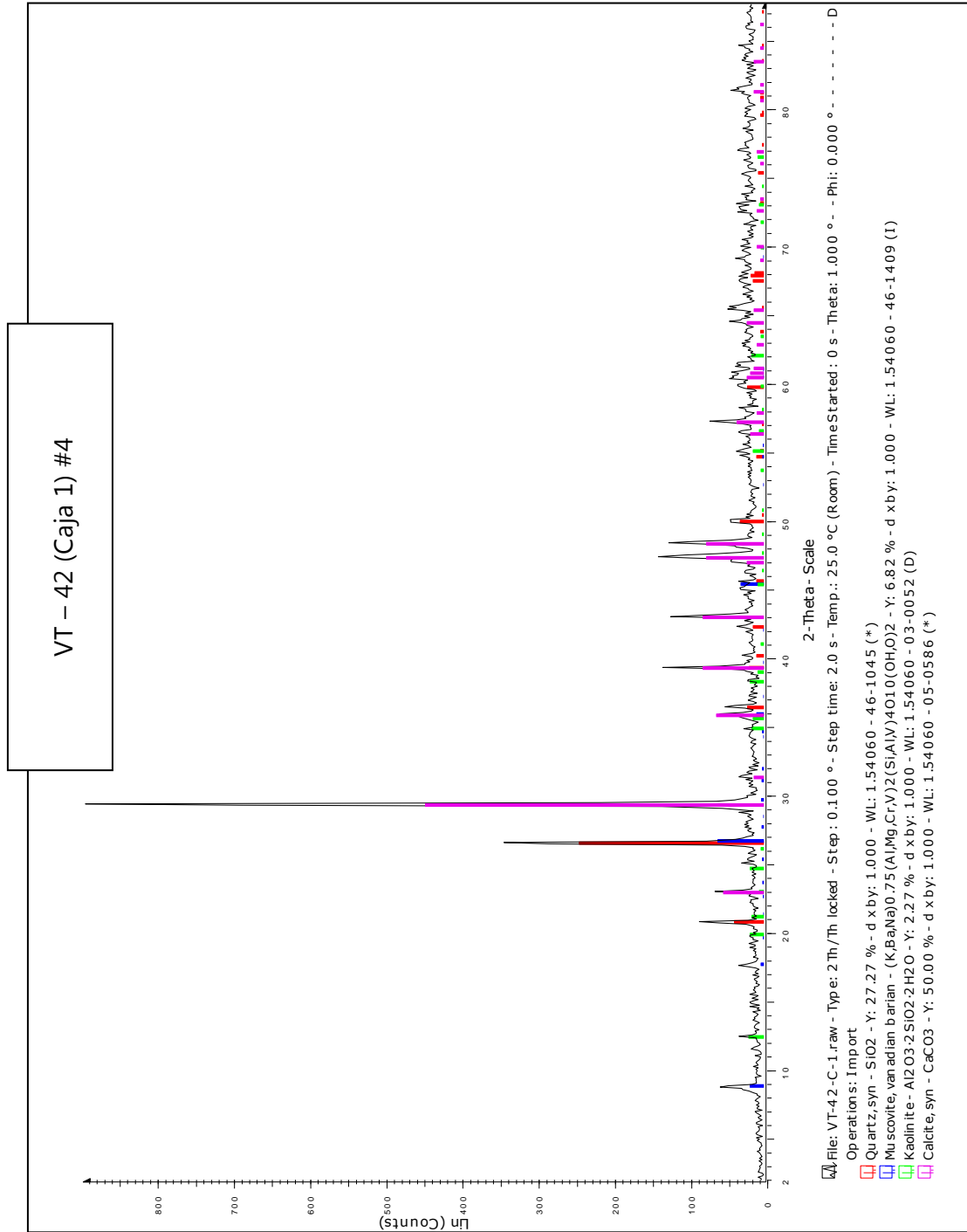
Gráfica N° 6

Muestra TT 37



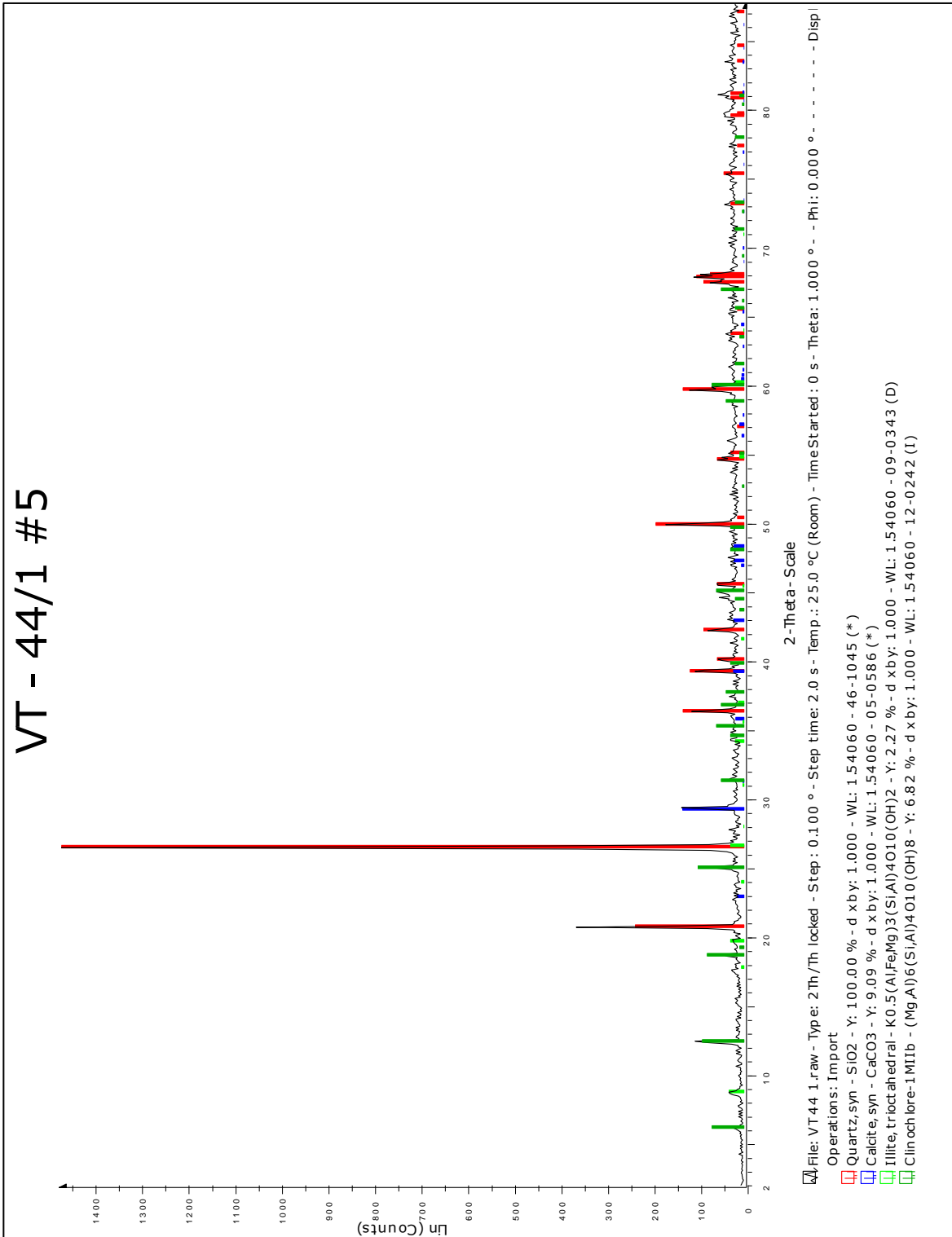
Gráfica N° 7

Muestra VT 42



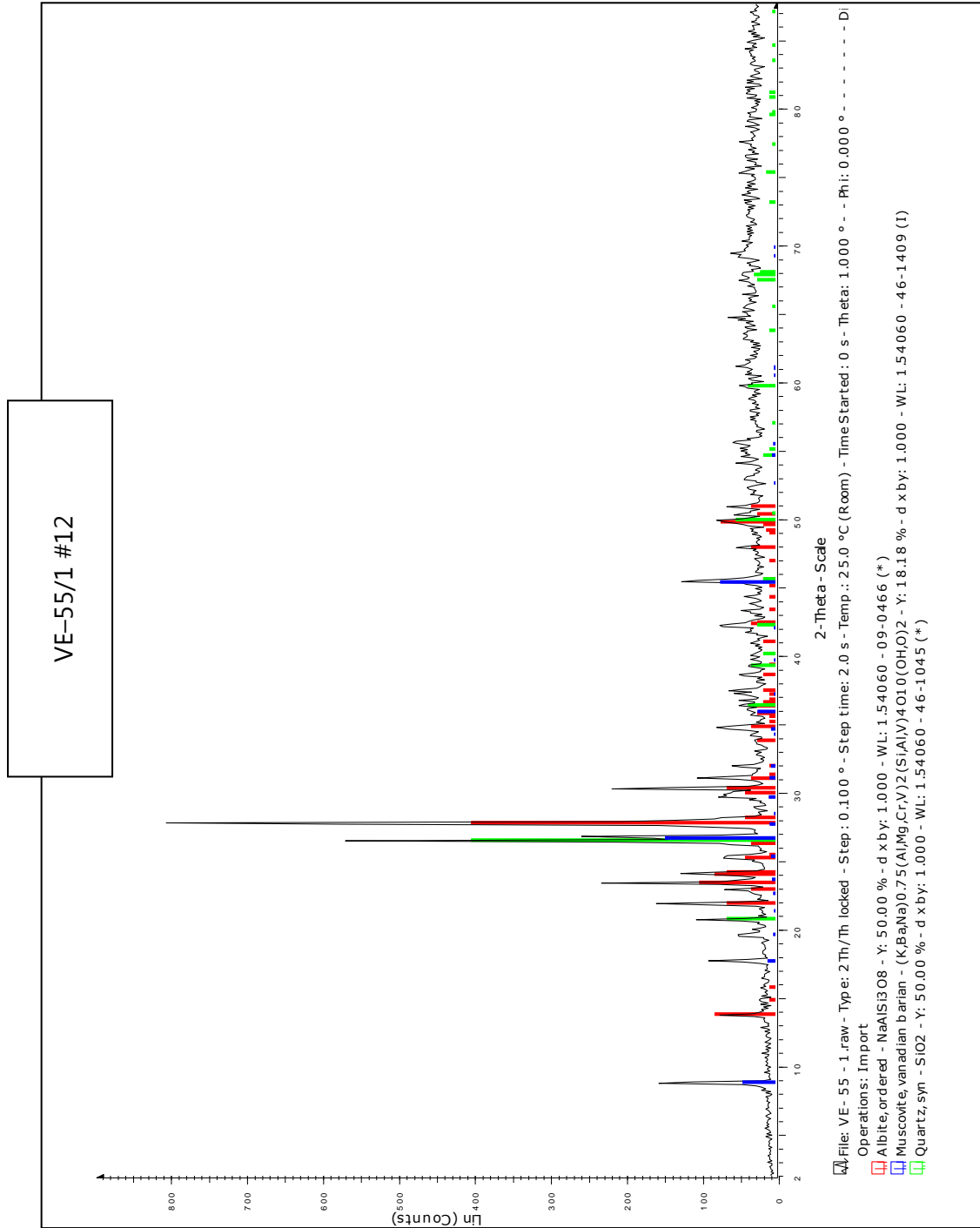
Grafica N°8

Muestra VT 44



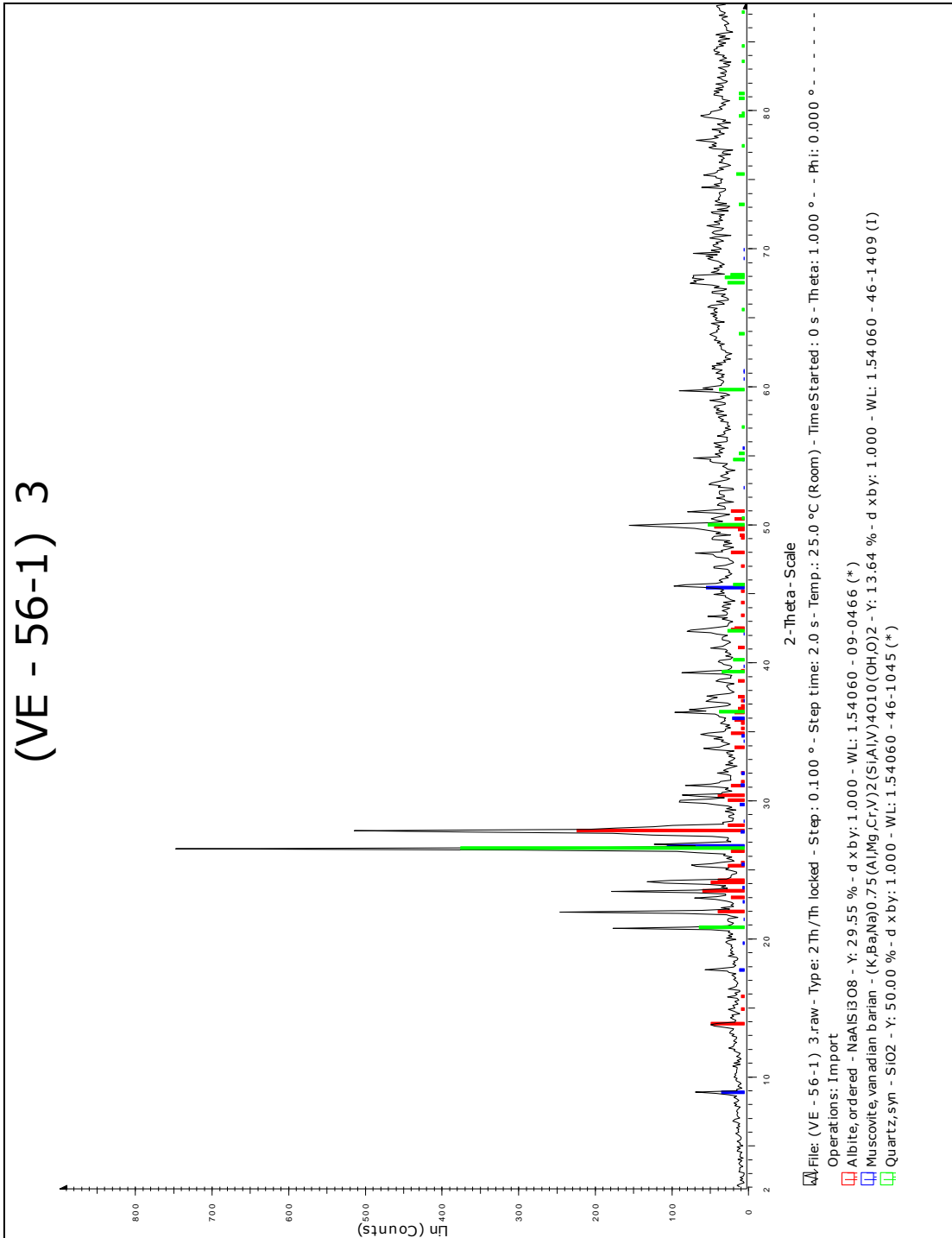
Grafica N°9

Muestra VE-55



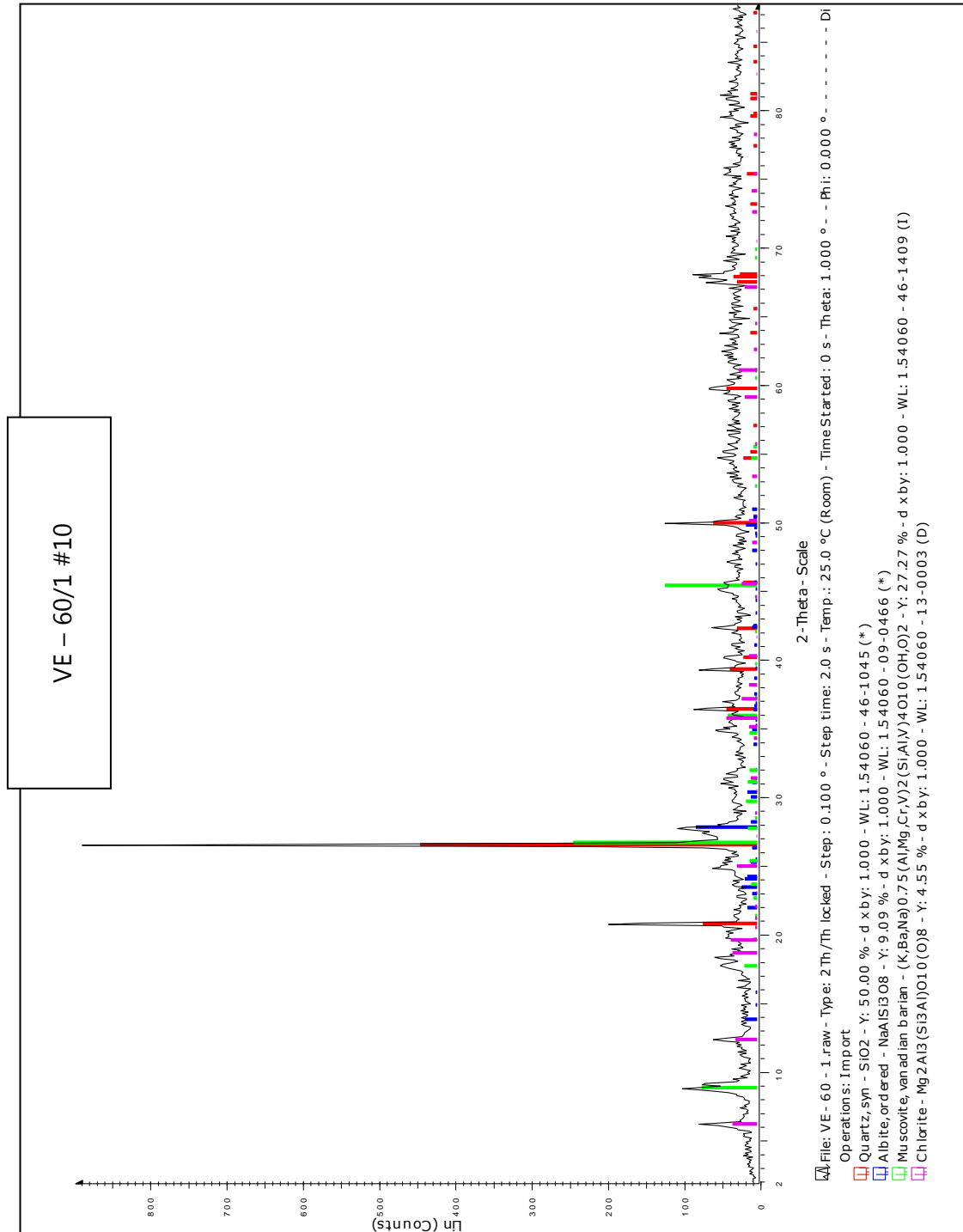
Grafica N° 10

Muestra VE-56



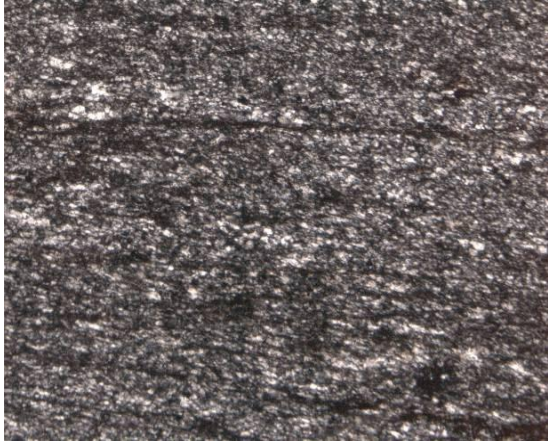

Grafica N°11

Muestra VE-60



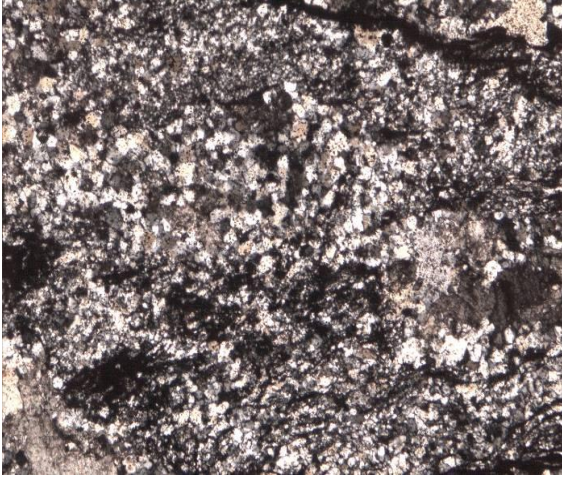
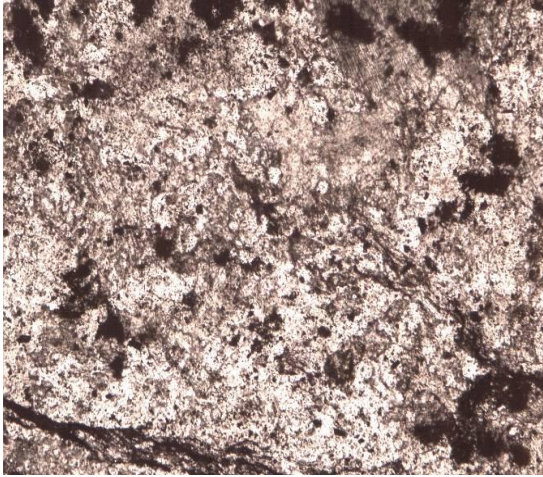
Grafica N° 12

Petrografías

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA TT-1 PETROGRAFIA # 6			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Filita			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
Textura: Lepidoblástica.			
Contenido Mineralógico: 45% Cuarzo, 10% Moscovita, 10% Biotita, 30% Calcita, 5% Circón.			
Origen: Metamorfismo de grado bajo.			
Coordenadas UT: E482933.77 N1133891.03	Progresivas: 40+314	Cota: 528m	Recuperación: 34cm
Formación: Chuspita			

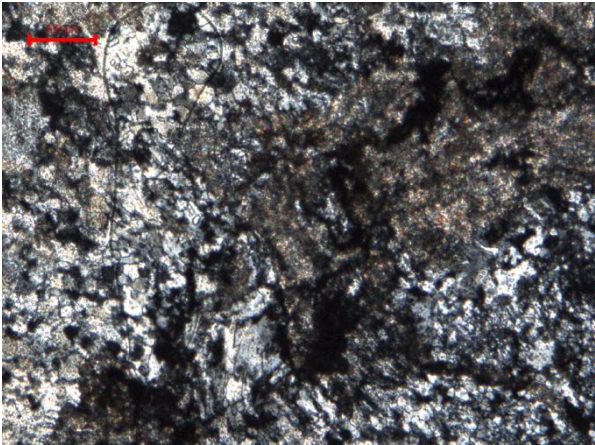
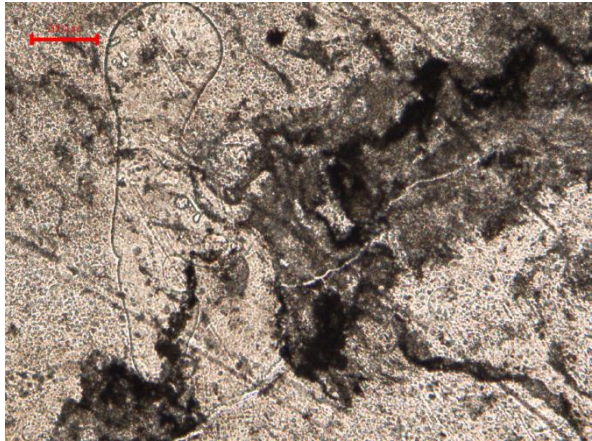
Grafica N° 13

Muestra TT-04

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA TT-04/1 PETROGRAFIA # 15			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Metarenisca			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
Textura: Granoblástica.			
Contenido Mineralógico: 35% Cuarzo, 25% Feldespatos, 10% Biotita, 10% Sericita, Circón, 15% Hematita.			
Origen: Metamorfismo de bajo grado.			
Coordenadas: E483524.38 N1133973.10	Progresivas: 40+911	Cota: 466,8m	Recuperación: 34cm
Formación: Chuspita			

Grafica N° 14

Muestra TT-5

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA TT-5/1 PETROGRAFIA # 8			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Esquisto Cuarzo Calcáreo			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
Textura: Granoblástica.			
Contenido Mineralógico: 40% Cuarzo, 25% Calcita, , 15% Biotita,10% Moscovita , 5% Grafito, 5% Hematita.			
Origen: Metamorfismo de bajo grado.			
Coordenadas UT: E484502.87 N1133926.30	Progresivas: 41+895	Cota: 465,3m	Recuperación: 30cm
Formación: Chuspita			

Grafica N° 15

Muestra TT-6

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA TT-6/1 PETROGRAFIA # 7			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Esquisto Cuarzo Calcáreo			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
Textura: Granoblástica.			
Contenido Mineralógico: 40% Cuarzo, 5% Moscovita, 15% Biotita, 25% Calcita, 5% Clorita, Circón, Hematita.			
Origen: Metamorfismo de bajo grado.			
Coordenadas	UT:	Progresivas:	Recuperación:
E484528.38 N1133920.59		41+921	35cm
Formación: Chuspita			

Grafica N° 16

Muestra TT-12

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA TT-12/1 PETROGRAFIA # 13			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Esquisto Cuarzoso feldespatico			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
Textura: Lepidoblástica			
Contenido Mineralógico: 35% Cuarzo, 25% Feldespatos, 20% Grafito, 10%, Clorita, Circón, 5% Hematita.			
Origen: Metamorfismo de grado bajo.			
Coordenadas: E486860,00 N1132685.43	Progresivas: 44+574	Cota: 446,5	Recuperación 35M
Formación: Chuspita			



Grafica N° 17

Muestra TT-37

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA TT-37/1 PETROGRAFIA # 14			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Mármol			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
Textura: Granoblástica.			
Contenido Mineralógico: 15% Cuarzo, 45% Calcita, 5% Moscovita, 5% Clorita 30% de Hematita y minerales accesorios como y Circón.			
Origen: Metamorfismo grado bajo.			
Coordenadas: E492753,0 N1131830,00	Progresivas: 50+581	Cota: 403,5m	Recuperación: 28cm
Formación: Chuspita			

Grafica N° 18

Muestra VT-42

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA VT-42 PETROGRAFIA # 4			
			
Nicoles cruzados 20X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Mármol Bandeado			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
Textura: Granonematoblastica. Se observa un alineamiento bien marcado el cual está influenciado por la presencia de grafito a lo largo de toda la muestra.			
Contenido mineralógico: 70% Calcita, 10% cuarzo, 5% mineral metálico magnetita, 15% grafito por grietas.			
Origen: Metamorfismo de bajo grado.			
Coordenadas UT:	Progresiva 39+908	Cota: 469m	Recuperación: 45cm
E482562,88			
N1133822,11			
Formación: Chuspita			

Grafica N° 19

Muestra VT-44

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA VT-44 PETROGRAFIA # 5			
			
Nicoles cruzados 10X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Esquisto Cuarzo-Carbonático			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
Textura: Granoblástica de granos muy finos, con abundante mineral metálico, en grano fino disperso por toda la muestra.			
Contenido mineralógico: 65% cuarzo, 20% Calcita, 15% biotita, 10% magnetita dispersa por toda la muestra.			
Origen: Metamorfismo de bajo grado.			
Coordenadas UT: E482562,88 N1133822,11	Progresivas: 39+908	Cota: 469,0m	Recuperación: 45cm
Formación: Chuspita			


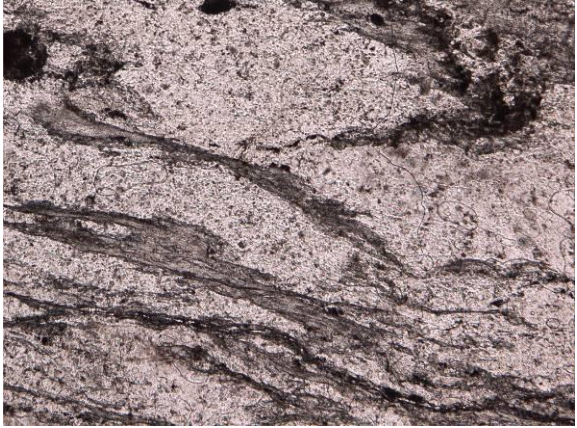
Grafica N° 20

Muestra VE-55

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA VE-55 PETROGRAFIA # 12			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Mármol			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
<p>Textura: Granoblástica.</p> <p>Contenido Mineralógico: 50%, Cuarzo 30% Calcita 10% Moscovita, 10% albita</p> <p>Origen: Metamorfismo de grado bajo.</p>			
<p>Coordenadas: E465188,65 N1130366,65</p>	<p>Progresiva: 22+091</p>	<p>Cota: 580m</p>	<p>Recuperación: 45cm</p>
Formación: Chuspita			

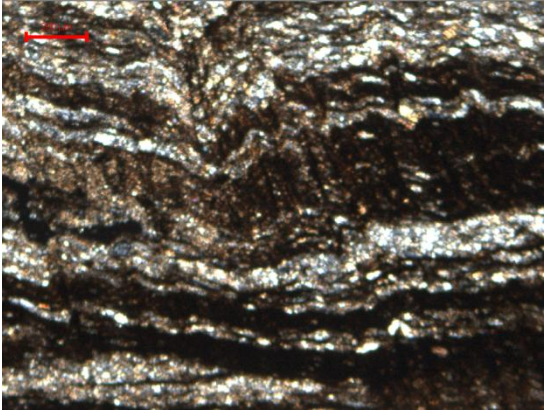
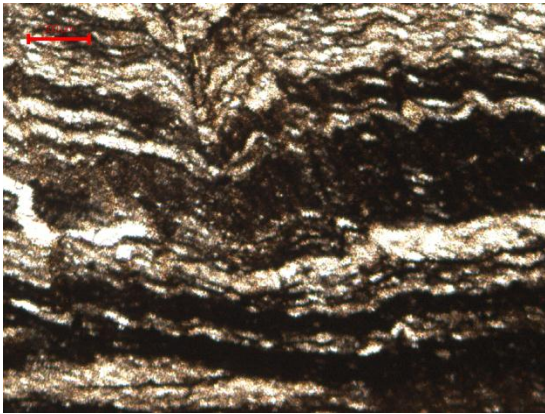
Grafica N° 21

MUESTRA VE-56

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA VE-56 PETROGRAFIA # 3			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Esquisto Cuarzo Micáceo			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
Textura: Granolepidonematoblástica, con un marcado bandeamiento con acumulaciones de mineral metálico.			
Contenido mineralógico: 45% Cuarzo, 15% Feldespatos (ortosa), 10% Moscovita, 15% Clorita, 5% Magnetita, Esfena.			
Origen: Metamorfismo de grado bajo.			
Coordenadas UT: E465188,65 N1130366,65	Progresiva: 22+091	Cota: 580m	Recuperación: 45cm
Formación: Chuspita			

Grafica N° 22

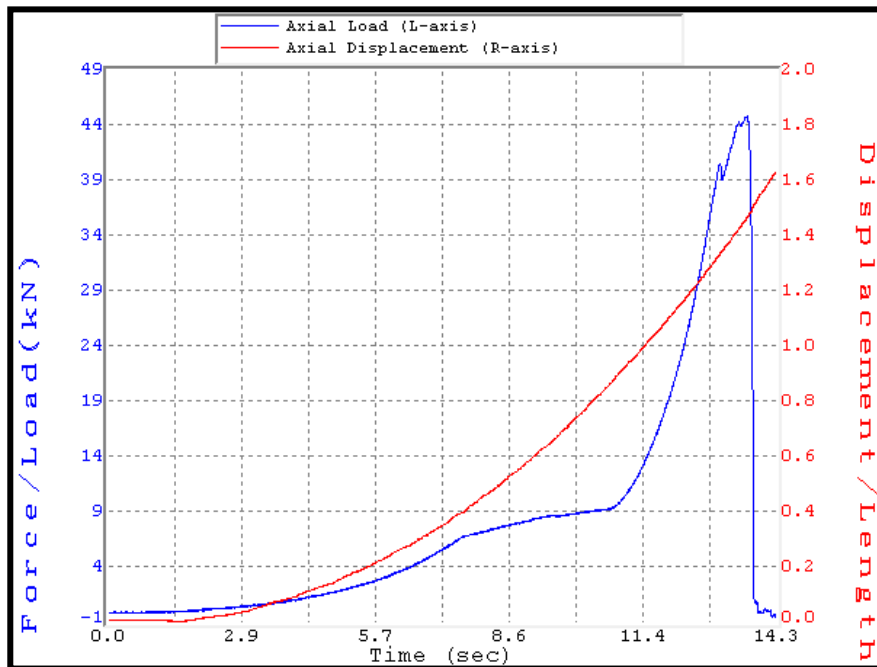
Muestra VE-60

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA VE-60 PETROGRAFIA # 10			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Esquisto cuarzo Grafitoso			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
<p>Textura: Lepidoblástica.</p> <p>Contenido Mineralógico: 45% Cuarzo, 15% Grafito, 15% muscovita, 8% albita y el resto entre Circón y Esfena.</p> <p>Origen: Metamorfismo de grado bajo.</p>			
<p>Coordenadas: E466922,36 N1130480,67</p>	<p>Progresiva: 23+826</p>	<p>Cota: 598m</p>	<p>Recuperación: 45cm</p>
Formación: Chuspita			

Grafica N° 23

Compresión Simple

Muestra TT-4

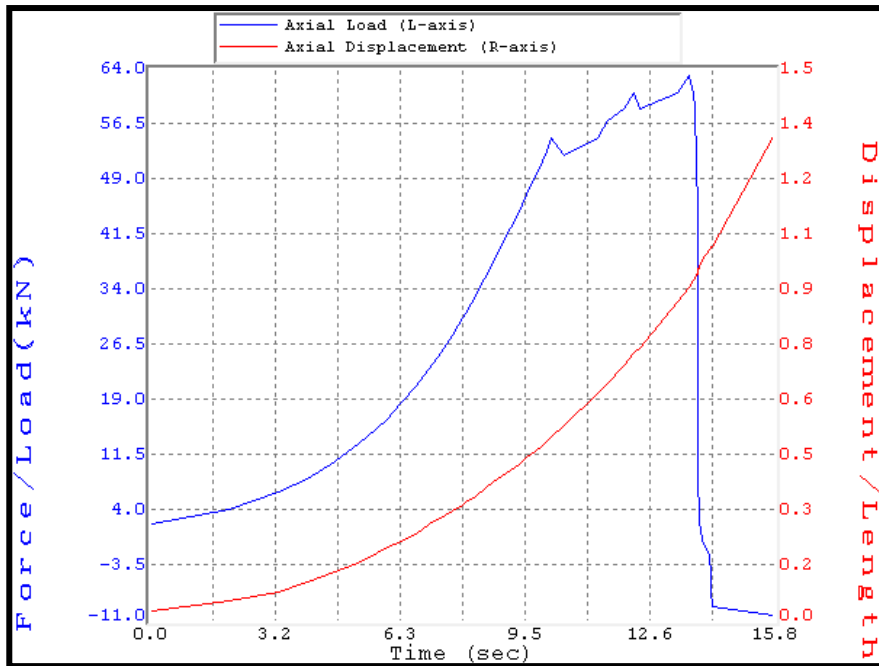


Grafica N° 24

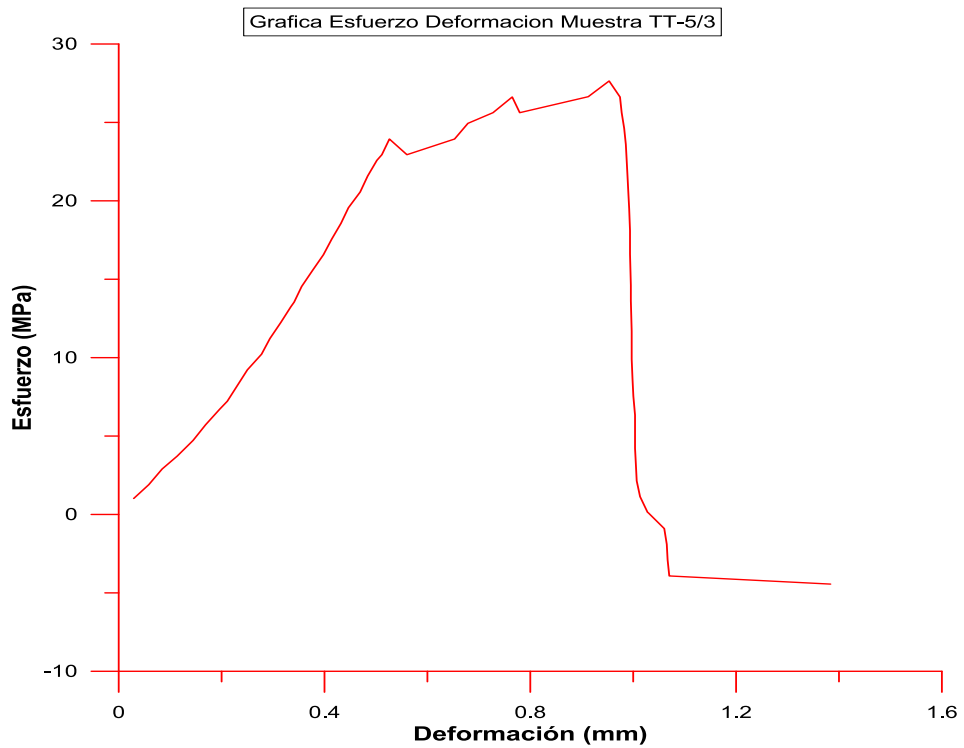


Grafica N° 25

Muestra TT-5



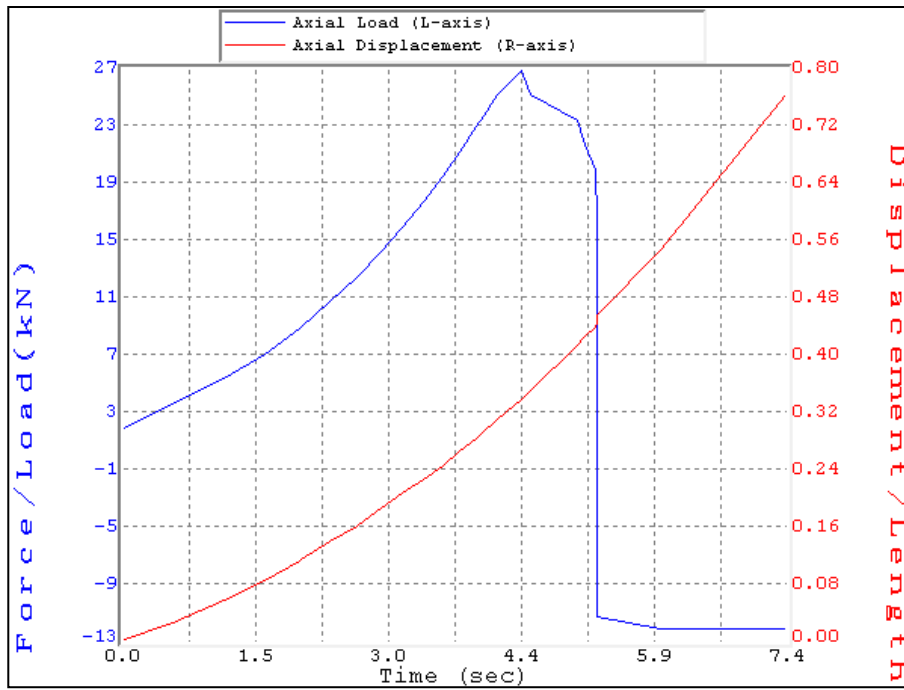
Grafica N° 26



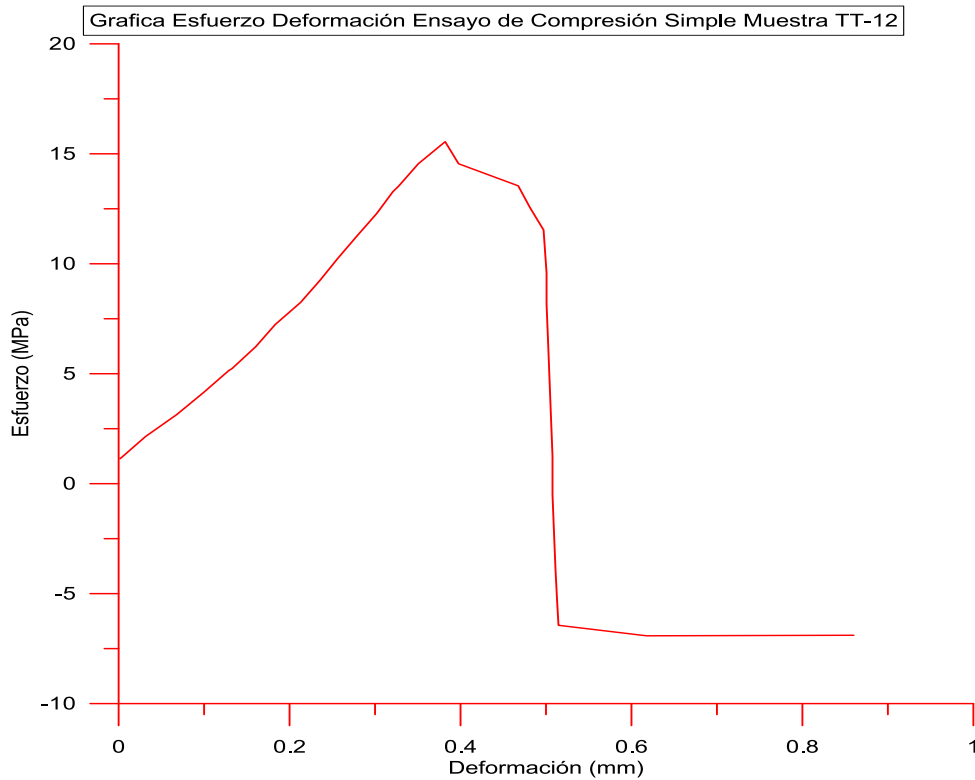
Grafica N° 27



MUESTRA TT 12



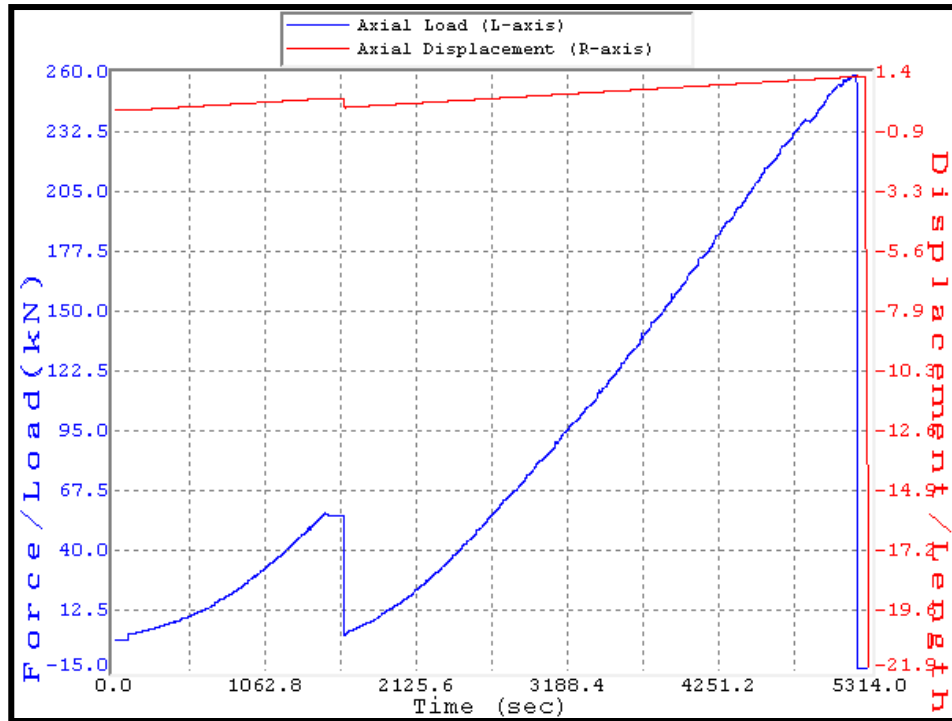
Grafica N° 28



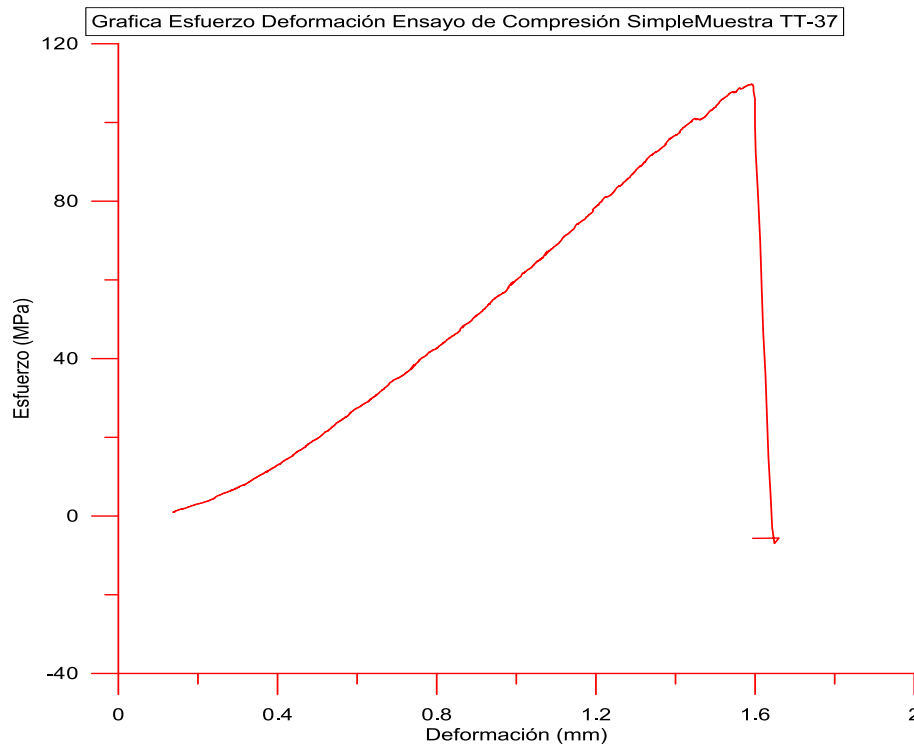
Grafica N° 29



Muestra TT-37



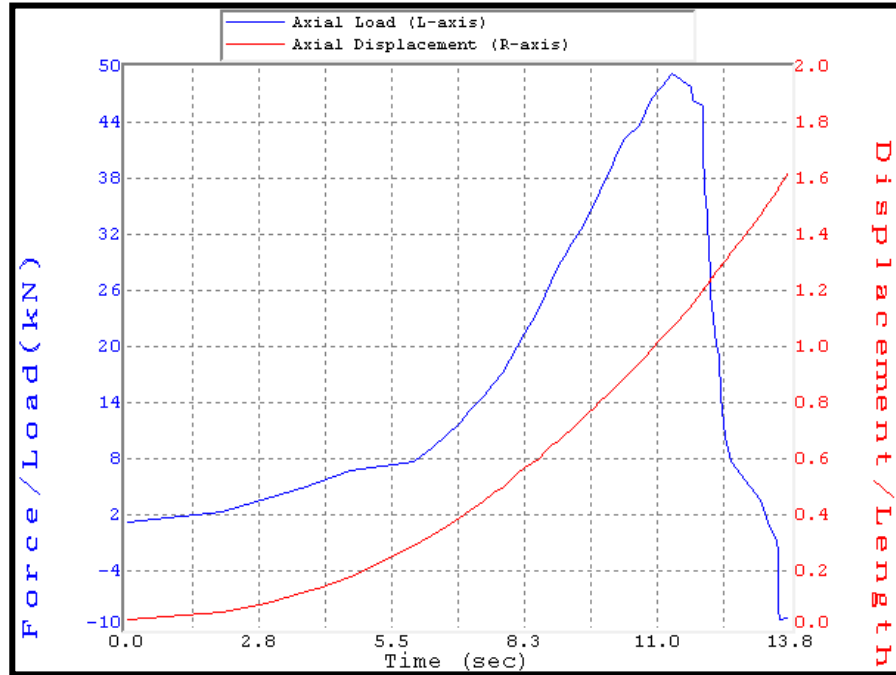
Gráfica N° 30



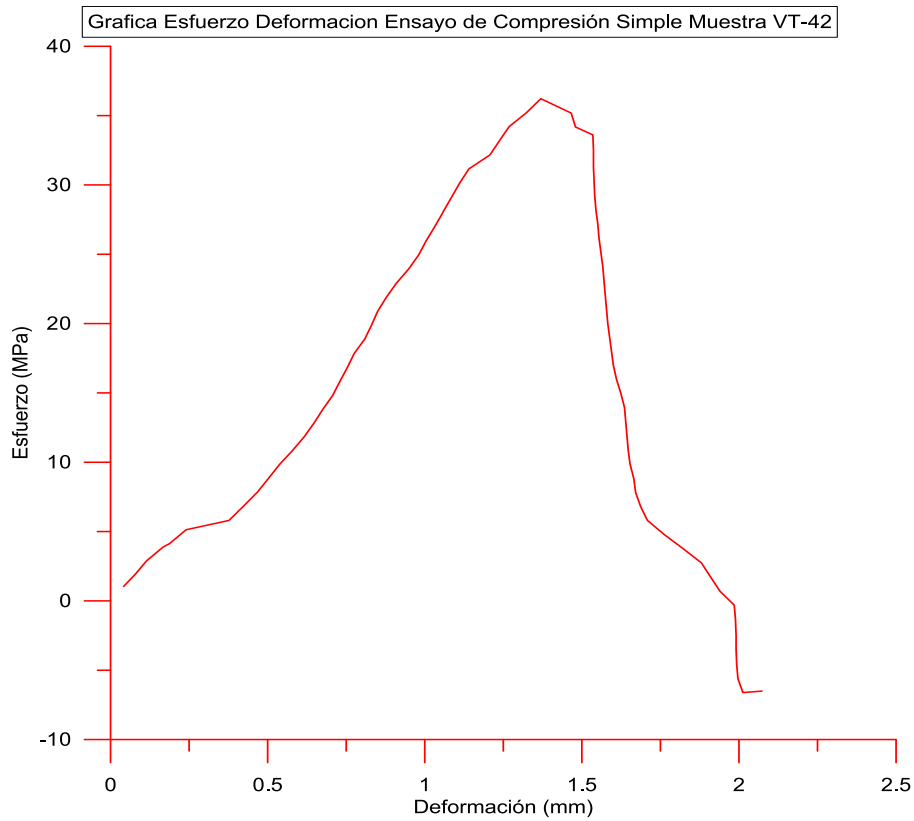
Gráfica N° 31



Muestra VT-42



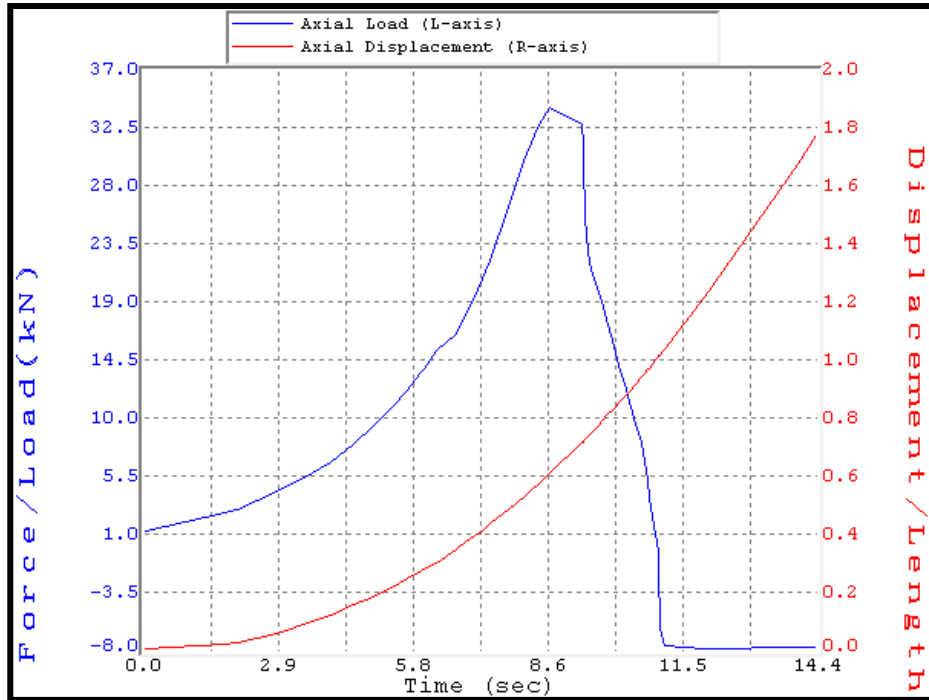
Gráfica N° 32



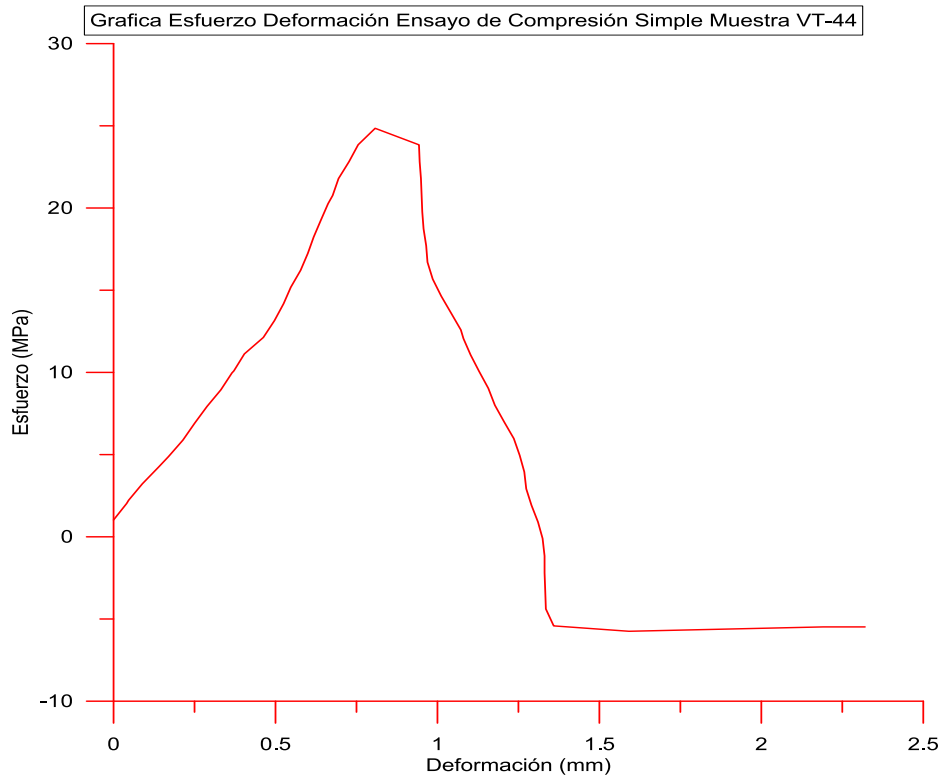
Gráfica N° 33



Muestra VT-44



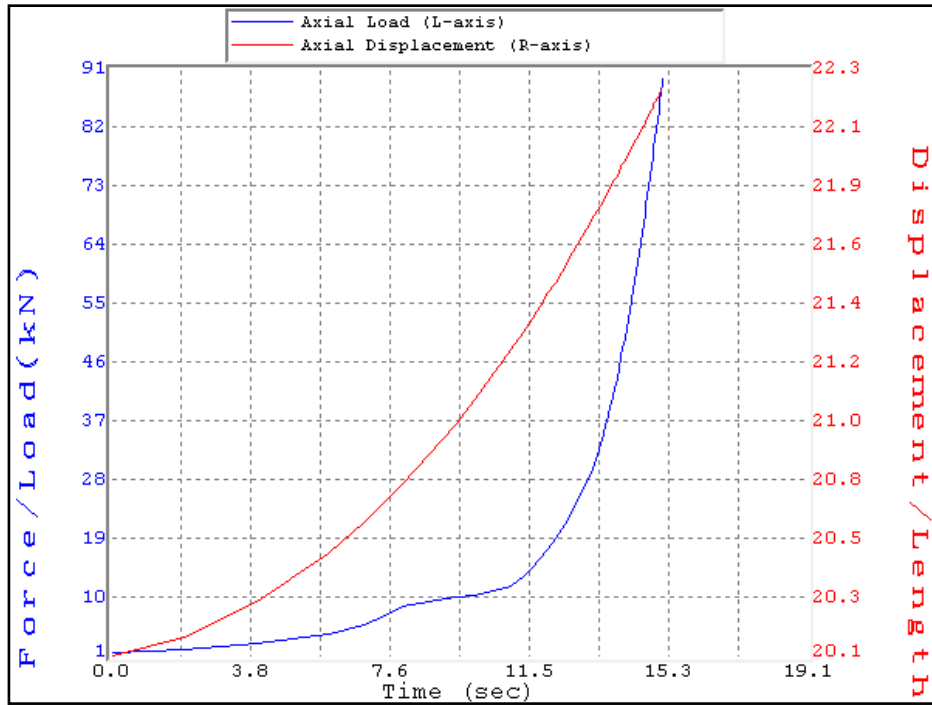
Gráfica N° 34



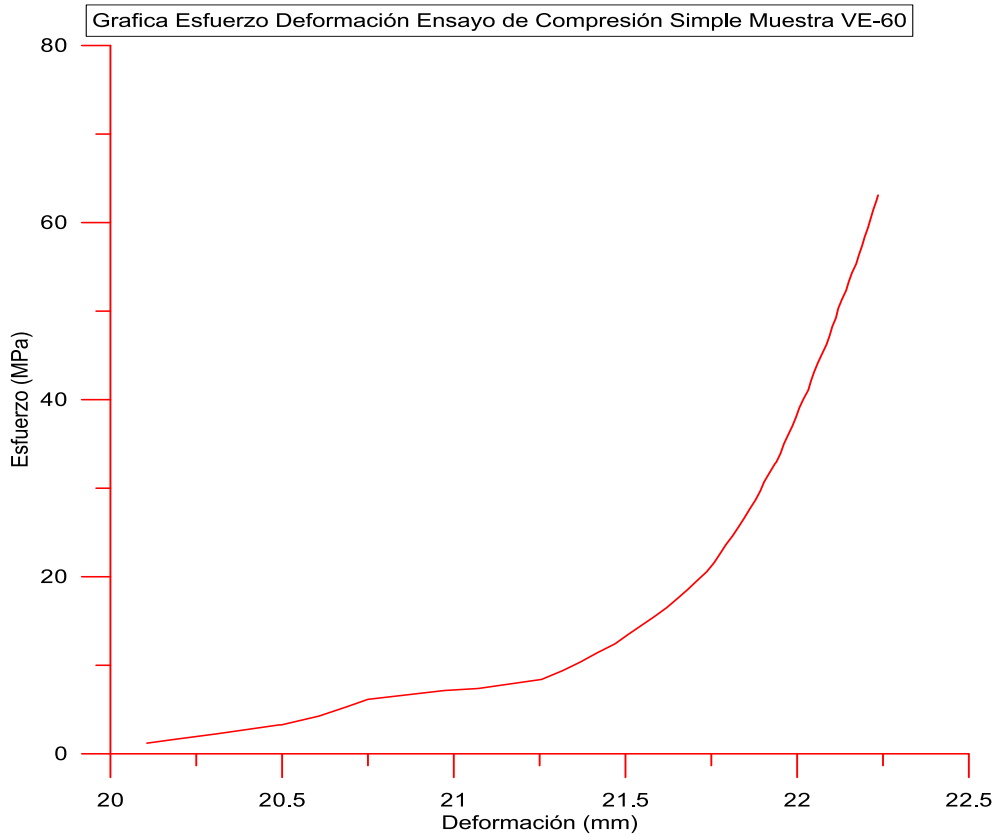
Gráfica N° 35



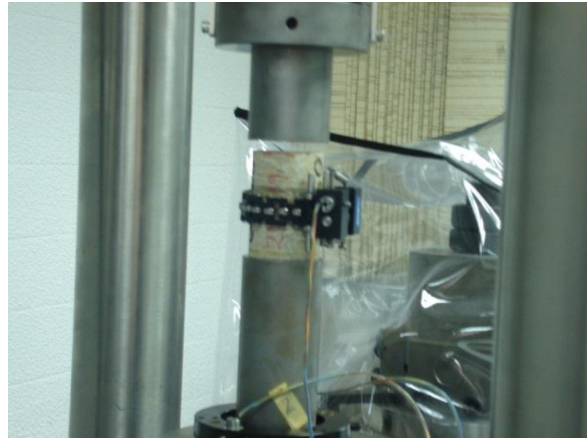
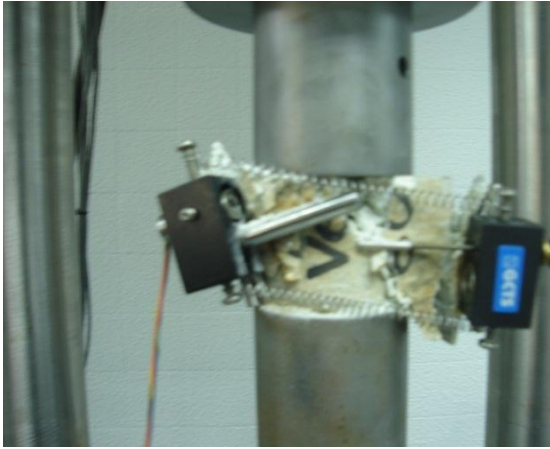
Muestra VE-60



Gráfica N° 36

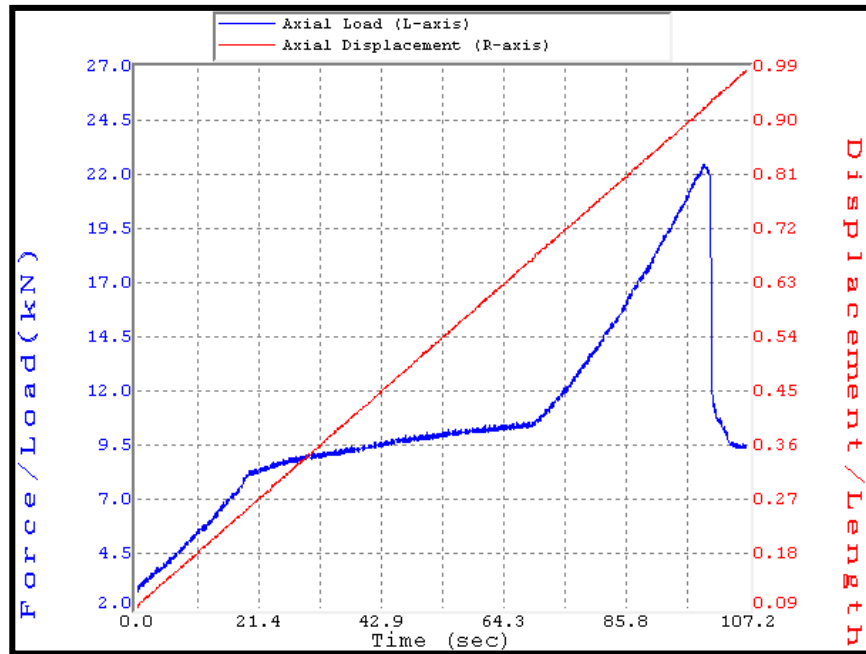


Grafica N° 37

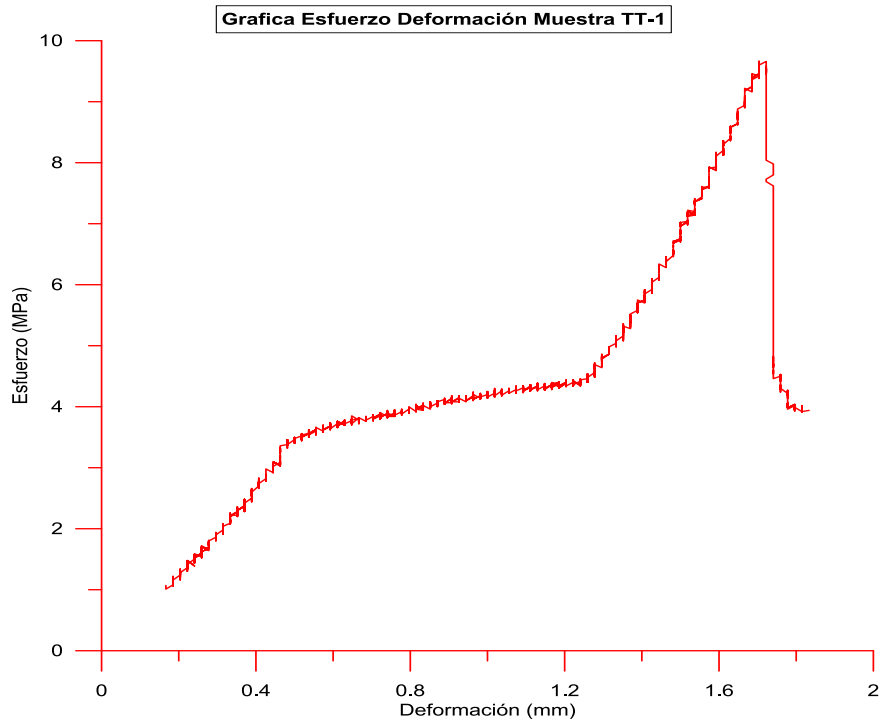


Ensayo de Tracción (Brasilero)

Muestra TT-1



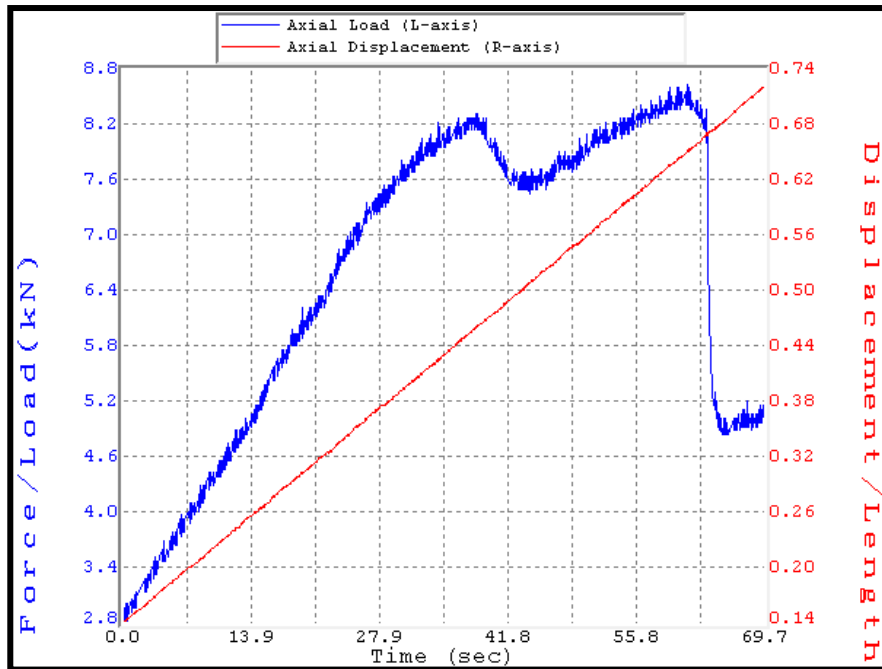
Gráfica N° 38



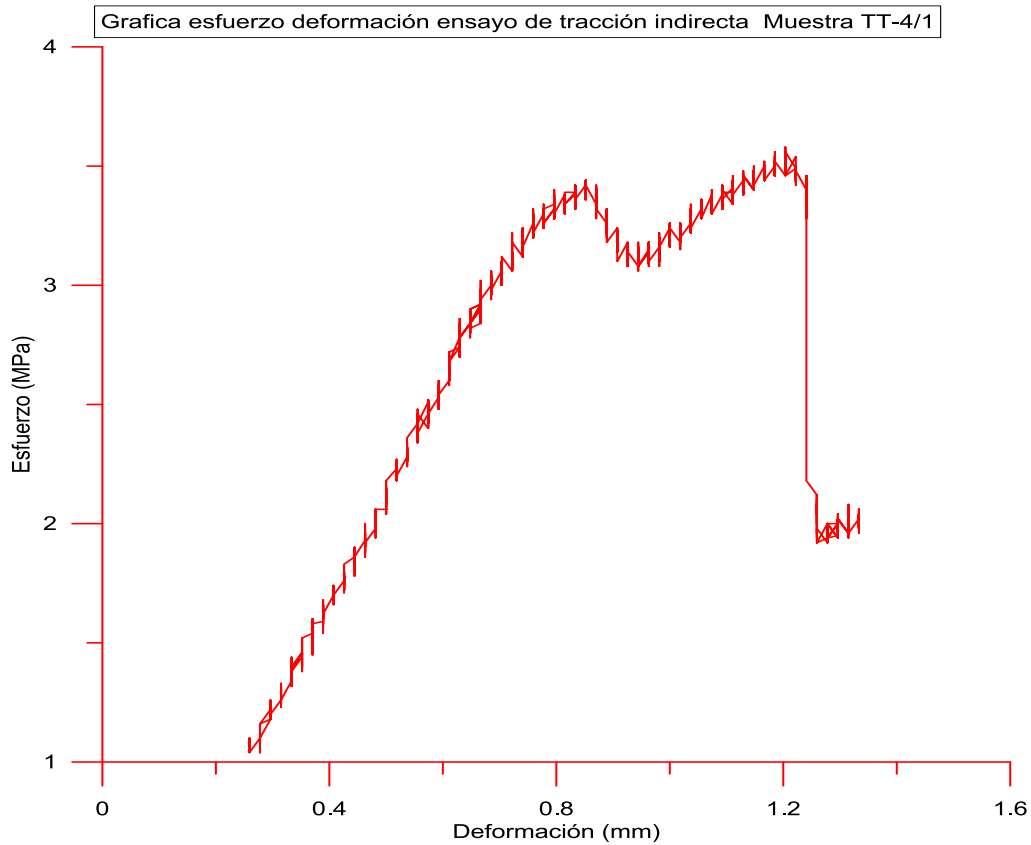
Gráfica N° 39



Muestra TT-4



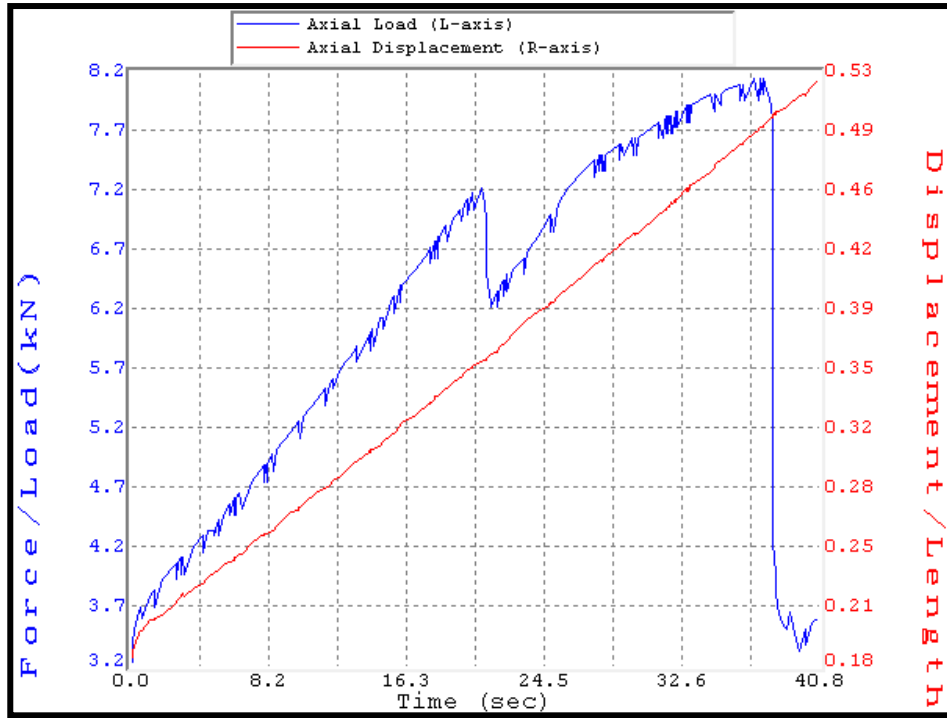
Gráfica N° 40



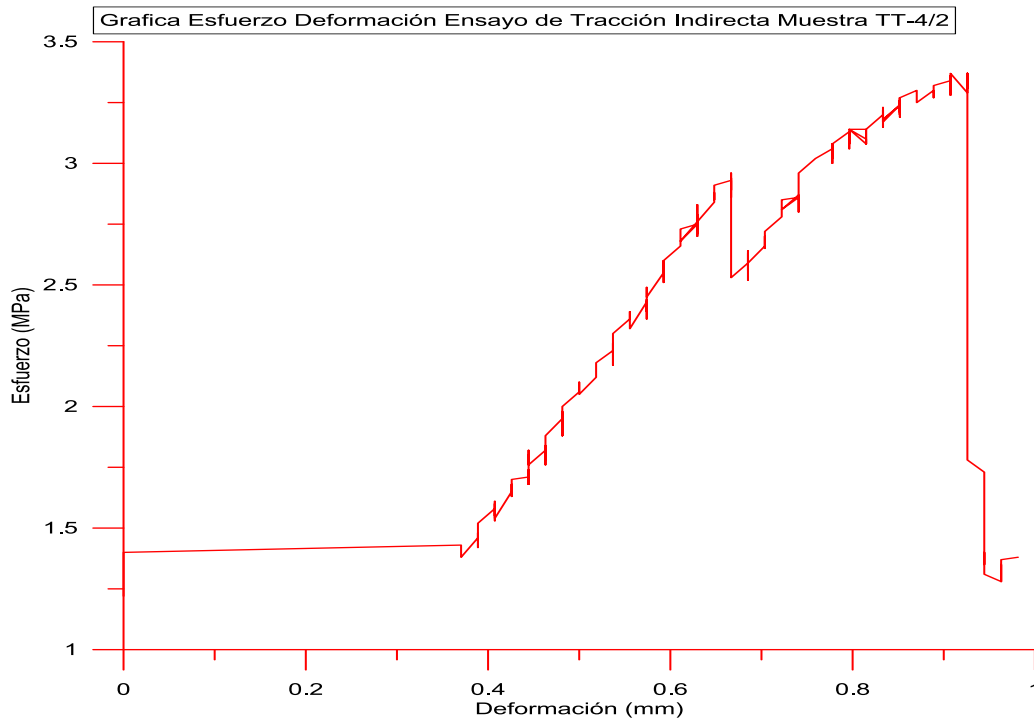
Gráfica N° 41



Muestra TT-4/2



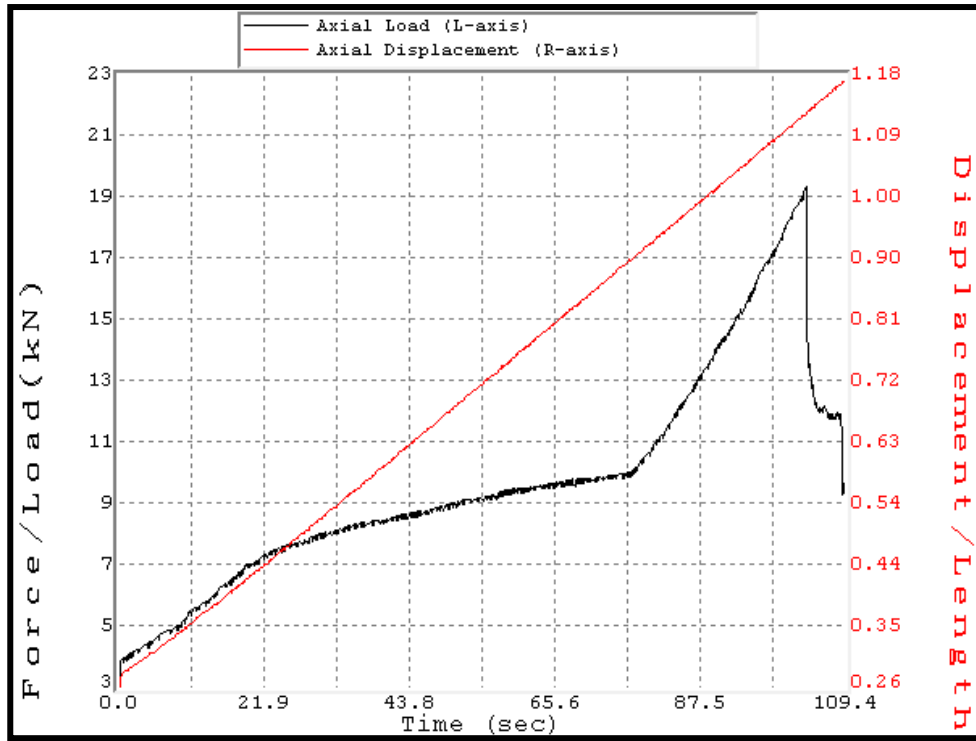
Gráfica N° 42



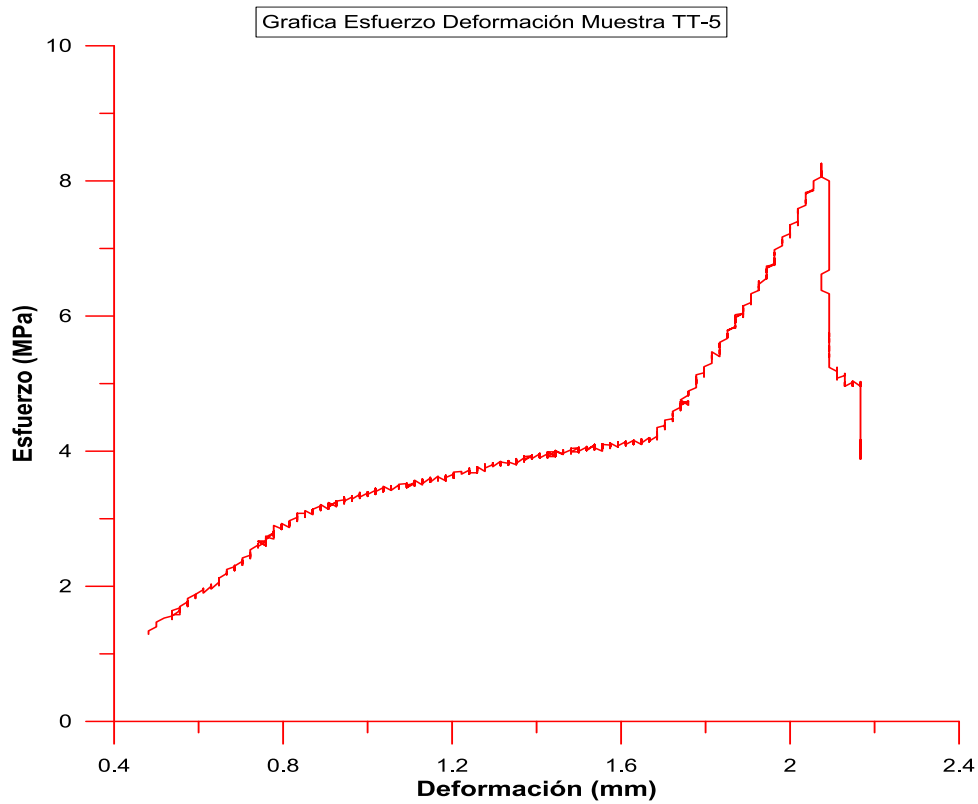
Gráfica N° 43



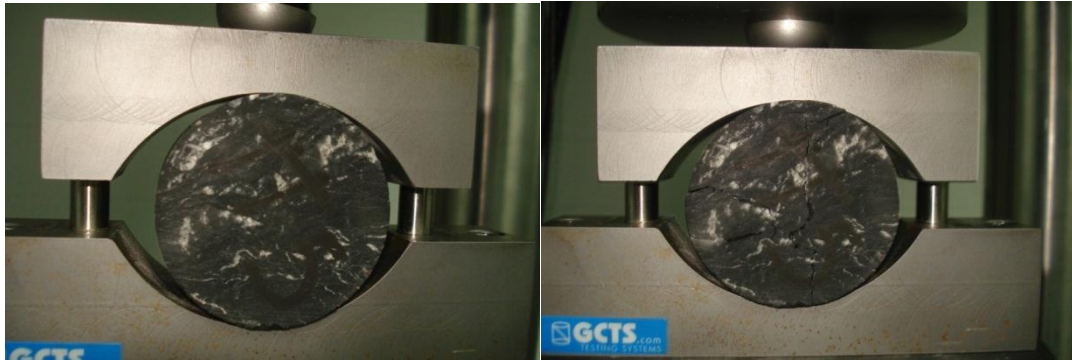
Muestra TT-5



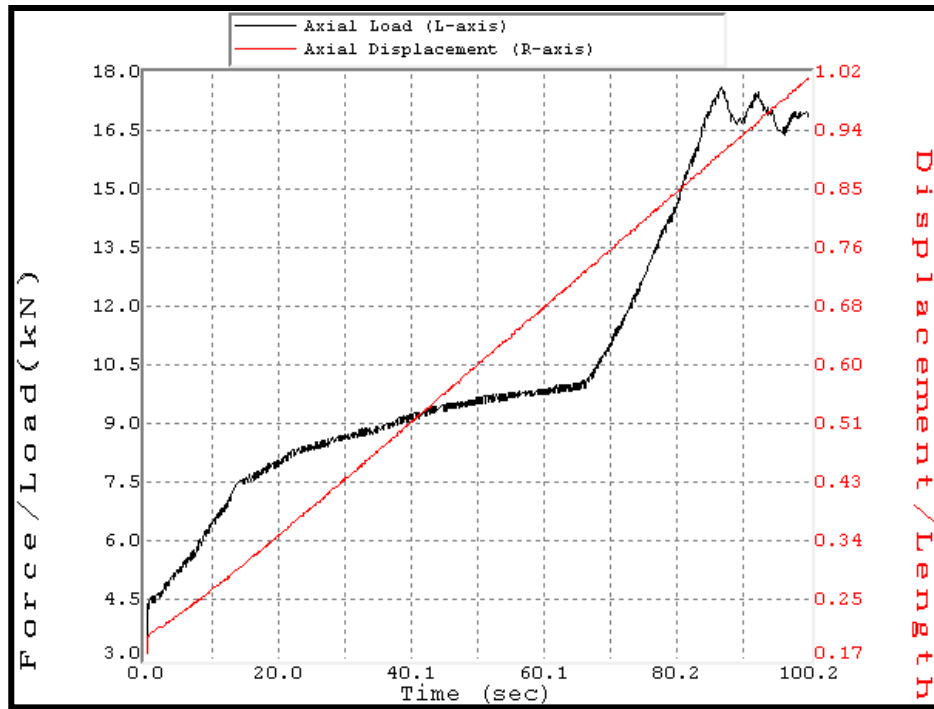
Gráfica N° 44



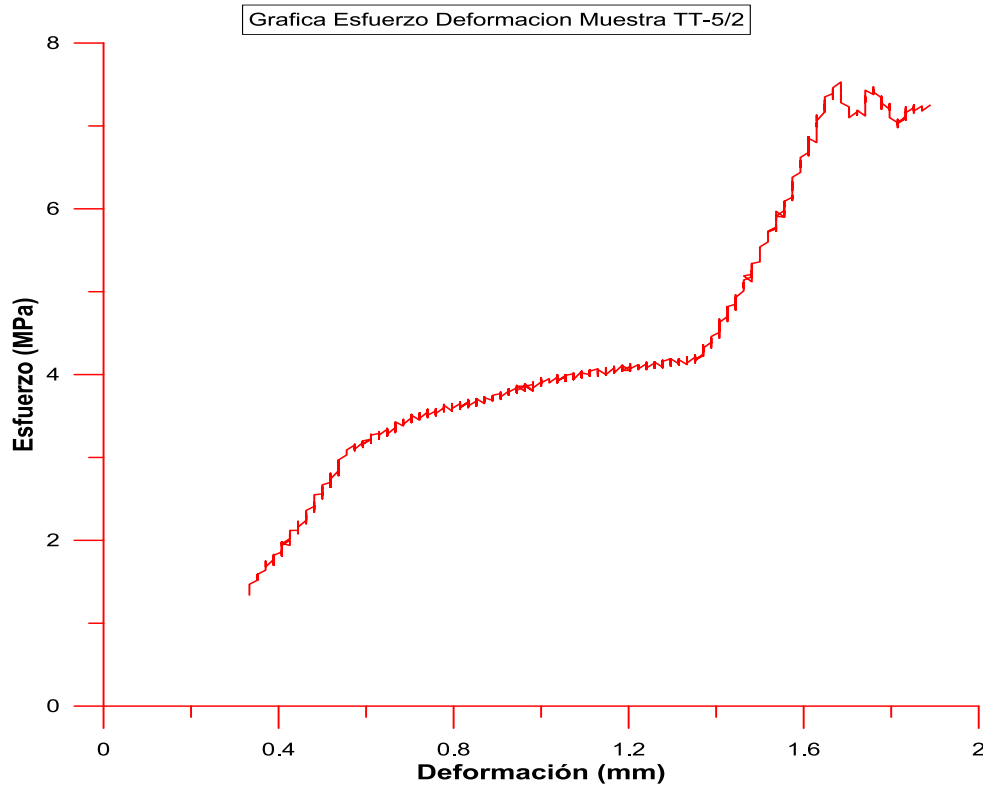
Gráfica N° 45



Muestra TT5-2



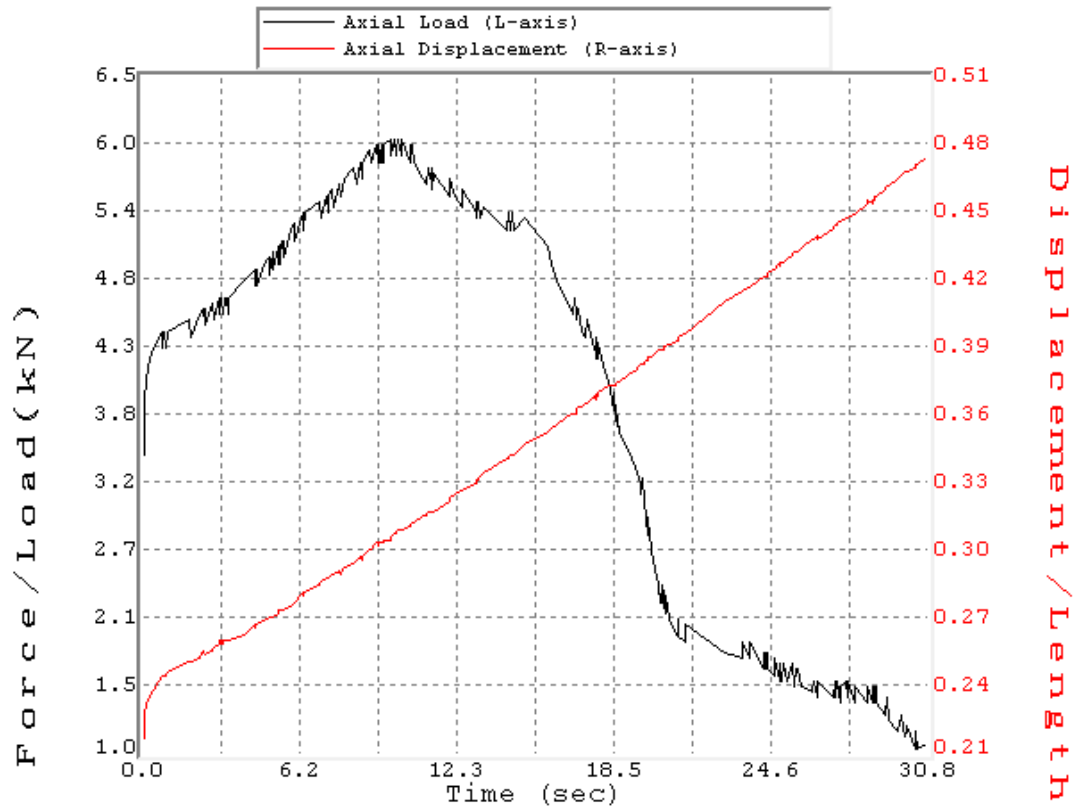
Gráfica N° 46



Gráfica N° 47



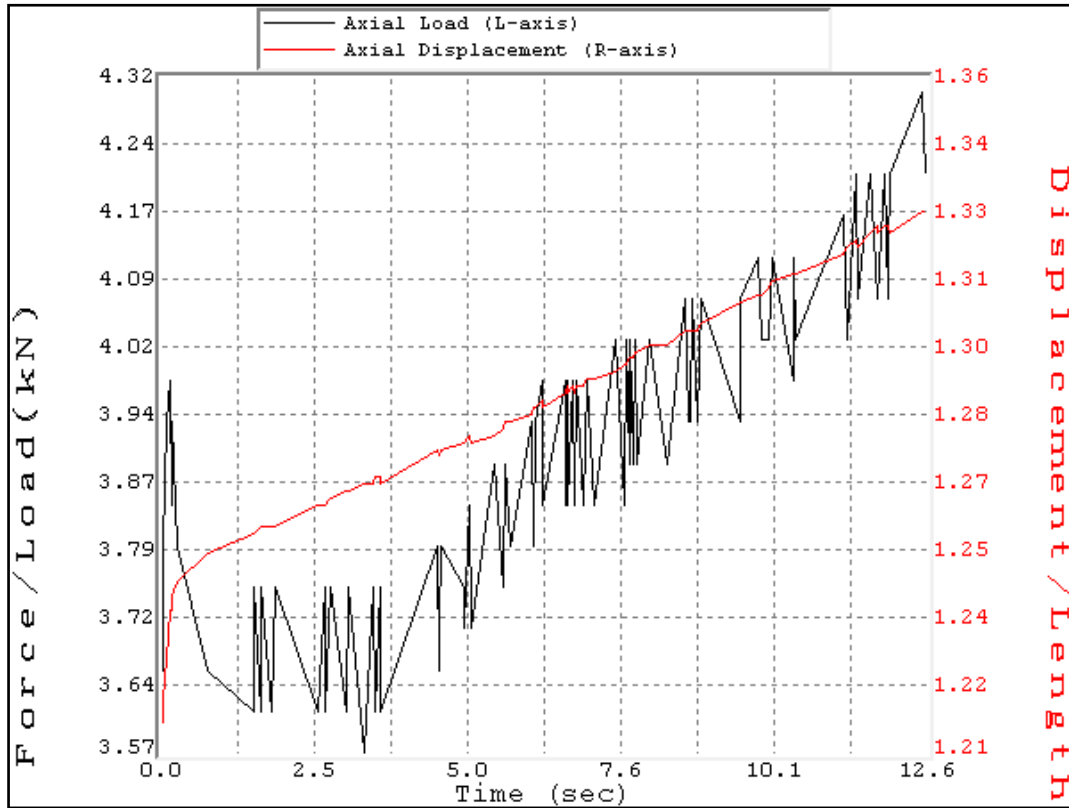
Muestra VT-42



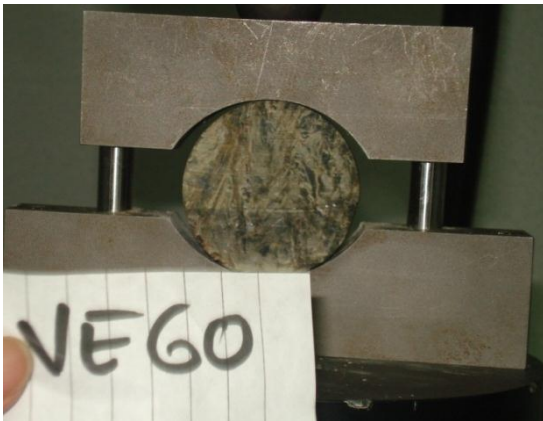
Gráfica N° 48



Muestra VE-60

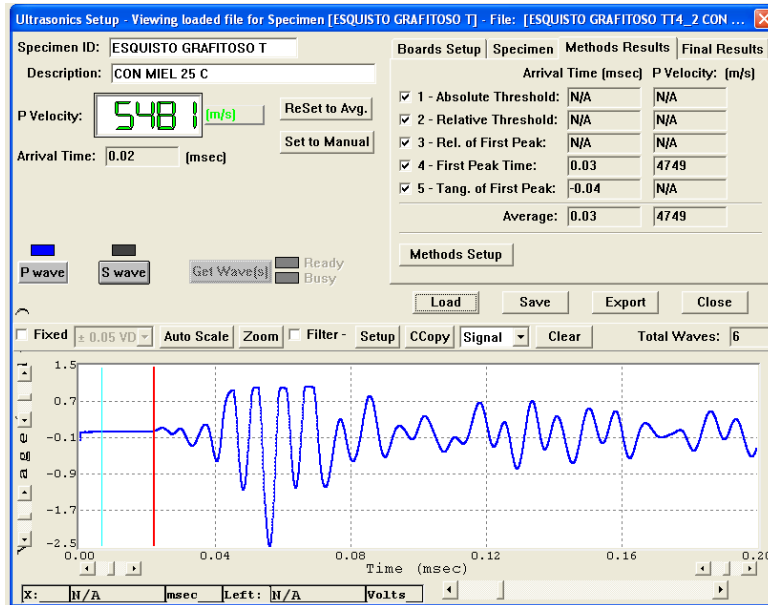


Gráfica N° 49

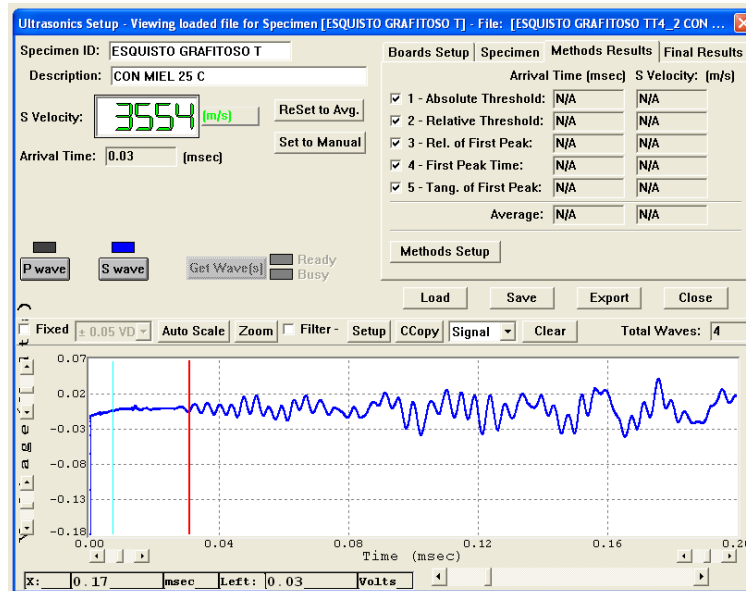


Ultrasonido

Muestra TT-4

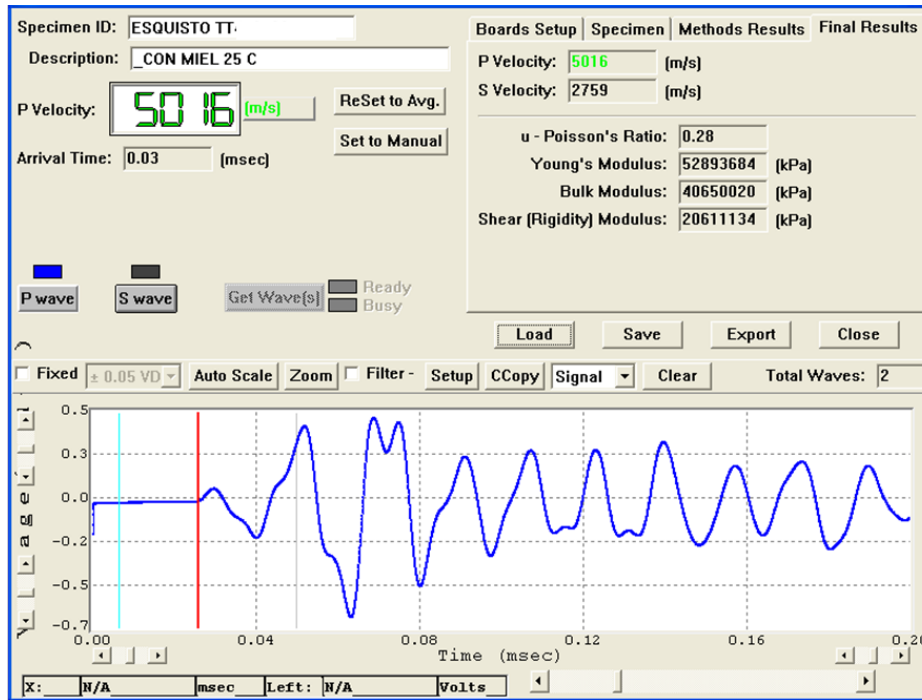


Gráfica N°50

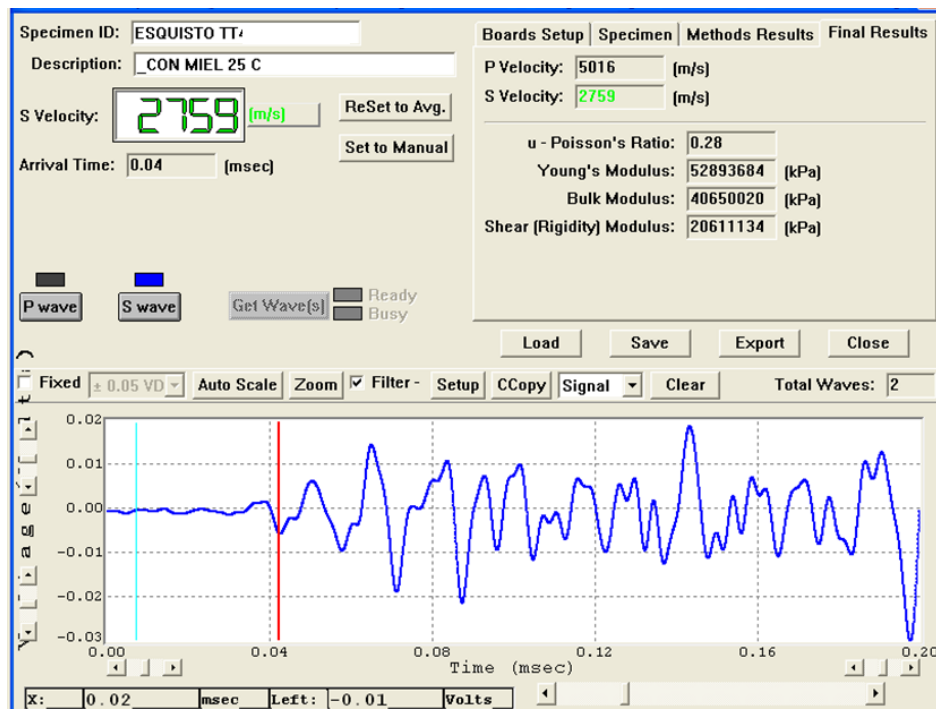


Gráfica N°51

Muestra TT-6

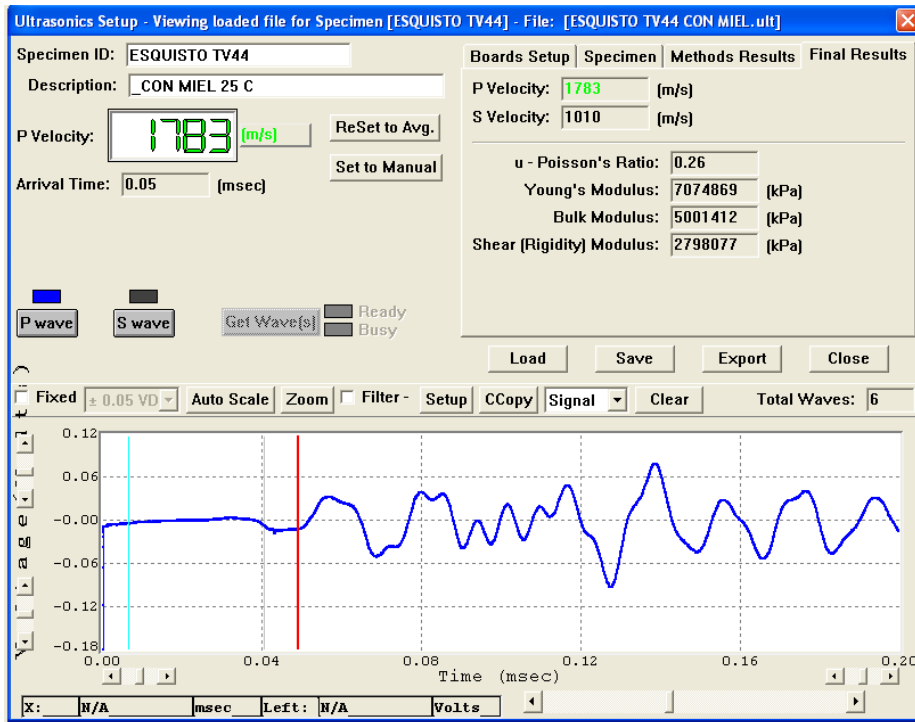


Gráfica N°52

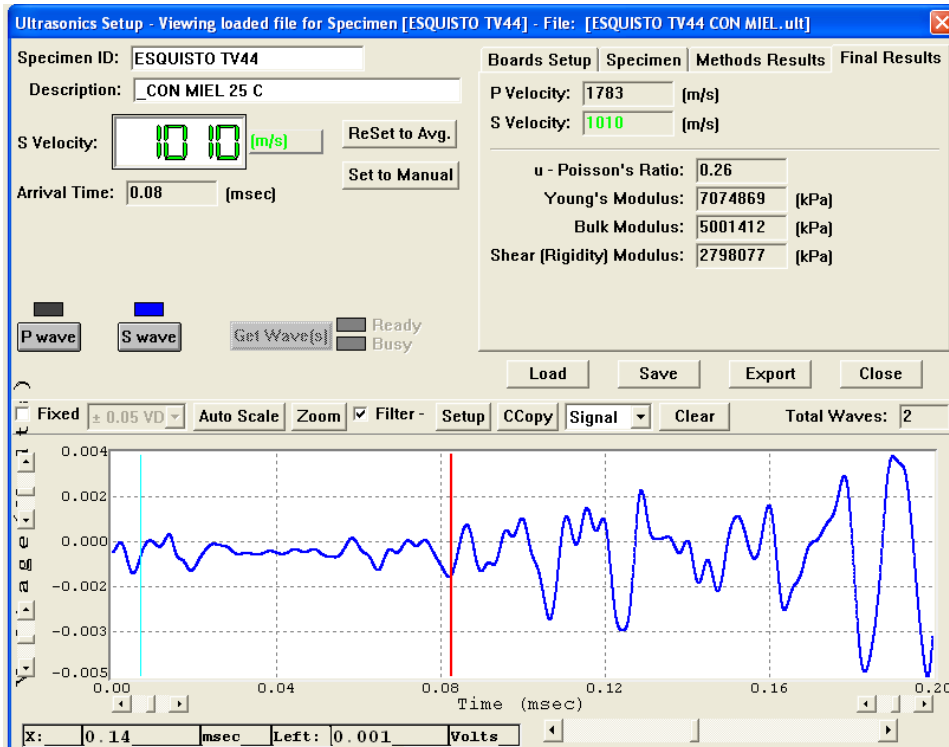


Gráfica N° 53

Muestra VT 44

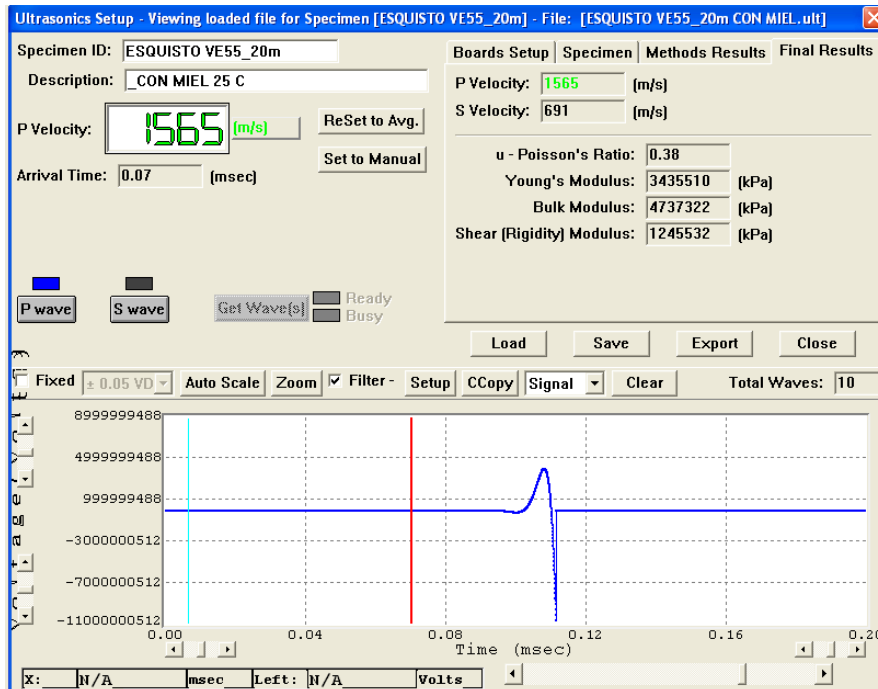


Grafica N° 54

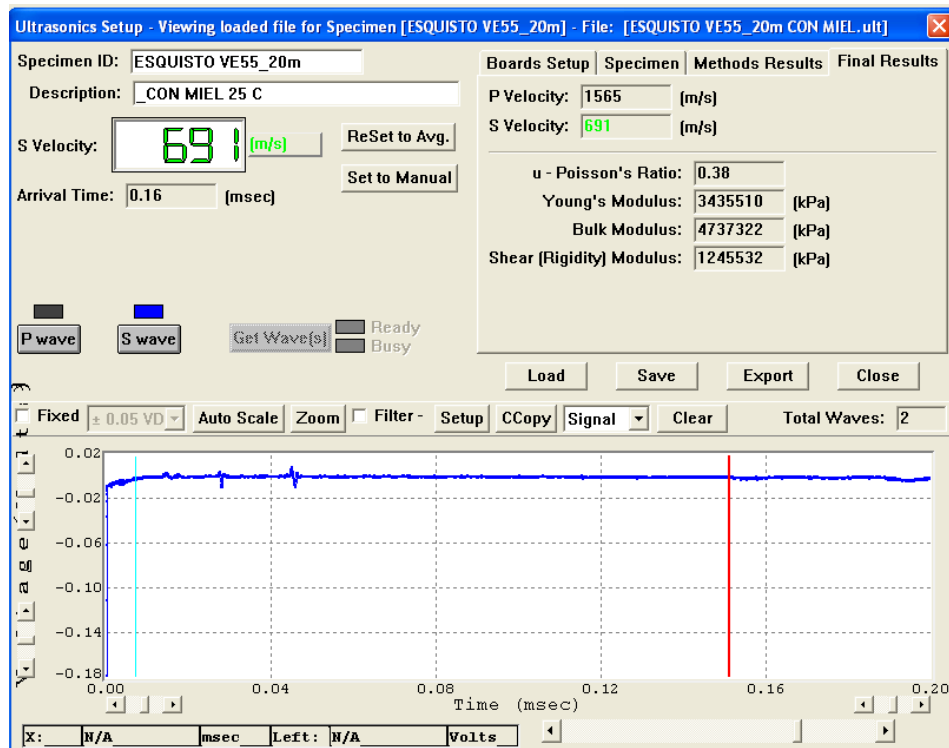


Grafica N°55

Muestra VE-55

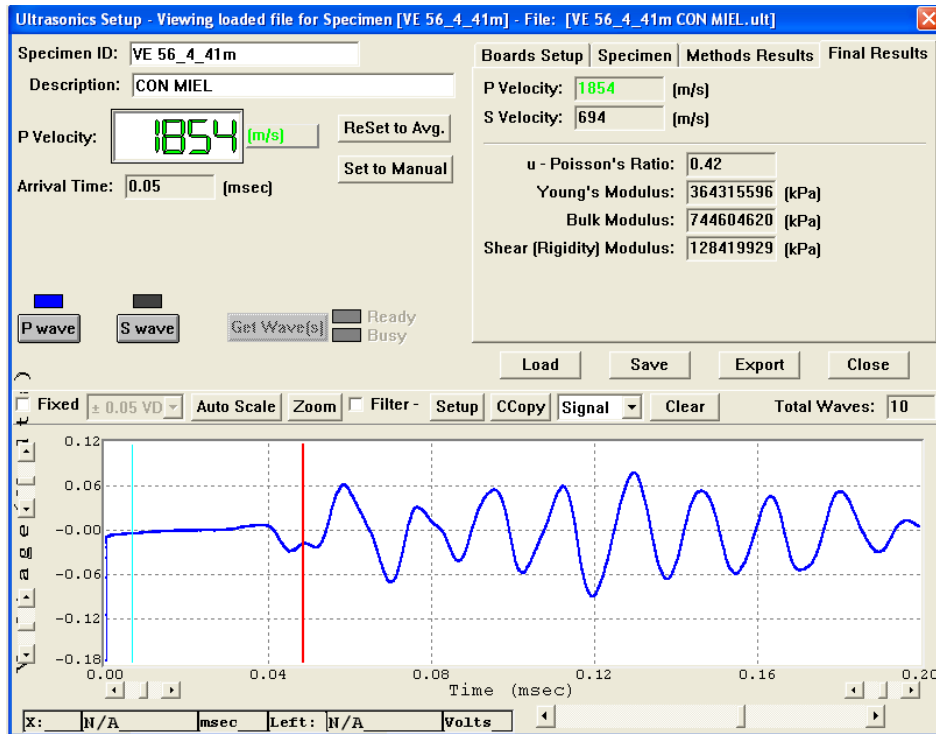


Grafica N° 56

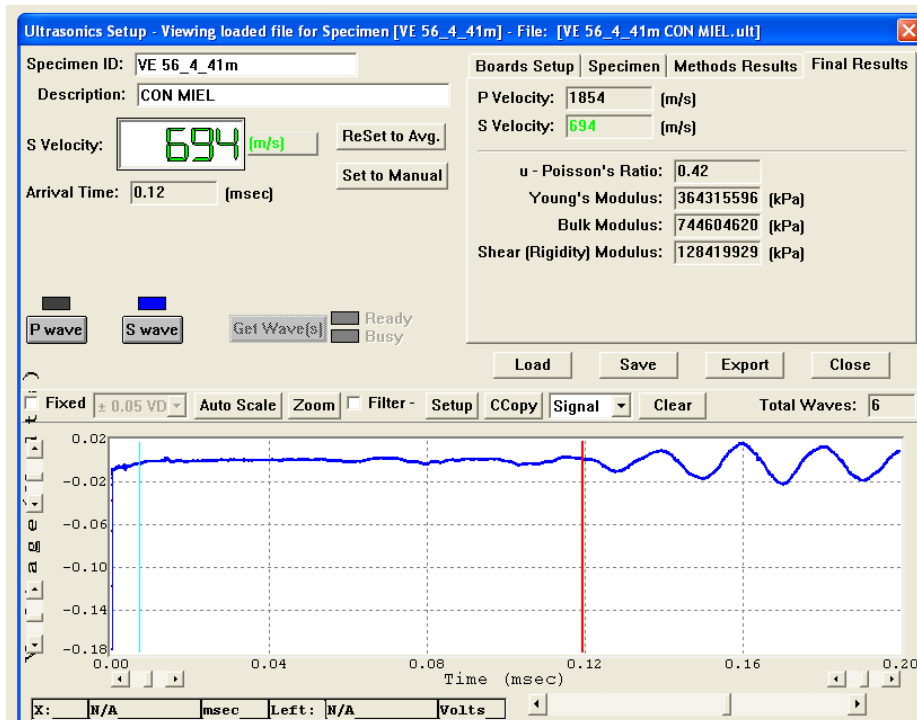


Grafica N° 57

Muestra VE-56

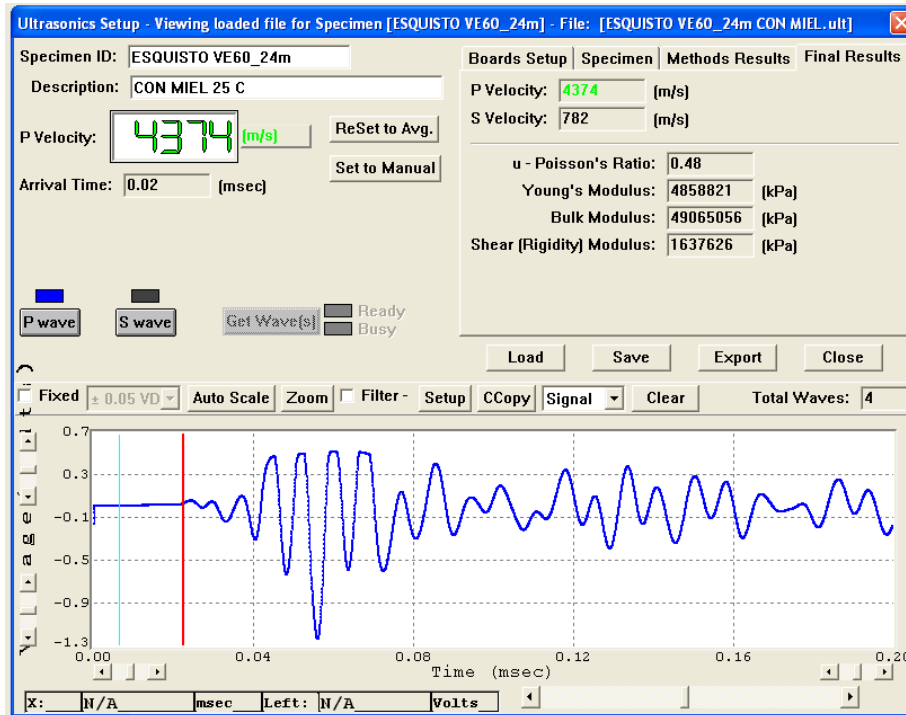


Grafica N° 58

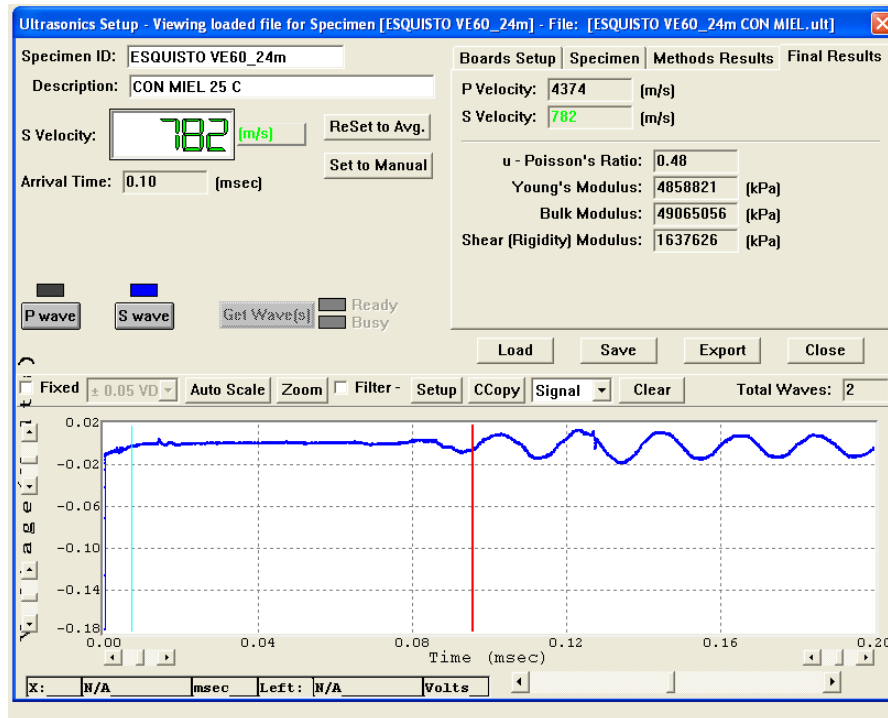


Grafica N° 59

Muestra VE-60



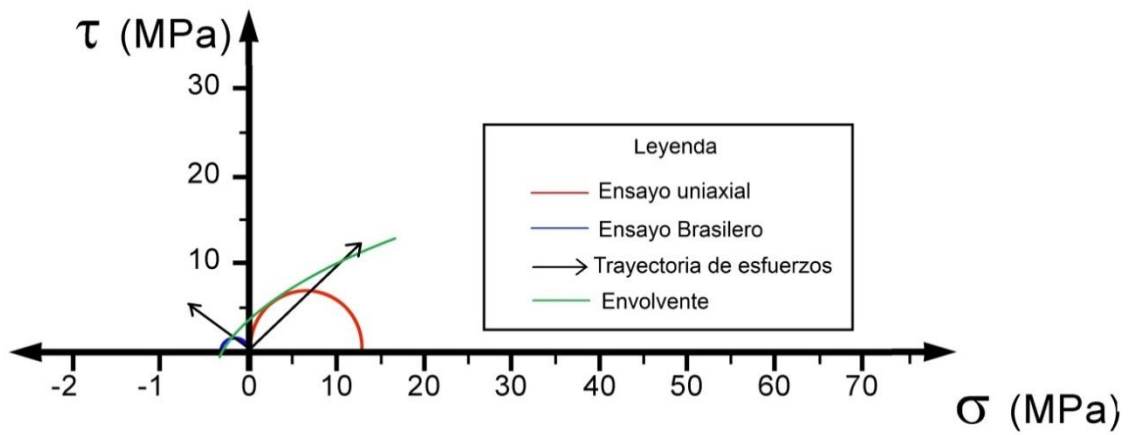
Grafica N° 60



Grafica N° 61

8.2. FORMACION LAS MERCEDES

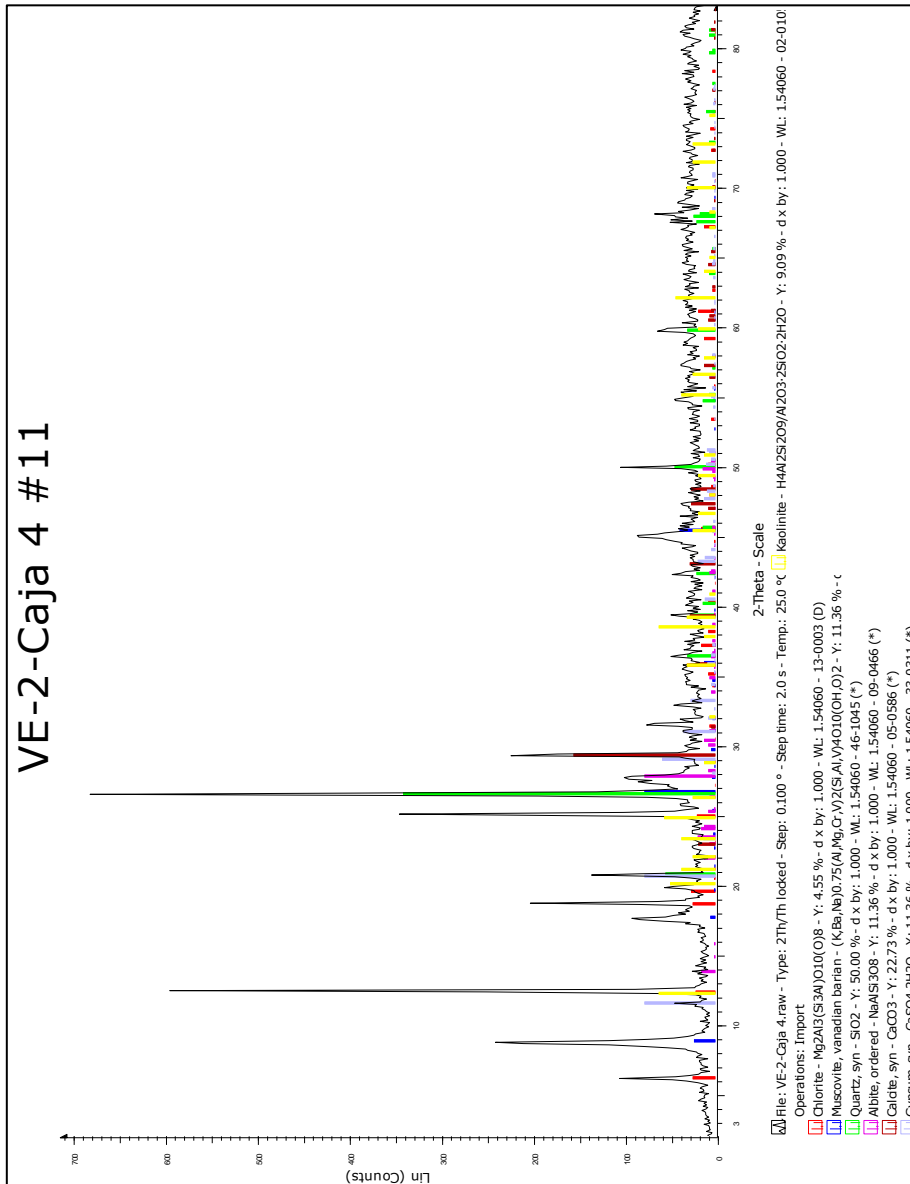
Perforación	Nombre	Profundidad	Compresión sin confinar	Brasilero	
VE-2	Mármol	45m	17,8	0,67	1,20
VE-3	Mármol	31 m	13,5		



Grafica N° 62. Estado de esfuerzo deformación de la totalidad de muestras ensayadas en compresión simple y tracción indirecta

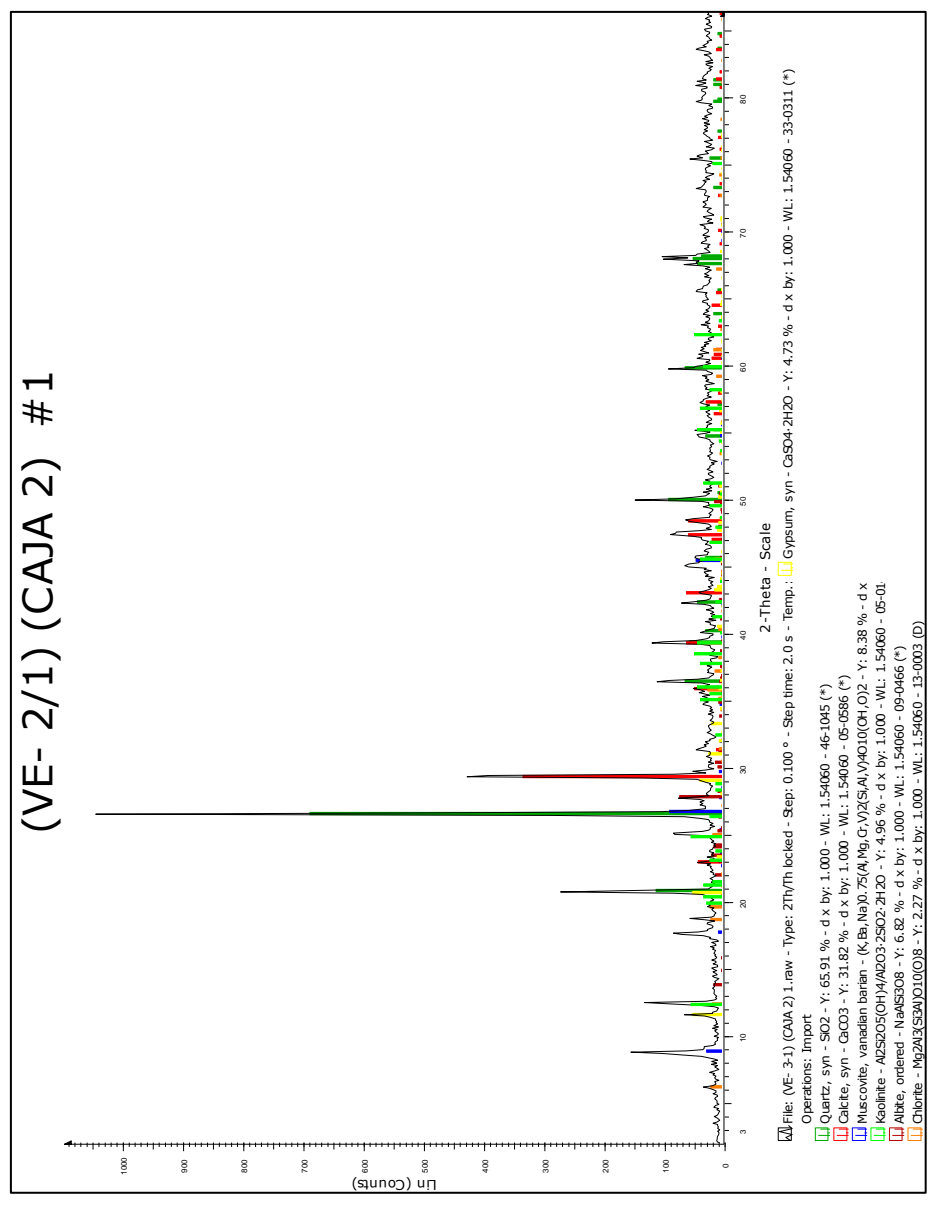
Difraccion De Rayos X

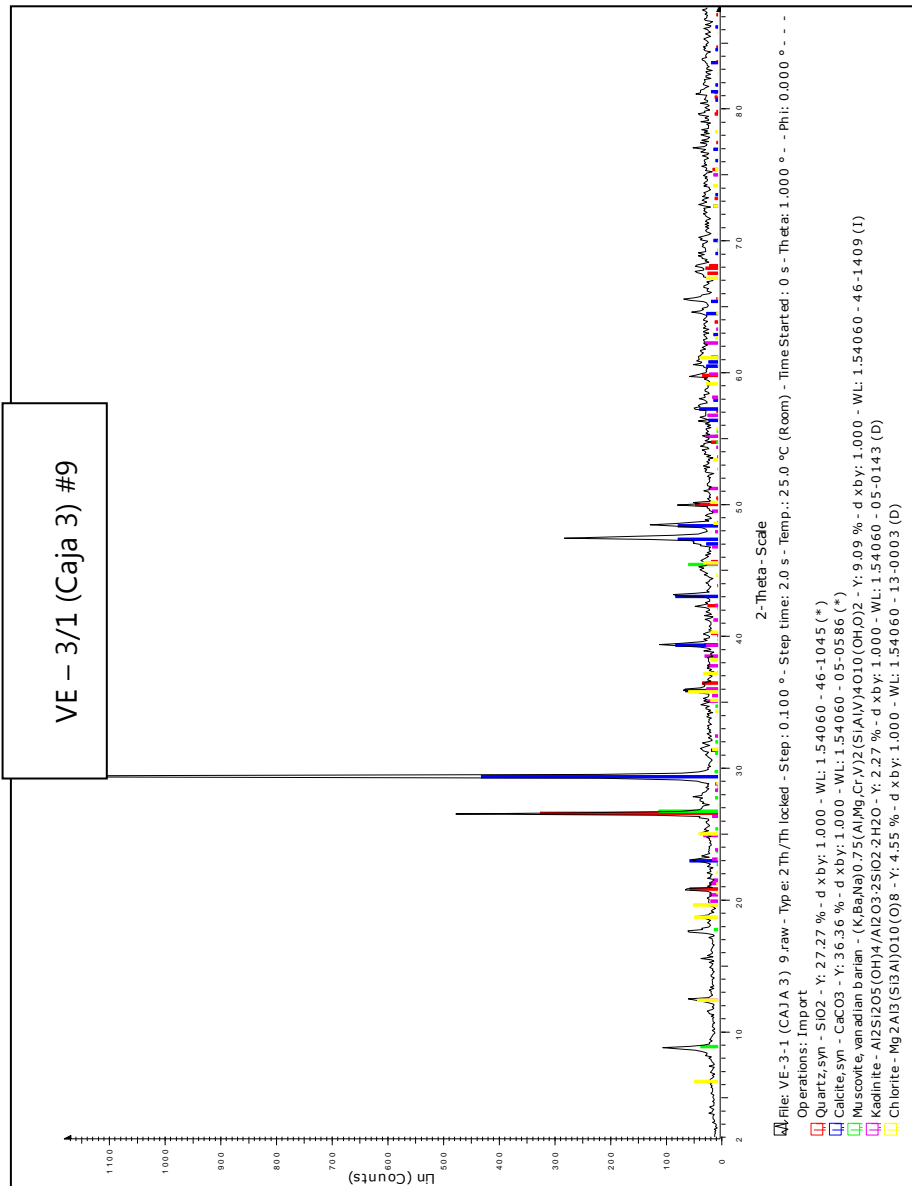
Muestra VE-2



Grafica N° 63

Grafica N° 64

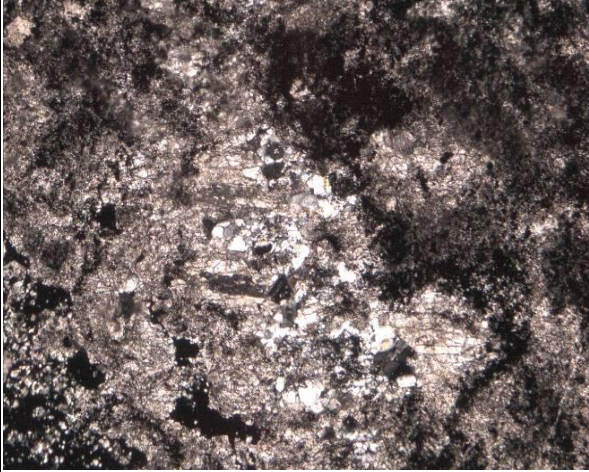
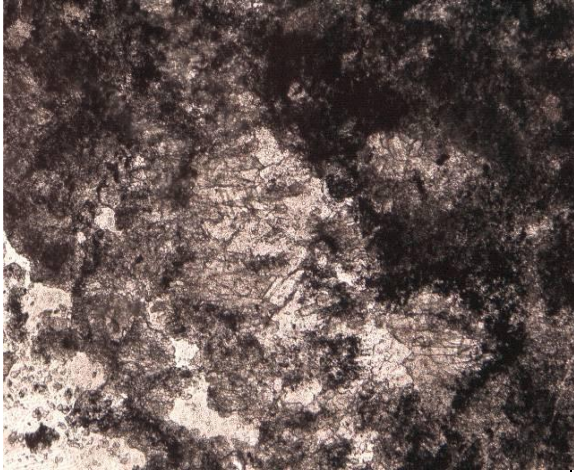




Grafica N° 65

Petrografías

Muestra VE-2

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA VE-2 PETROGRAFIA # 11			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Mármol			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA: Textura: Granoblástica. Contenido Mineralógico: 30%, Calcita 35% Cuarzo, 5% Moscovita, 10% Sericita, 10% Hematita y el resto en mineral accesorio, Clorita, Circón. Origen: Metamorfismo de grado bajo.			
Coordenadas: E448749,26 N1128877,34	Progresiva: 5+105	Cota: 517m	Recuperación: 30cm
Formación: Las Mercedes			

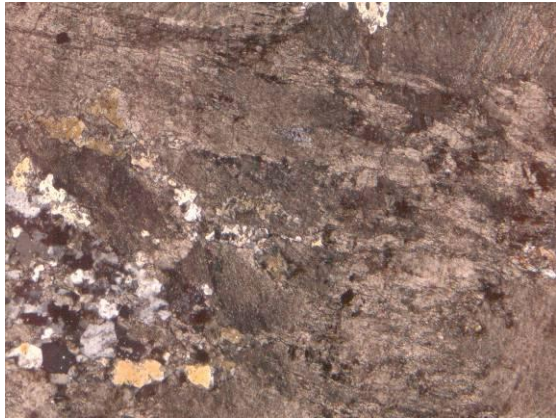
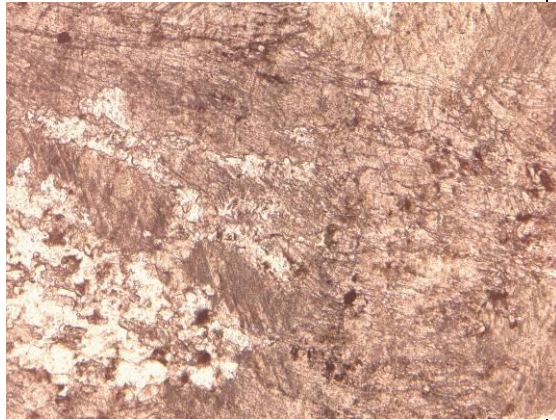
Grafica N° 66

Muestra VE-2/1

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA VE-2/1 PETROGRAFIA # 1			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Mármol			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
<p>Textura: granolepidonematoblástica. Se observa un bandeamiento con alternancia de filones más gruesos y más finos de calcita, cuarzo, plagioclasas y moscovita</p> <p>Contenido mineralógico: 45% Calcita 40% Cuarzo, 5% moscovita, 5% entre biotita y esfena. Se observa un maclado laminar de la calcita.</p> <p>Origen: Metamorfismo de grado bajo.</p>			
Coordenadas UT: E448749,26 N1128877,34	Progresivas: 5+105	Cota: 517	Recuperación: 30cm
Formación: Las Mercedes			

Grafica N° 67

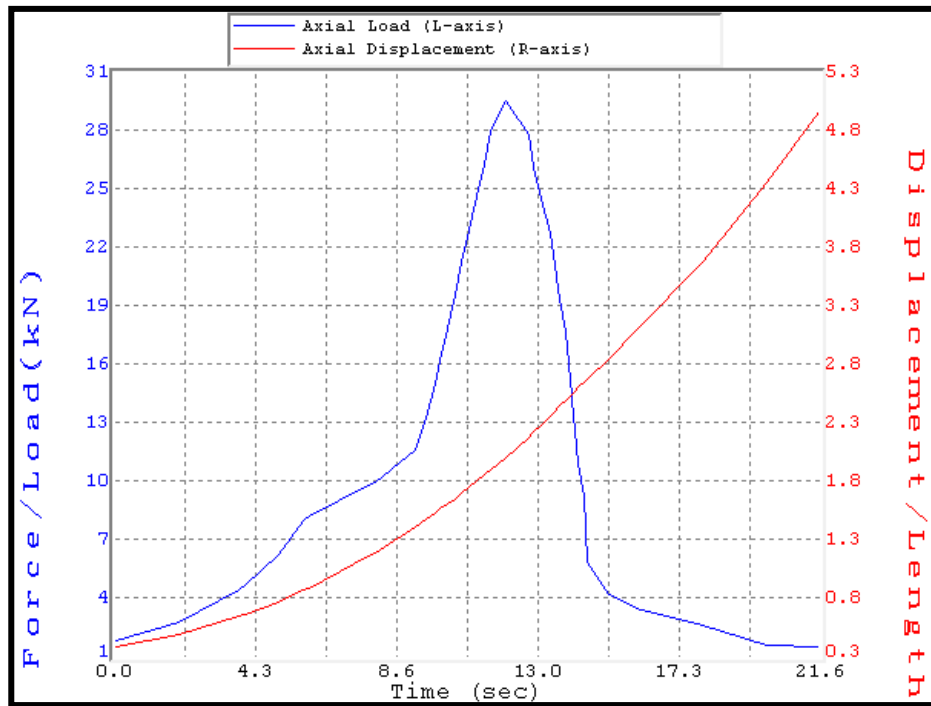
Muestra VE-3

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA VE-3 PETROGRAFIA # 9			
			
Nicoles cruzados 4X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Mármol			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
Textura: Nematoblástica			
Contenido Mineralógico: 35% Cuarzo, 55% Calcita, 10% Moscovita, 5% Biotita, Circón, Hematita.			
Origen: Metamorfismo de grado bajo.			
Coordenadas UT: E448854,60 N1128811,57	Progresivas: 5+211	Cota: 509,5	Recuperación: 35cm
Formación: Las Mercedes			

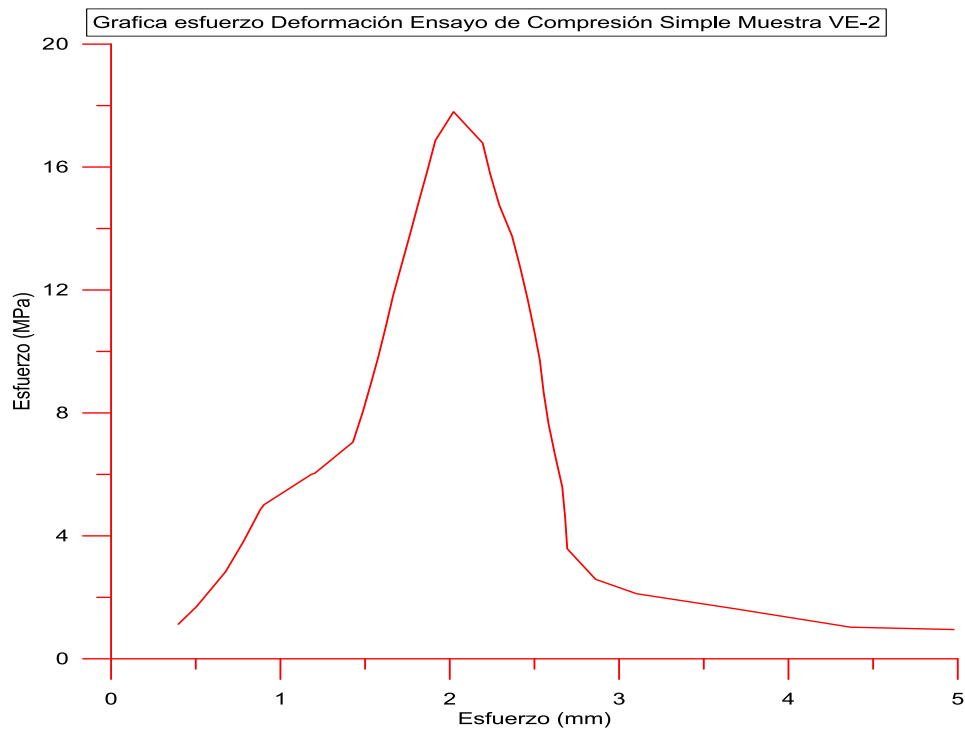
Grafica N° 68

Ensayo de Compresión Simple

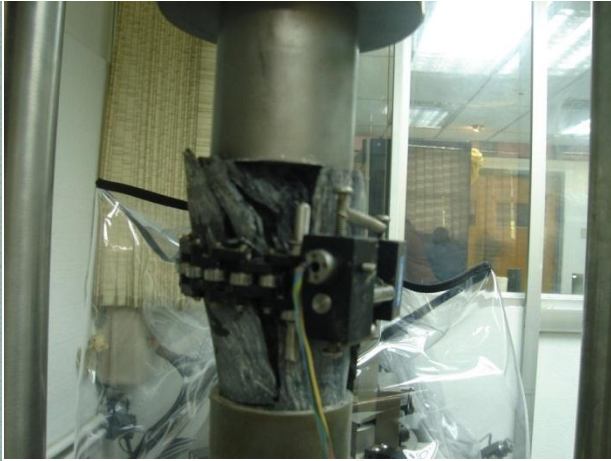
Muestra VE-2



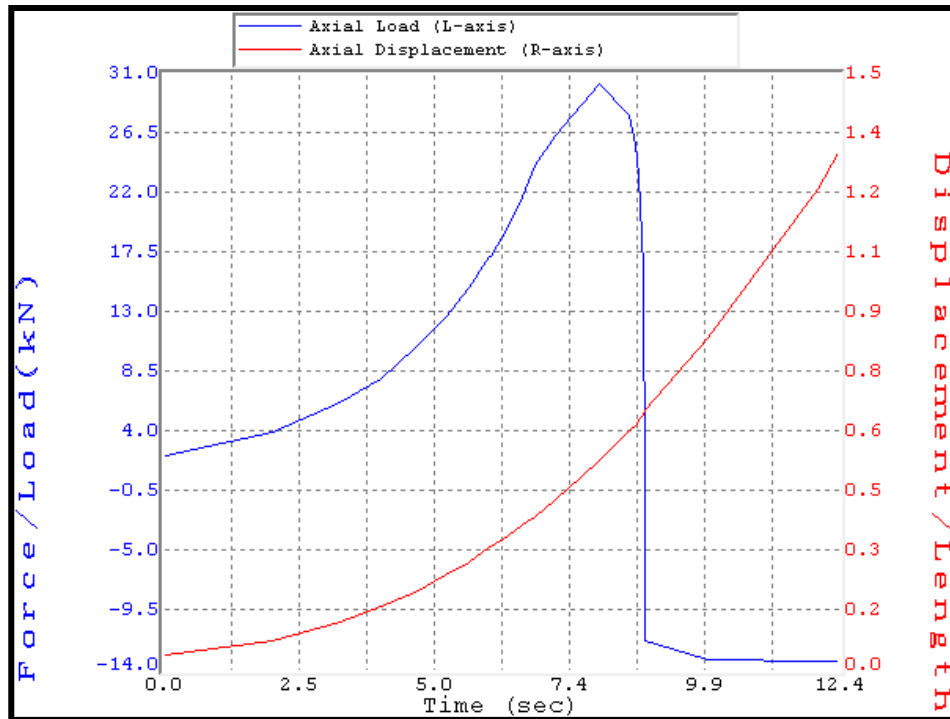
Grafica N° 69



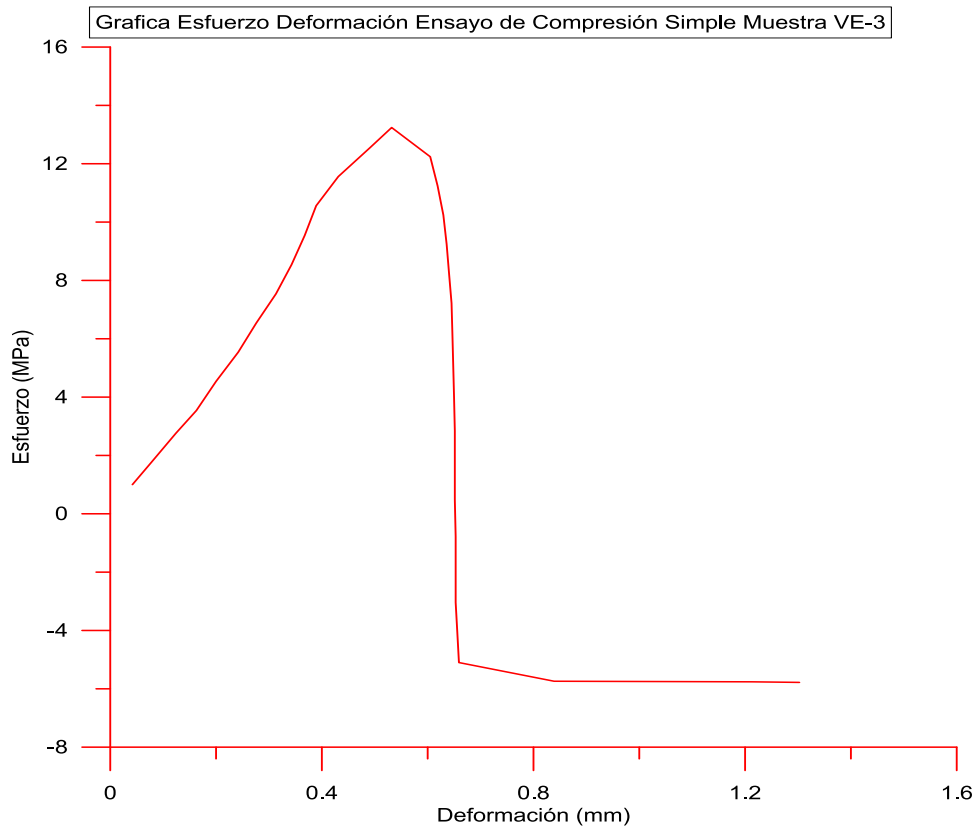
Grafica N° 70



Muestra VE-3



Grafica N° 71

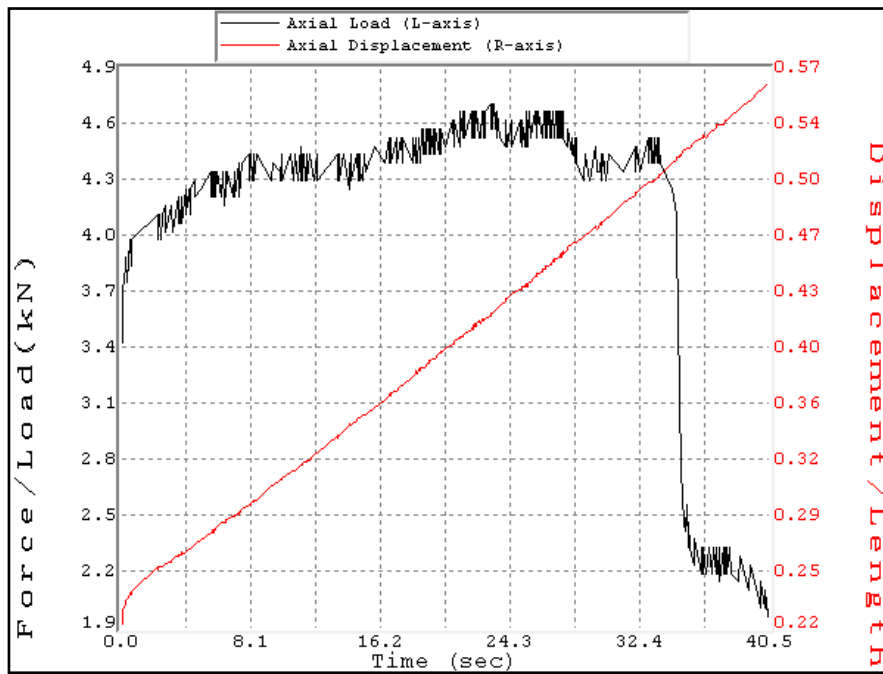


Grafica N° 72

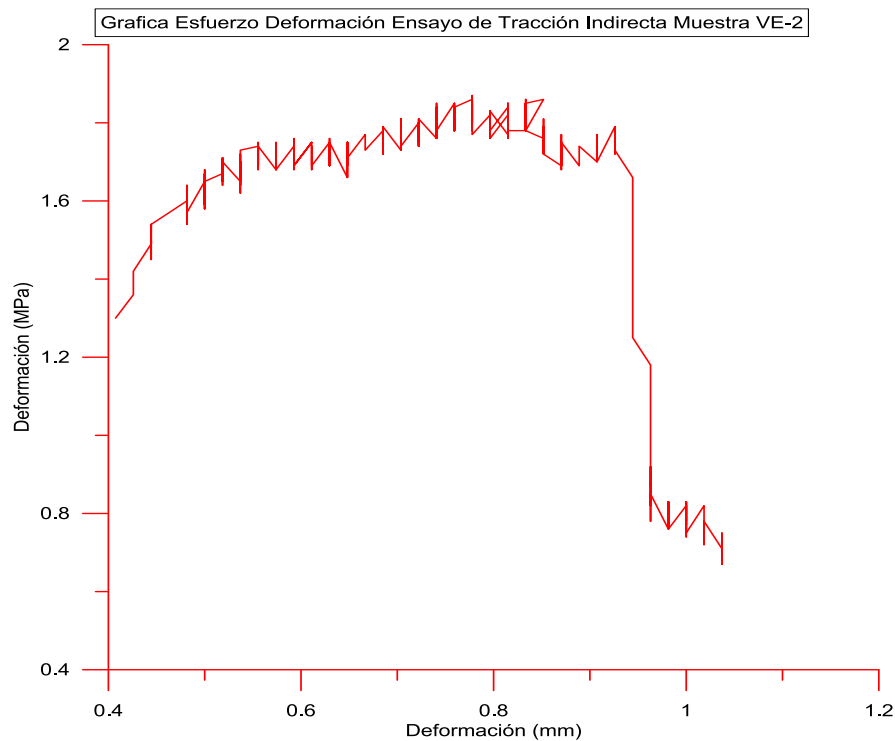


Ensayo de tracción Indirecta (Brasilero)

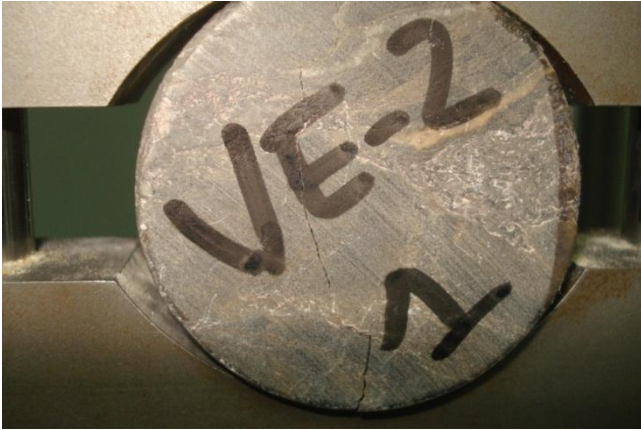
Muestra VE-2



Grafica N° 73



Grafica N° 74

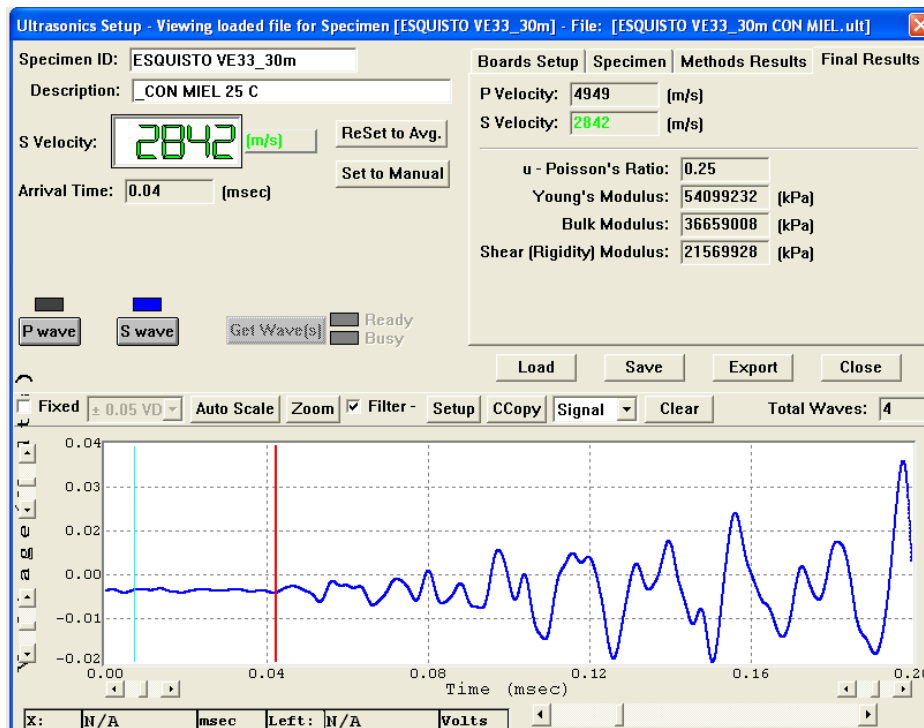


Ensayo de Ultrasonido

Muestra VE-3

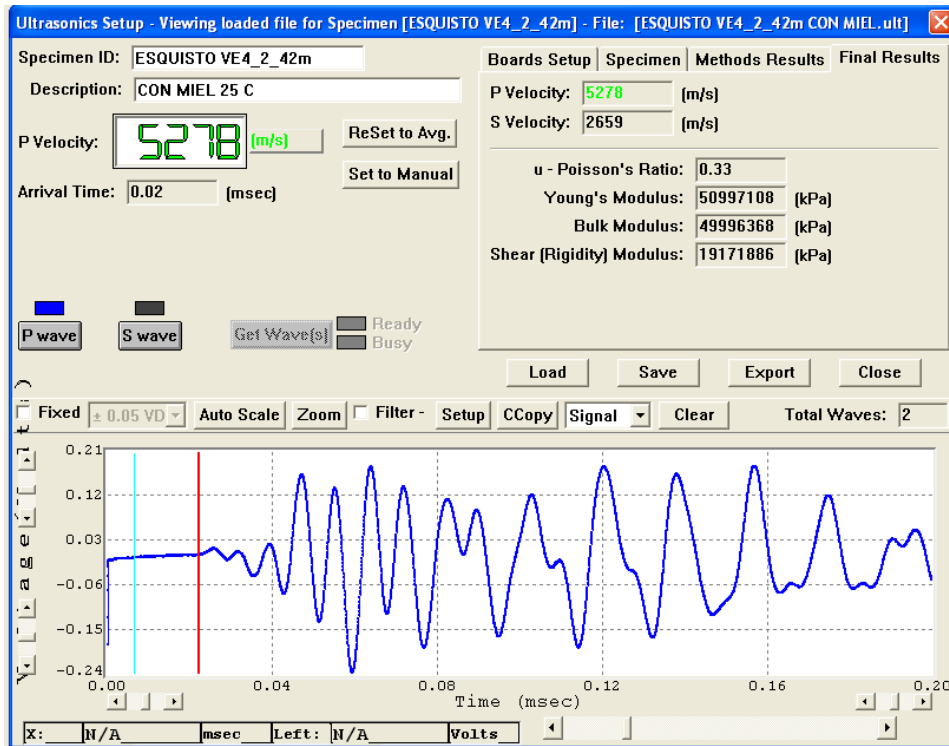


Grafica N° 75



Grafica N° 76

Muestra VE-2



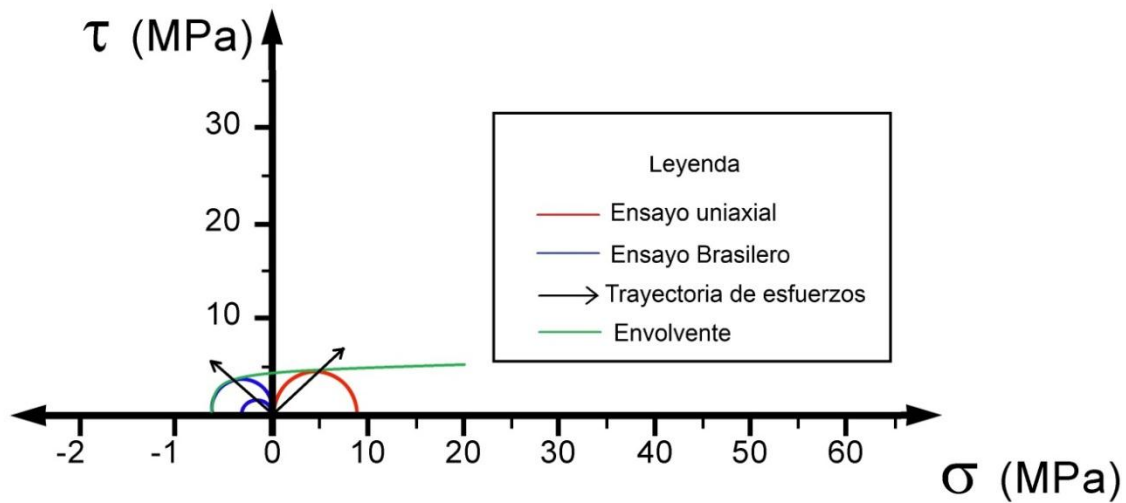
Grafica N° 77



Grafica N° 78

8.3. FORMACION TINAPÚ

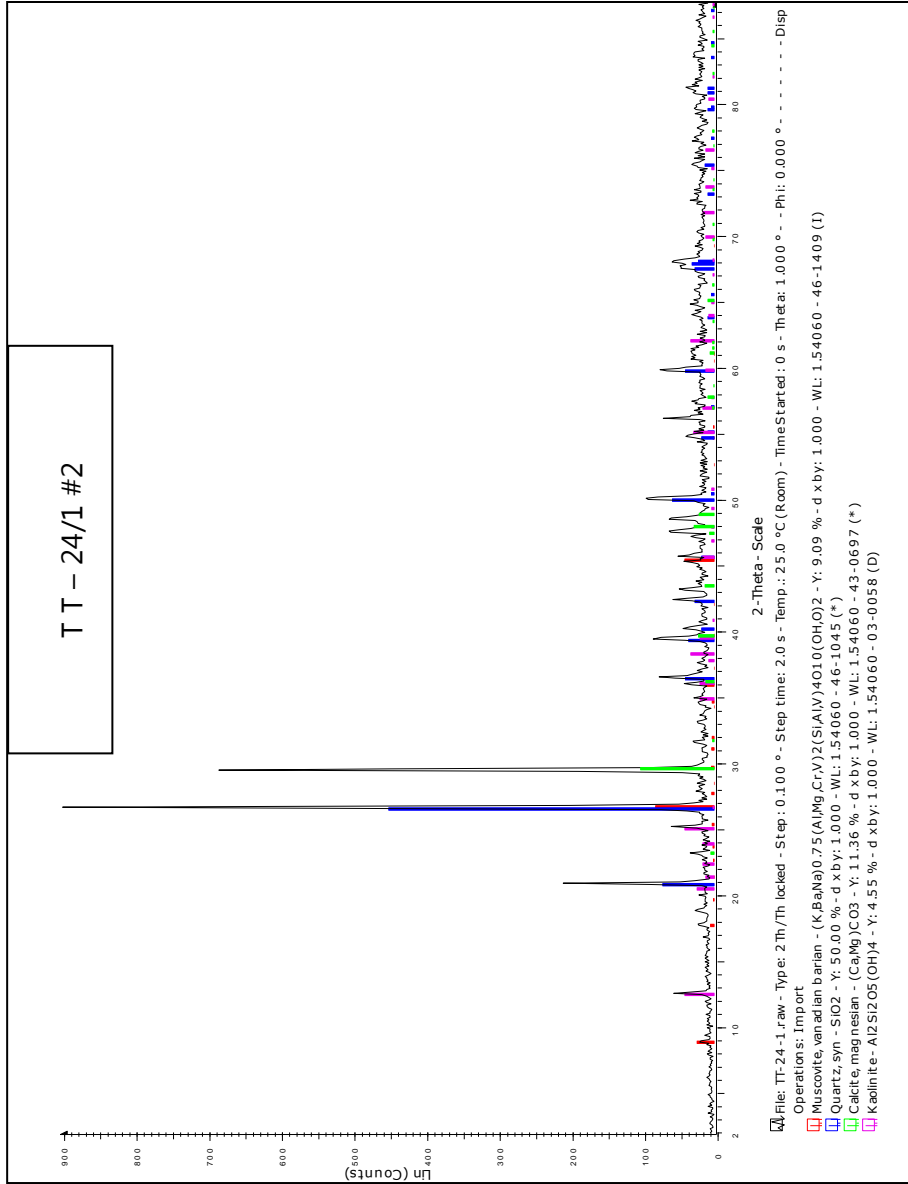
Perforación	Nombre	Profundidad	Compresión sin Confinar	Brasileiro
TT24	Esquisto Calcáreo cuarzoso	26m	9,9180	



Grafica N° 79. Estado de esfuerzo deformación de la totalidad de muestras ensayadas en compresión simple y tracción indirecta de la Formación Tinapú

Difracción de rayos X

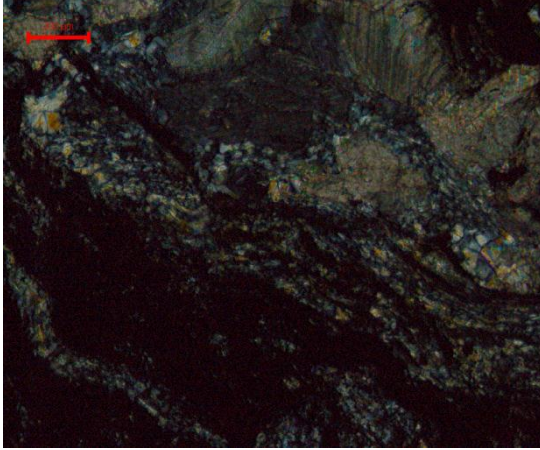
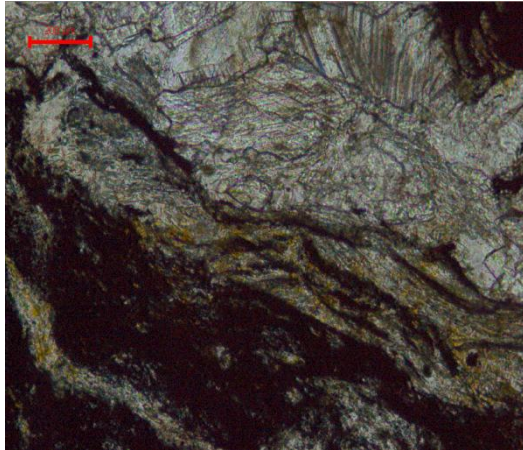
Muestra TT 24



Gráfica N° 80

Petrografías

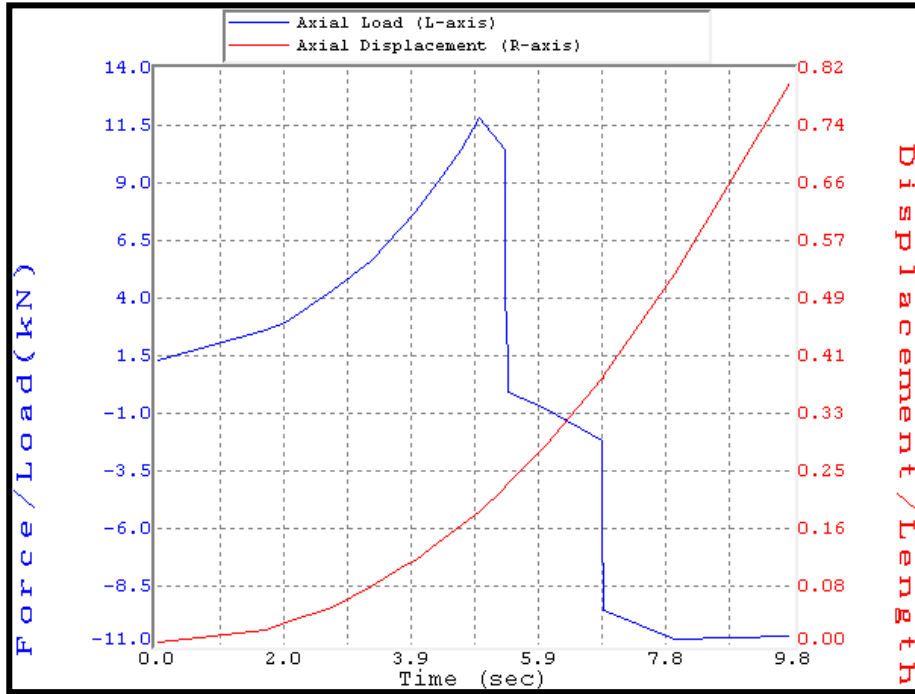
Muestra TT-24

CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA TT-24/1 PETROGRAFIA # 2			
			
Nicoles cruzados 10X		Nicoles paralelos	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Esquisto Calcáreo cuarzoso			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
<p>Textura: lepidonematoblástica. Se observa un bandeamiento de grafito con alternancia de cuarzo microcristalino y micas.</p> <p>Contenido mineralógico: 60% Calcita, 15% Cuarzo, 10% Grafito, 5% moscovita, 10% entre biotita y hematita.</p> <p>Origen: Metamorfismo de grado bajo.</p>			
Coordenadas			
UT: E489257.2 N1132183.4	Progresivas: 47+069	Cota: 417	Recuperación: 30cm
Formación: Tinapú			

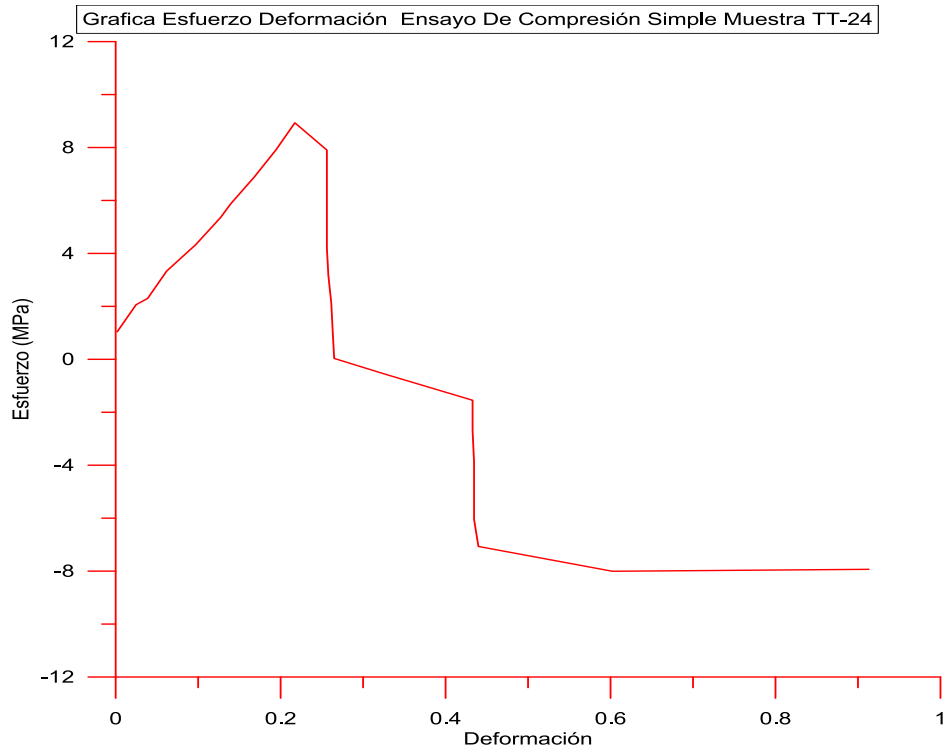
Gráfica N° 81

Compresion Simple

Muestra TT24



Gráfica N° 82

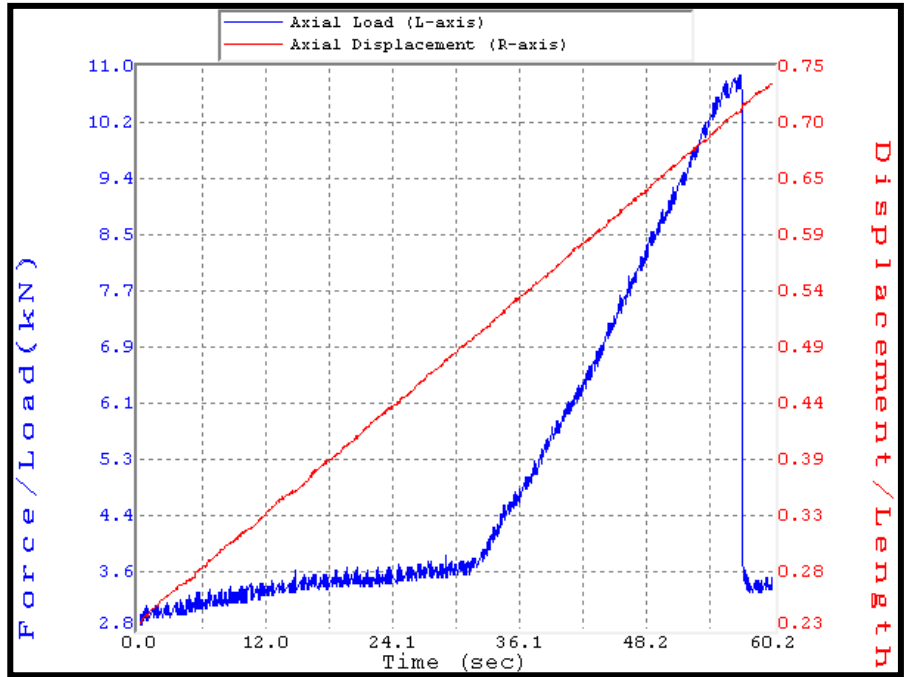


Gráfica N° 83

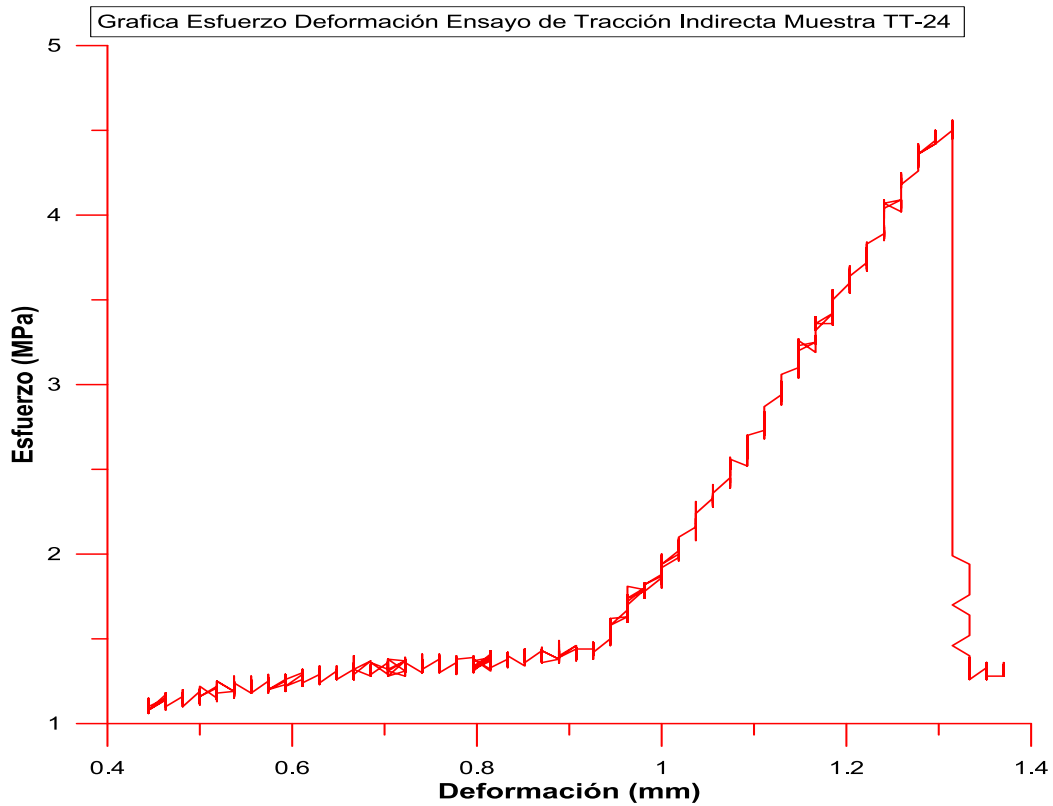


Ensayo de Traccion Indirecta (Brasilero)

Muestra TT-24



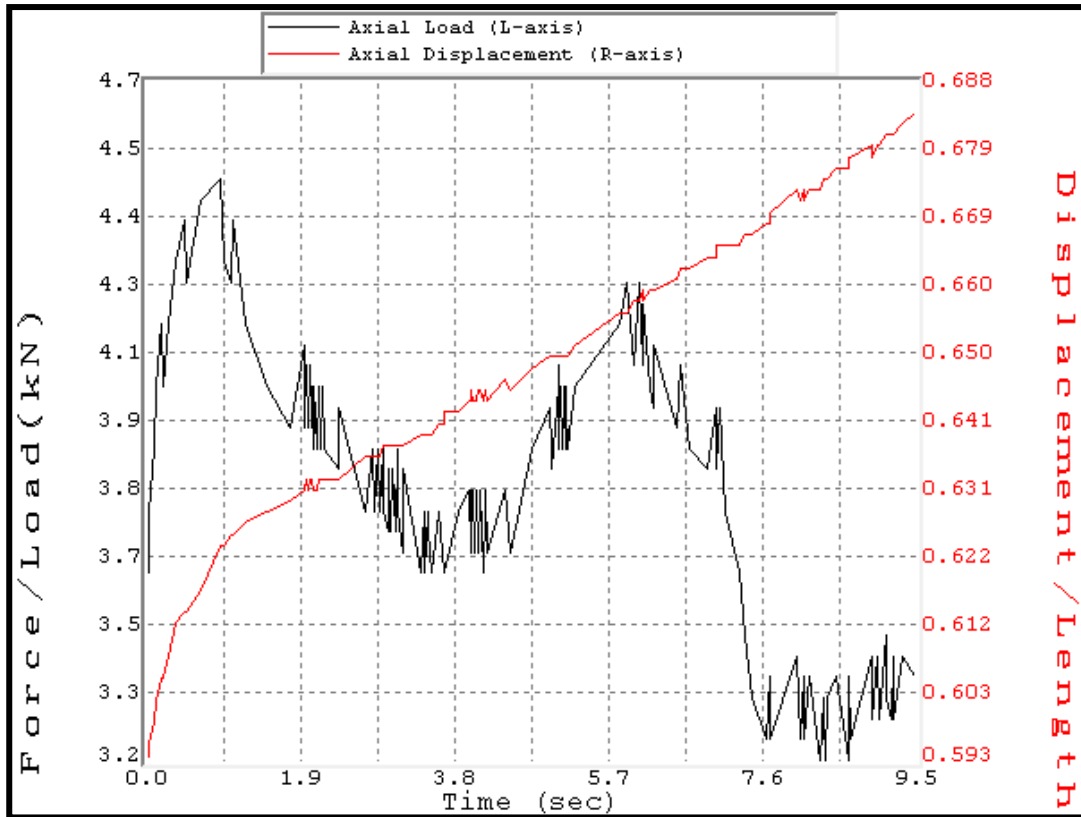
Gráfica N° 84



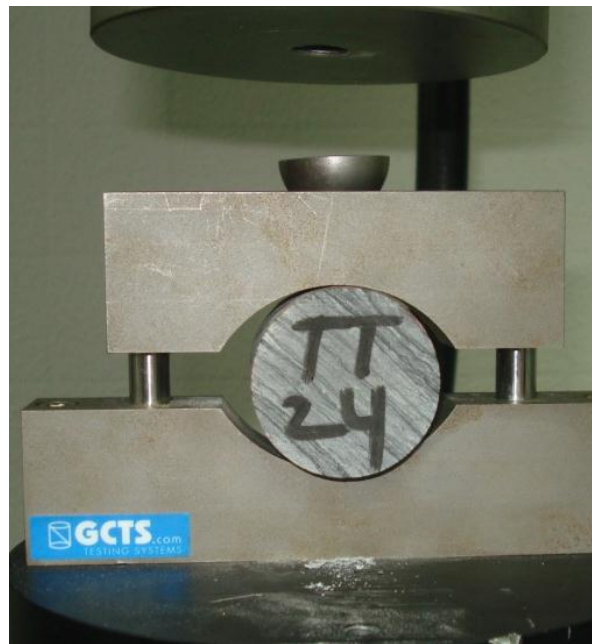
Gráfica N° 85



Muestra TT-24-2

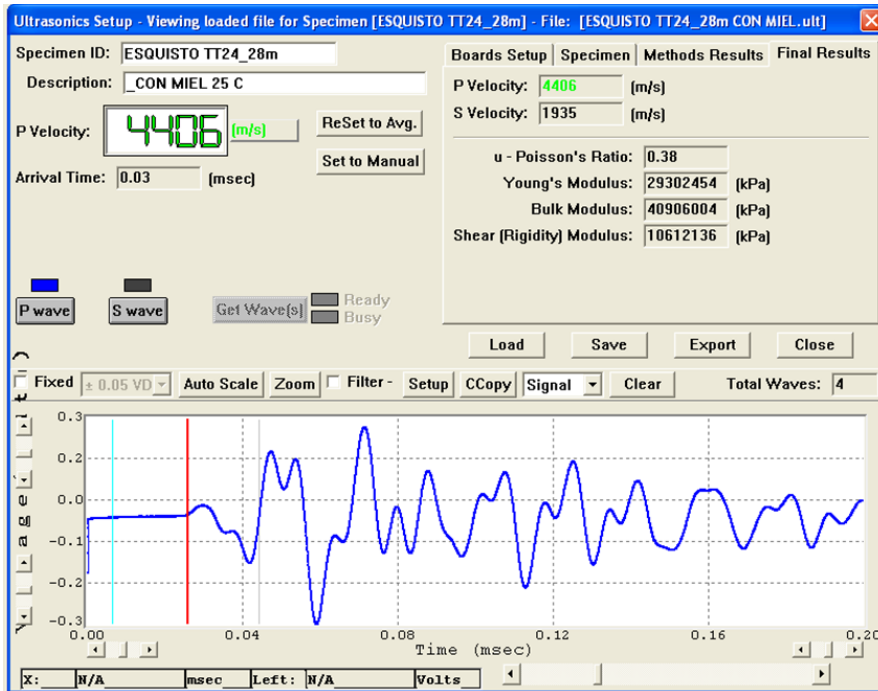


Gráfica N° 86



Ultrasonido

Muestra TT-24



Gráfica N° 86

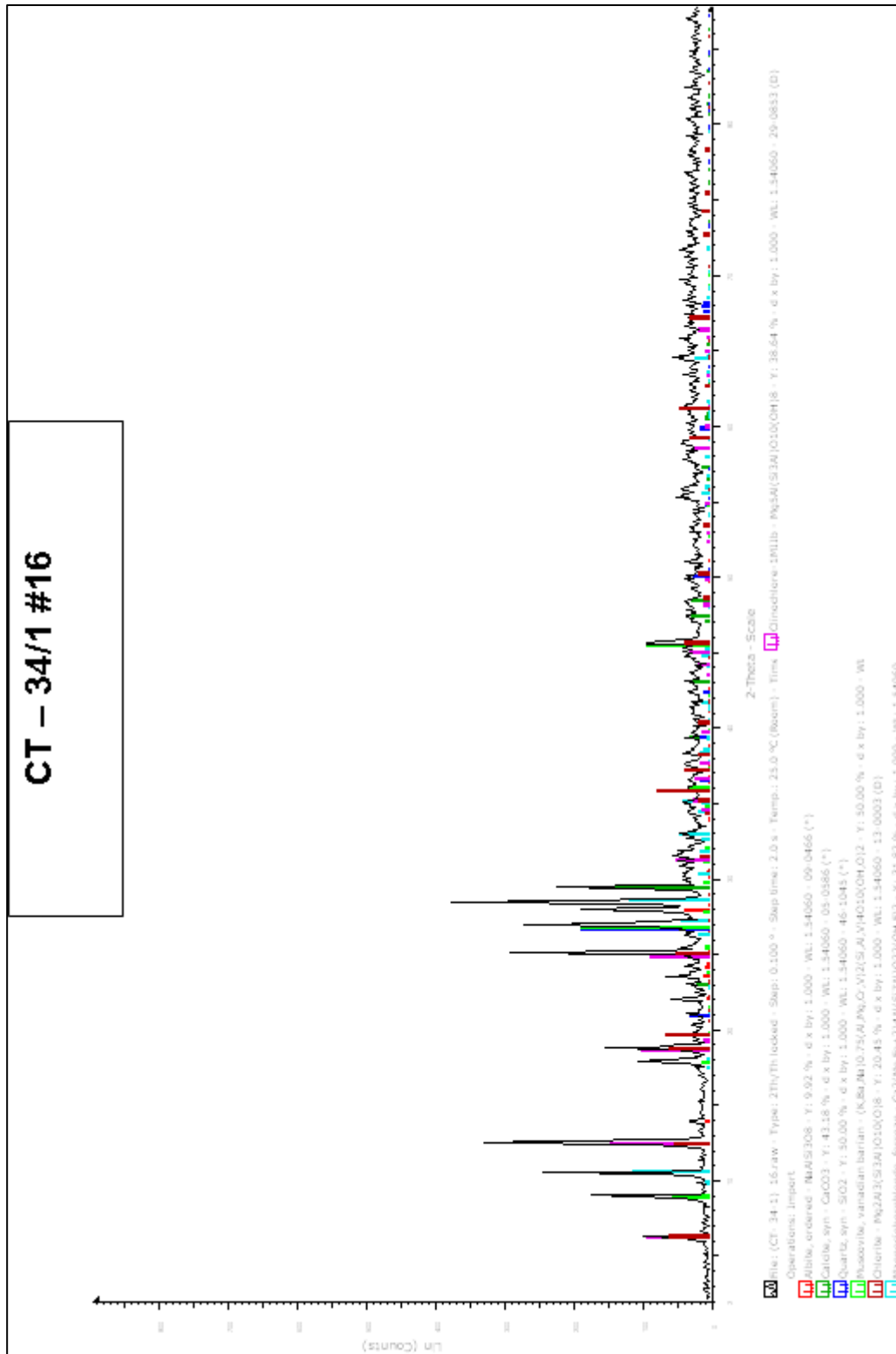


Gráfica N° 87

8.4. FORMACION TUCUTUNEMO

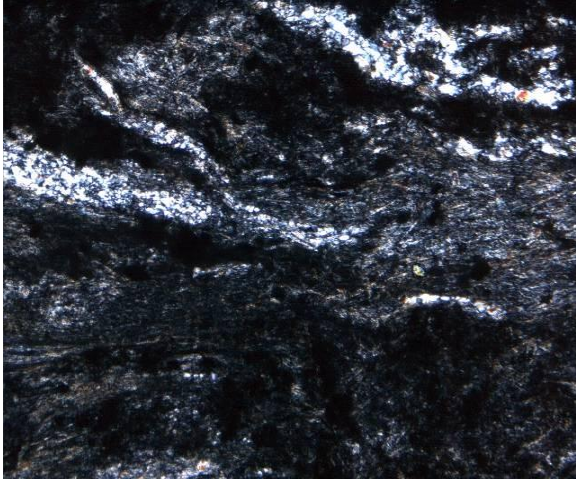
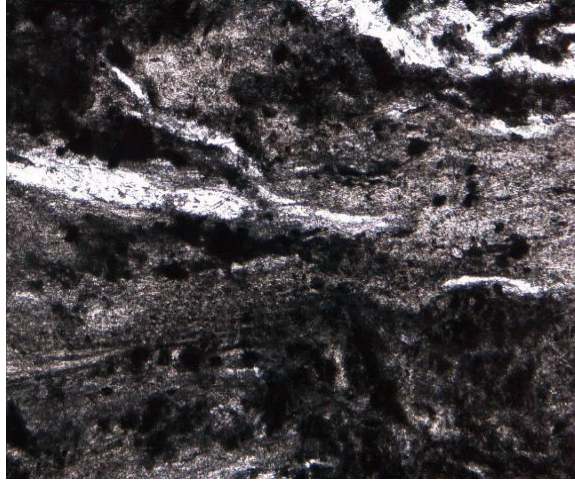
Difracción De Rayos X

MUESTRA CT-3a/1					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,309	26.923	3.309	270	71.6	Muscovita cuarzo
d=10,060	8,783	10.06	172	45.6	Muscovita
d=4,959	17.874	4.959	104	27.6	Muscovita
d=3,133	28.466	3.133	377	100	Magnesiohornblenda
d=8,485	10.418	8.485	245	65	Magnesiohornblenda
d=9,018	9.8	9.018	20	5.3	Magnesiohornblenda
d=4,241	20.93	4.241	35	9.3	Cuarzo
d=1,8504	49.202	1.8504	28	7.4	Cuarzo
d=1,9858	45.649	1.9858	94	24.9	Clorita-muscovita
d=2,4912	36.023	2.4912	33	8.8	Clorita-muscovita
d=4,467	19.858	4.467	25	6.6	Clorita-calcita
d=14,364	6.148	14.364	97	25.7	Clorita-clinocloro
d=2,8117	31.8	2.8117	48	12.7	Clorita-clinocloro
d=1,5081	61.429	1.5081	36	9.5	Clorita
d=1,5464	59.75	1.5464	22	8.5	Clorita
d=1,4531	64.024	1.4531	29	7.7	Clorita
d=7,085	12.484	7.085	329	87.3	Clinocloro-clorita
d=4,731	18.743	4.731	153	40.6	Clinocloro-clorita-
d=3,550	25.064	3.55	292	77.5	Clinocloro-clorita
d=3,042	29.338	3.042	223	59.2	Calcita
d=2,1019	42.996	2.1019	37	9.8	Calcita
d=3,196	27.89	3.196	187	49.6	Albita-muscovita
d=3,795	23.422	3.795	65	17.2	Albita
d=4,033	22.02	4.033	58	15.4	Albita
d=6,366	13.9	6.366	31	8.2	Albita



Gráfica N° 88.

Petrografías

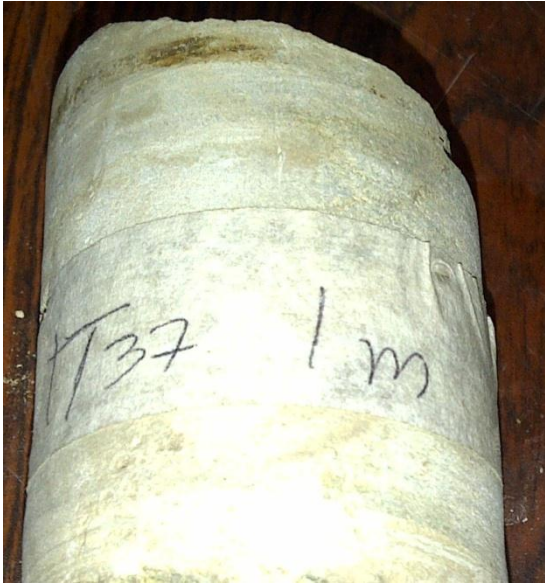
CARACTERIZACION PETROGRÁFICA			
MUESTRA CT-3A/1 PETROGRAFIA # 16			
			
Nicoles cruzados 10X		Nicoles cruzados	
NOMBRE DE LA MUESTRA: Esquisto cuarzo Grafitoso			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:			
Textura: Lepidoblástica.			
Contenido Mineralógico: 30% Cuarzo, 20% Grafito, 10% Feldespatos, 10% Moscovita, 5% Biotita, 5% Sericita, 15% Hematita y el resto en mineral accesorio y Circón.			
Origen: Metamorfismo grado bajo.			
Coordenadas: E499422 N1128058	Progresivas: 58+309	Cota: 290m	Recuperación: 30cm
Formación: Tucutunemo			

Gráfica N° 89

8.5. ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

PROJECT: TESIS BERNAL & CHEIK
SAMPLE: TT-37
SPECIMEN: 1
OF DATA POINTS: 97

Time (sec)	Load kN	Deformation mm			
0.047	0	0	1.407	5.35683	55.1954
0.063	0	55	1.453	5.35683	55.293
0.094	0	55	1.485	6.33079	55.293
0.125	0	55	1.516	7.79175	55.293
0.157	0	55	1.547	9.2527	55.293
0.188	0	55	1.578	10.2267	55.3907
0.219	0	55	1.61	9.73968	55.293
0.25	0	55	1.641	9.73968	55.3907
0.282	0	55	1.672	10.2267	55.3907
0.313	0.486984	55	1.703	10.2267	55.3907
0.344	0	55	1.735	10.2267	55.3907
0.375	0	55	1.766	10.2267	55.3907
0.407	0.486984	55	1.797	10.2267	55.293
0.453	0	55	1.828	10.2267	55.3907
0.485	0	55	1.86	10.2267	55.3907
0.516	0	55	1.891	8.76571	61.0562
0.547	0	55	1.922	4.38286	61.9353
0.578	0.486984	55	1.953	4.38286	62.619
0.61	0	55	1.985	4.38286	62.9121
0.641	0.486984	55	2.016	4.38286	63.1074
0.672	0.486984	55.0977	2.047	4.38286	63.3028
0.703	0.486984	55.0977	2.078	4.38286	63.3028
0.735	0.486984	55.0977	2.125	3.89587	63.3028
0.782	0.486984	55	2.157	3.89587	63.3028
0.813	0.486984	55	2.188	3.89587	63.3028
0.844	0.486984	55.0977	2.219	3.40889	63.3028
0.875	0.486984	55.0977	2.25	3.40889	63.3028
0.907	0.486984	55.0977	2.282	3.40889	63.3028
0.938	0.973968	55.0977	2.313	3.40889	63.3028
0.969	0.973968	55	2.344	2.9219	63.3028
1	0.973968	55.0977	2.375	3.40889	63.3028
1.032	1.46095	55.0977	2.407	2.9219	63.3028
1.063	1.94794	55.1954	2.438	2.9219	63.3028
1.094	2.43492	55.1954	2.469	2.43492	63.3028
1.125	2.9219	55.1954	2.5	2.9219	63.4005
1.157	3.40889	55.1954	2.532	2.43492	63.3028
1.188	3.40889	55.1954	2.563	2.43492	63.3028
1.219	3.40889	55.1954	2.594	2.43492	63.3028
1.25	3.89587	55.1954	2.625	2.43492	63.4005
1.282	3.89587	55.1954	2.657	2.43492	63.3028
1.313	4.38286	55.1954	2.688	2.43492	63.3028
1.344	4.38286	55.1954	2.719	1.94794	63.3028
1.375	4.86984	55.1954	2.75	1.94794	63.3028
			2.797	1.94794	63.3028
			2.828	1.94794	63.3028
			2.86	1.46095	63.3028
			2.891	1.94794	63.4005
			2.922	1.94794	63.3028
			2.953	1.46095	63.3028
			2.985	1.46095	63.3028
			3.016	1.46095	63.3028
			3.047	1.46095	63.3028
			3.078	1.46095	63.3028



PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	10.156	51.6203	7.81441	
SAMPLE:	VT-42	10.187	51.6203	7.81441	
SPECIMEN:	2	10.218	51.6203	7.81441	
# OF DATA POINTS:	146	10.25	51.6203	7.81441	
Time	Load	Deformation			
(sec)	kN	mm			
8.687	52.1073	7.81441	10.312	51.6203	7.81441
8.718	51.6203	7.81441	10.343	51.6203	7.81441
8.75	51.6203	7.81441	10.375	51.6203	7.81441
8.781	51.6203	7.81441	10.406	51.6203	7.81441
8.812	51.6203	7.81441	10.437	51.6203	7.81441
8.843	51.6203	7.81441	10.468	51.6203	7.81441
8.875	51.6203	7.81441	10.5	51.6203	7.81441
8.906	51.6203	7.81441	10.531	51.6203	7.81441
8.937	51.6203	7.81441	10.578	51.6203	7.81441
8.968	51.6203	7.81441	10.609	51.6203	7.81441
9	51.6203	7.81441	10.64	51.6203	7.81441
9.031	51.6203	7.81441	10.672	51.6203	7.81441
9.062	51.6203	7.81441	10.703	51.6203	7.81441
9.093	51.6203	7.81441	10.734	51.6203	7.81441
9.125	51.6203	7.81441	10.765	51.6203	7.81441
9.156	51.6203	7.81441	10.797	51.6203	7.81441
9.187	51.6203	7.81441	10.828	52.1073	7.81441
9.218	51.6203	7.81441	10.859	51.6203	7.81441
9.265	51.6203	7.81441	10.89	51.6203	7.81441
9.297	51.6203	7.81441	10.922	51.6203	7.81441
9.328	51.6203	7.81441	10.953	52.1073	7.81441
9.359	51.6203	7.81441	10.984	51.6203	7.81441
9.39	51.6203	7.81441	11.015	51.6203	7.81441
9.422	51.6203	7.81441	11.047	51.6203	7.81441
9.453	51.6203	7.81441	11.078	51.6203	7.81441
9.484	51.6203	7.81441	11.109	51.6203	7.81441
9.515	51.6203	7.81441	11.14	51.6203	7.81441
9.547	51.6203	7.81441	11.172	51.6203	7.81441
9.578	51.6203	7.81441	11.203	51.6203	7.81441
9.609	51.6203	7.81441	11.25	51.6203	7.81441
9.64	52.1073	7.81441	11.281	51.6203	7.81441
9.672	51.6203	7.81441	11.312	51.6203	7.81441
9.703	51.1333	7.81441	11.343	51.6203	7.81441
9.734	51.6203	7.81441	11.375	51.6203	7.81441
9.765	51.6203	7.81441	11.406	51.6203	7.81441
9.797	51.6203	7.81441	11.437	51.6203	7.81441
9.828	51.6203	7.81441	11.468	51.6203	7.81441
9.859	51.6203	7.81441	11.5	51.6203	7.81441
9.906	51.6203	7.81441	11.531	51.6203	7.81441
9.937	51.6203	7.81441	11.562	51.6203	7.81441
9.968	51.6203	7.81441	11.593	51.6203	7.81441
10	51.6203	7.81441	11.625	51.6203	7.81441
10.031	51.6203	7.81441	11.656	51.6203	7.81441
10.062	51.6203	7.81441	11.687	51.6203	7.81441
10.093	51.6203	7.81441	11.718	51.6203	7.81441
10.125	51.6203	7.81441	11.75	51.6203	7.81441
			11.781	51.6203	7.81441
			11.812	51.6203	7.81441

11.843	51.6203	7.81441
11.875	51.6203	7.81441
11.922	51.6203	7.81441
11.953	51.6203	7.81441
11.984	51.6203	7.81441
12.015	51.6203	7.81441
12.047	51.1333	7.81441
12.078	51.6203	7.81441
12.109	51.6203	7.81441
12.14	51.6203	7.81441
12.172	51.6203	7.81441
12.203	51.6203	7.81441
12.234	51.6203	7.81441
12.265	51.6203	7.81441
12.297	51.6203	7.81441
12.328	51.6203	7.81441
12.359	51.6203	7.81441
12.39	51.6203	7.81441
12.422	51.6203	7.81441
12.453	51.6203	7.81441
12.484	51.1333	7.81441
12.515	51.6203	7.81441
12.547	51.6203	7.81441
12.593	51.6203	7.81441
12.625	51.6203	7.81441
12.656	51.6203	7.81441
12.687	51.6203	7.81441
12.718	51.1333	7.81441
12.75	51.6203	7.81441
12.781	51.6203	7.81441
12.812	51.1333	7.81441
12.843	51.6203	7.81441
12.875	51.1333	7.81441
12.906	51.6203	7.81441
12.937	51.6203	7.81441
12.968	51.6203	7.81441
13	51.6203	7.81441
13.031	51.1333	7.81441
13.062	51.1333	7.81441
13.093	51.6203	7.81441
13.125	41.3937	7.81441
13.156	7.79175	7.71673
13.187	2.9219	7.71673
13.218	1.94794	7.71673
13.265	1.94794	7.61905
13.297	1.46095	7.52137
13.328	1.46095	7.52137



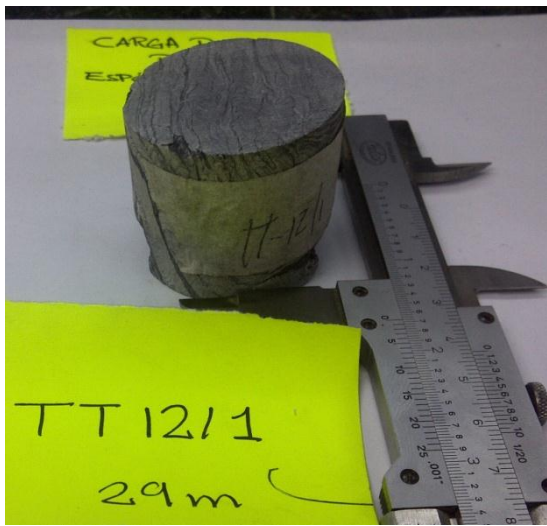
PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	1.485	0.486984	42.293
SAMPLE:	TT 6	1.516	0.973968	42.293
SPECIMEN:	3	1.547	1.46095	42.4884
# OF DATA POINTS:	50	1.594	1.46095	45.6142

Time (sec)	Load kN	Deformation mm
8.687	0	0
0.063	0.486984	42.0977
0.094	0	42.0977
0.125	0	42.0977
0.157	0.486984	42.0977
0.188	0	42.0977
0.219	0.486984	42.0977
0.25	0.486984	42.0977
0.282	0	42.0977
0.313	0	42.0977
0.344	0.486984	42.0977
0.375	0	42.0977
0.422	0.486984	42.0977
0.438	0	42.0977
0.469	0	42.1954
0.5	0	42.0977
0.532	0.486984	42.0977
0.563	0.486984	42.0977
0.594	0	42.0977
0.625	0.486984	42.0977
0.657	0.486984	42.0977
0.688	0.486984	42.0977
0.719	0.486984	42.0977
0.75	0	42.0977
0.782	0.486984	42.1954
0.813	0.486984	42.0977
0.844	0.486984	42.0977
0.875	0	42.0977
0.907	0.486984	42.0977
0.953	0.486984	42.1954
0.985	0.486984	42.0977
1.016	0.486984	42.1954
1.047	0.486984	42.1954
1.078	0.486984	42.1954
1.11	0.486984	42.293
1.141	0.486984	42.293
1.172	0.486984	42.293
1.203	0.486984	42.293
1.235	0.973968	42.293
1.266	0.973968	42.293
1.297	0.973968	42.293
1.328	0.486984	42.293
1.36	0.973968	42.293
1.391	0.973968	42.293
1.422	0.973968	42.3907
1.453	0.973968	42.293



Project:	TESIS BERNAL & CHEIK		1.5	2.9219	45.293
Sample:	TT 12 29m		1.531	2.9219	45.3907
Specimen:	4		1.563	2.9219	45.293
# of Data Points:	101		1.594	2.9219	45.3907
			1.625	2.9219	45.293
Time	Load	Deformation	1.656	3.40889	45.293
(sec)	kN	mm	1.688	3.40889	45.3907
8.687	0	0	1.719	3.89587	45.293
0.047	-0.486984	45	1.75	3.89587	45.3907
0.078	0	44.9023	1.781	3.89587	45.293
0.109	0	44.9023	1.813	3.89587	45.3907
0.141	0	45	1.844	3.89587	45.293
0.172	0	45	1.875	3.89587	45.293
0.203	0	45	1.906	4.38286	45.3907
0.234	-0.486984	44.9023	1.938	4.86984	45.3907
0.266	-0.486984	45	1.969	5.35683	45.4884
0.297	-0.486984	45	2	5.84381	45.4884
0.328	-0.486984	45	2.047	5.84381	45.4884
0.359	-0.486984	45	2.078	6.33079	45.4884
0.391	0	45	2.109	6.81778	45.5861
0.438	0	45	2.141	6.81778	45.4884
0.469	0	45	2.172	6.33079	45.4884
0.5	0	45	2.203	6.81778	45.4884
0.531	-0.486984	45	2.234	6.81778	45.4884
0.563	0	44.9023	2.266	6.81778	45.4884
0.594	0	45	2.297	6.81778	45.5861
0.625	0	45	2.328	6.81778	45.5861
0.656	-0.486984	45	2.359	6.81778	45.4884
0.703	0	45	2.391	6.81778	45.5861
0.734	0	45	2.422	6.81778	45.4884
0.766	0	45	2.453	6.81778	45.5861
0.797	0	45.0977	2.484	6.81778	45.4884
0.828	0	45.0977	2.516	7.30476	45.5861
0.859	0	45.0977	2.547	7.79175	45.6838
0.891	0	45.1954	2.578	8.27873	45.6838
0.922	0	45.0977	2.609	4.86984	52.326
0.953	0.486984	45.0977	2.641	2.43492	52.8144
0.984	0.486984	45.0977	2.688	2.43492	52.8144
1.016	0.486984	45.1954	2.719	2.43492	52.8144
1.047	0.973968	45.0977	2.75	2.43492	52.8144
1.078	0.486984	45.1954	2.781	2.43492	52.8144
1.109	0.486984	45.0977	2.813	1.94794	52.7167
1.141	0.486984	45.0977	2.844	1.94794	52.9121
1.172	0.973968	45.0977	2.875	1.94794	53.1074
1.203	0.973968	45.0977	2.906	1.94794	53.1074
1.234	0.973968	45.0977	2.938	1.94794	53.1074
1.266	0.973968	45.1954	2.969	1.94794	53.1074
1.297	1.46095	45.1954	3	1.46095	53.1074
1.328	1.94794	45.293	3.031	1.94794	53.1074
1.375	1.94794	45.293	3.063	1.46095	53.1074
1.406	1.94794	45.293	3.094	1.94794	53.2051
1.438	1.94794	45.293	3.125	1.46095	53.1074
1.469	2.43492	45.293	3.156	1.46095	53.1074

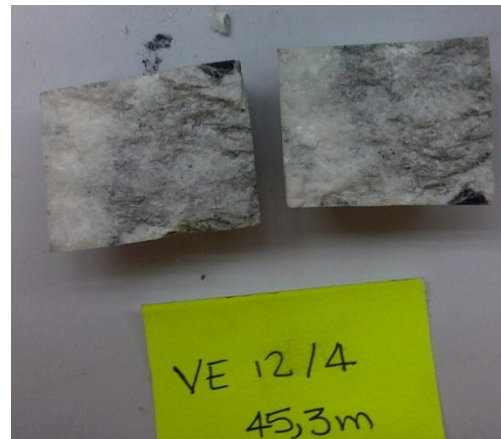
3.188	1.46095	53.1074
3.219	1.46095	53.1074



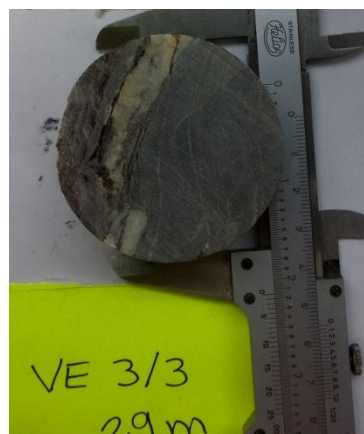
PROJECT: TESIS BERNAL & CHEIK
SAMPLE: VE-2
SPECIMEN: 5
OF DATA POINTS: 53

1.5	0.486984	47.1954
1.531	0.973968	47.1954
1.563	0.973968	47.1954
1.594	0.973968	47.293
1.625	0.973968	47.293
1.656	0.973968	47.1954
1.688	1.46095	47.293

Time (sec)	Load kN	Deformation mm
8.687	0	0
0.047	0	47
0.078	-0.486984	47
0.11	-0.486984	47
0.141	-0.486984	47
0.172	0	47
0.203	0	47
0.235	-0.486984	47
0.266	-0.486984	46.9023
0.297	-0.486984	47
0.328	0	47
0.36	-0.486984	47
0.391	-0.486984	47
0.438	0	47
0.469	0	47
0.5	-0.486984	47
0.531	-0.486984	47
0.563	0	47.0977
0.594	-0.486984	47.0977
0.625	0	47.0977
0.656	-0.486984	47.0977
0.703	0	47.0977
0.735	-0.486984	47.0977
0.766	0	47.0977
0.797	0	47.0977
0.828	0	47.0977
0.86	0	47.0977
0.891	0	47.0977
0.922	0	47.0977
0.953	0	47.0977
0.985	0	47.0977
1.016	0	47.0977
1.047	0	47.0977
1.078	-0.486984	47.0977
1.11	0	47.0977
1.141	0	47.0977
1.172	0	47.0977
1.203	0	47.0977
1.235	0	47.0977
1.266	0	47.0977
1.297	0.486984	47.293
1.344	0	47.293
1.375	0.486984	47.1954
1.406	0.486984	47.1954
1.438	0.486984	47.293
1.469	0.486984	47.1954



PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	1.547	1.94794	55.5861	
SAMPLE:	VE-3 29m	1.578	1.94794	55.5861	
SPECIMEN:	6	1.609	2.43492	55.6838	
# OF DATA POINTS:	79	1.641	2.43492	55.5861	
Time (sec)	Load kN	Deformation mm			
8.687	0	0	1.734	2.9219	55.6838
0.062	0	55	1.766	3.40889	55.6838
0.094	0	55	1.797	3.40889	55.6838
0.125	0	54.9023	1.828	3.40889	55.6838
0.156	-0.486984	54.9023	1.859	3.40889	55.6838
0.187	0	55	1.891	3.89587	55.6838
0.219	-0.486984	55	1.922	3.89587	55.6838
0.25	0	55	1.953	3.89587	55.6838
0.281	-0.486984	55	1.984	3.89587	55.6838
0.312	-0.486984	55	2.016	3.89587	55.7814
0.344	0	54.9023	2.047	4.38286	55.7814
0.375	0	55	2.094	4.86984	55.8791
0.406	0	55	2.125	3.89587	61.0562
0.453	-0.486984	54.9023	2.156	2.43492	60.5678
0.484	-0.486984	55	2.187	1.94794	60.5678
0.516	0	54.9023	2.219	2.43492	60.4701
0.547	0	54.9023	2.25	2.43492	60.4701
0.578	0	54.9023	2.281	1.94794	60.4701
0.609	0	54.9023	2.312	1.94794	60.4701
0.641	0	54.9023	2.344	1.94794	60.4701
0.672	0	55	2.375	1.94794	60.4701
0.703	0	54.9023	2.406	1.46095	60.4701
0.75	0	55	2.437	1.94794	60.4701
0.781	-0.486984	54.9023	2.469	1.46095	60.5678
0.812	0	55	2.5	1.46095	60.5678
0.844	0	55	2.531	1.46095	60.4701
0.875	0	55			
0.906	-0.486984	55			
0.937	0	55.0977			
0.969	0	55.0977			
1	0	55.1954			
1.031	0	55.1954			
1.062	0	55.1954			
1.094	0	55.1954			
1.125	0	55.1954			
1.156	0.486984	55.1954			
1.187	0.486984	55.1954			
1.219	0	55.1954			
1.25	0.486984	55.1954			
1.281	0.973968	55.1954			
1.312	0.486984	55.1954			
1.344	0.486984	55.1954			
1.375	0.973968	55.1954			
1.422	0.973968	55.1954			
1.453	0.973968	55.3907			
1.484	1.46095	55.4884			
1.516	1.94794	55.5861			



Project: TESIS FABI & JOSSE
Sample: T T 12 1
Specimen: 7
of Data Points: 1
Time Load Deformation
(sec) kN mm
8.687 0 0



PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	1.515	0.486984	55.1954
SAMPLE:	VE-3 28m	1.546	0.486984	55.1954
SPECIMEN:	8	1.578	0.973968	55.1954
# OF DATA POINTS:	143	1.625	0.973968	55.1954
Time	Load	Deformation		
(sec)	kN	mm		
8.687	0	0	1.718	55.0977
0.062	0.486984	55	1.75	55.1954
0.093	0	54.9023	1.781	55.1954
0.125	0.486984	54.9023	1.812	55.0977
0.156	0.486984	55	1.843	55.0977
0.187	0	54.9023	1.875	55.1954
0.218	0	54.9023	1.906	55.1954
0.25	0	54.9023	1.937	55.293
0.281	0	55	1.968	55.293
0.312	0	54.9023	2	55.293
0.343	0	55	2.031	55.293
0.375	0	54.9023	2.062	55.293
0.406	0	55	2.093	55.293
0.437	0	54.9023	2.125	55.293
0.468	0	54.9023	2.156	55.293
0.5	0	54.9023	2.187	55.293
0.531	0	55	2.218	55.293
0.562	0	55	2.265	55.293
0.593	0.486984	54.9023	2.296	55.293
0.625	0	55	2.328	55.293
0.656	0	54.9023	2.359	55.293
0.687	0	55	2.39	55.293
0.718	0	55	2.421	55.293
0.75	0	54.9023	2.453	55.293
0.781	0	54.9023	2.484	55.293
0.812	0.486984	55	2.515	55.293
0.843	0.486984	54.9023	2.546	55.293
0.875	0.486984	55	2.578	55.293
0.906	0.486984	54.9023	2.609	55.293
0.953	0.486984	54.9023	2.64	55.293
0.984	0	55	2.671	55.293
1.015	0.486984	54.9023	2.703	55.3907
1.046	0	54.9023	2.734	55.293
1.078	0.486984	54.9023	2.765	55.4884
1.109	0.486984	54.9023	2.796	55.3907
1.14	0.486984	55	2.828	55.4884
1.171	0.486984	55	2.859	55.4884
1.203	0	54.9023	2.89	55.4884
1.234	0.486984	54.9023	2.937	55.4884
1.265	0.486984	54.9023	2.968	55.4884
1.296	0.486984	55	3	55.4884
1.328	0.486984	55	3.031	55.4884
1.359	0.486984	55	3.062	55.4884
1.39	0.486984	55	3.093	55.4884
1.421	0.486984	55.1954	3.125	55.3907
1.453	0.486984	55.1954	3.156	55.4884
1.484	0.486984	55.1954	3.187	55.4884

3.218	6.81778	55.4884
3.25	6.81778	55.4884
3.281	6.81778	55.4884
3.312	7.30476	55.4884
3.343	7.79175	55.4884
3.375	8.27873	55.4884
3.406	8.76571	55.5861
3.437	9.2527	55.5861
3.468	10.2267	55.6838
3.5	11.6876	55.6838
3.531	12.1746	55.6838
3.562	11.6876	55.6838
3.609	12.1746	55.6838
3.64	12.1746	55.6838
3.671	12.1746	55.6838
3.703	12.1746	55.6838
3.734	12.1746	55.6838
3.765	12.1746	55.6838
3.796	12.1746	55.6838
3.828	11.6876	55.6838
3.859	11.6876	55.6838
3.89	11.6876	55.6838
3.921	11.6876	55.6838
3.953	12.1746	55.6838
3.984	12.6616	55.6838
4.015	12.6616	55.7814
4.046	13.1486	55.7814
4.078	13.1486	55.7814
4.109	14.1225	74.4383
4.14	2.43492	63.4982
4.171	2.43492	63.4982
4.203	1.94794	63.3028
4.234	1.94794	63.4982
4.281	1.46095	63.5958
4.312	1.94794	63.5958
4.343	1.46095	63.5958
4.375	1.46095	63.5958
4.406	1.46095	63.5958
4.437	1.46095	63.5958
4.468	1.46095	63.5958
4.5	1.46095	63.5958
4.531	1.46095	63.5958
4.562	1.46095	63.5958



PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	1.485	0.486984	55
SAMPLE:	VE-3 34m	1.516	0.486984	55
SPECIMEN:	9	1.547	0.486984	55
# OF DATA POINTS:	53	1.578	0.486984	55.0977

Time (sec)	Load kN	Deformation mm
8.687	0	0
0.047	0.486984	55
0.078	0	55
0.11	0	55
0.141	0	55
0.172	0	55
0.203	0	55
0.235	0.486984	55
0.266	0	55
0.297	0	54.9023
0.344	0	54.9023
0.375	0	55
0.407	0	55
0.422	0.486984	55
0.453	0	55
0.485	0.486984	55
0.516	0	55
0.547	0	55
0.578	0	55
0.625	0	55
0.657	0	55
0.688	0	55
0.719	0.486984	54.9023
0.75	0	55
0.782	0.486984	55
0.813	0	55
0.844	0	55
0.875	0	55
0.907	0	55
0.938	0.486984	55
0.969	0	55
1	0.486984	55
1.032	0.486984	55
1.063	0	55
1.094	0	55
1.125	0.486984	55
1.157	0.486984	55
1.188	0.486984	55
1.219	0.486984	55
1.25	0.486984	55
1.297	0.486984	55
1.328	0.486984	55
1.36	0.486984	55
1.391	0.486984	55
1.422	0.486984	55
1.453	0.486984	55



PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	1.484	1.46095	55.293
SAMPLE:	VE-3 31,7m	1.515	1.46095	55.293
SPECIMEN:	10	1.562	1.46095	55.293
# OF DATA POINTS:	131	1.593	1.46095	55.293

Time (sec)	Load kN	Deformation mm			
8.687	0	0	1.625	1.46095	55.293
0.062	0	55.0977	1.656	1.46095	55.293
0.093	0	55.0977	1.687	1.94794	55.3907
0.125	0.486984	55.0977	1.718	2.43492	55.4884
0.156	0	55.0977	1.75	2.43492	55.4884
0.187	0	55	1.781	2.9219	55.4884
0.218	0	55.0977	1.812	3.40889	55.4884
0.25	0	55.0977	1.843	3.40889	55.4884
0.281	0.486984	55.0977	1.875	3.40889	55.4884
0.312	0	55.0977	1.906	3.40889	55.4884
0.343	0	55.0977	1.937	3.40889	55.4884
0.375	0	55.0977	1.968	3.40889	55.4884
0.406	0	55	2	3.89587	55.5861
0.437	0.486984	55	2.031	3.89587	55.4884
0.468	0	55.0977	2.062	3.89587	55.4884
0.5	0	55.0977	2.093	3.89587	55.5861
0.531	0	55	2.125	4.38286	55.5861
0.562	0	55.0977	2.156	4.38286	55.5861
0.593	0	55.0977	2.187	4.86984	55.5861
0.625	0	55.0977	2.234	5.35683	55.5861
0.656	0.486984	55.0977	2.265	6.33079	55.6838
0.687	0	55.0977	2.297	6.33079	55.6838
0.718	0	55.0977	2.328	6.33079	55.6838
0.75	0.486984	55.0977	2.359	6.33079	55.6838
0.781	0	55.0977	2.39	6.33079	55.6838
0.812	0.486984	55.0977	2.422	6.33079	55.6838
0.843	0	55.0977	2.453	6.33079	55.6838
0.89	0.486984	55.0977	2.484	6.33079	55.6838
0.922	0	55.0977	2.515	6.33079	55.6838
0.953	0	55.0977	2.547	6.81778	55.6838
0.984	0.486984	55.0977	2.578	6.81778	55.6838
1.015	0.486984	55.0977	2.609	6.33079	55.6838
1.047	0.486984	55.0977	2.64	6.81778	55.6838
1.078	0.486984	55.0977	2.672	7.30476	55.7814
1.109	0.486984	55.0977	2.703	7.79175	55.8791
1.14	0	55.0977	2.734	8.76571	55.9768
1.172	0.486984	55.0977	2.765	9.2527	55.9768
1.203	0.486984	55.0977	2.797	9.2527	55.9768
1.234	0.486984	55.1954	2.828	9.2527	55.9768
1.265	0.486984	55.293	2.859	9.2527	55.9768
1.297	0.486984	55.293	2.906	9.2527	55.9768
1.328	0.486984	55.293	2.937	9.2527	56.0745
1.359	0.973968	55.3907	2.968	9.2527	56.0745
1.39	0.973968	55.293	3	9.2527	55.9768
1.422	0.973968	55.293	3.031	9.2527	55.9768
1.453	0.973968	55.293	3.062	9.2527	55.9768
			3.093	9.2527	55.9768
			3.125	9.2527	55.9768
			3.156	9.73968	56.0745

3.187	10.2267	56.0745
3.218	11.2006	56.1722
3.25	12.1746	56.3675
3.281	4.86984	63.5958
3.312	3.40889	63.2051
3.343	3.40889	63.0098
3.375	2.9219	63.1074
3.406	2.9219	63.1074
3.437	2.9219	63.1074
3.468	2.9219	63.1074
3.5	2.43492	63.4005
3.547	2.43492	63.4982
3.578	2.43492	63.4982
3.609	2.43492	63.4982
3.64	2.43492	63.4982
3.672	1.94794	63.4982
3.703	2.43492	63.4982
3.734	2.43492	63.4982
3.765	1.94794	63.4982
3.797	1.94794	63.4982
3.828	1.94794	63.4982
3.859	1.94794	63.4005
3.89	1.46095	63.4982
3.922	1.46095	63.4005
3.953	1.46095	63.4982
3.984	1.46095	63.4982
4.015	1.46095	63.4982
4.047	1.46095	63.4982
4.078	1.46095	63.4982
4.109	1.46095	63.4982
4.14	1.46095	63.4982
4.172	1.46095	63.4982



Time (sec)	Load kN	Deformation mm			
8.687	0	0	1.5	7.79175	47.7814
0.047	0	47	1.531	7.79175	47.7814
0.078	0	47	1.563	7.79175	47.7814
0.11	0	47	1.594	8.27873	47.8791
0.141	0	47.0977	1.625	9.2527	47.8791
0.172	0.486984	47.0977	1.656	9.73968	47.8791
0.219	0.486984	47.0977	1.688	10.7137	47.9768
0.25	0.486984	47.0977	1.719	11.6876	40.4554
0.281	0.486984	47.0977	1.75	5.35683	50.5165
0.313	0.486984	47.1954	1.781	4.86984	50.5165
0.344	0.486984	47.1954	1.813	4.86984	50.5165
0.375	0.486984	47.1954	1.844	4.86984	50.5165
0.406	0.486984	47.0977	1.875	4.86984	50.5165
0.438	0.486984	47.0977	1.906	4.86984	50.5165
0.469	0.486984	47.1954	1.938	4.86984	50.5165
0.5	0.486984	47.0977	1.969	4.86984	50.5165
0.531	0.486984	47.1954	2.016	4.38286	50.5165
0.563	0.486984	47.0977	2.047	4.38286	50.5165
0.594	0.973968	47.1954	2.078	4.38286	50.5165
0.625	0.973968	47.1954	2.11	4.38286	50.5165
0.672	1.46095	47.5861	2.141	4.38286	50.5165
0.703	1.46095	47.6838	2.172	4.38286	50.5165
0.735	1.94794	47.6838	2.203	3.89587	50.5165
0.766	2.43492	47.6838	2.235	3.89587	50.5165
0.797	2.43492	47.6838	2.266	3.89587	50.5165
0.828	2.43492	47.6838	2.297	3.40889	50.5165
0.86	2.43492	47.6838	2.328	3.40889	50.5165
0.891	2.9219	47.6838	2.36	3.40889	50.5165
0.922	2.9219	47.6838	2.391	3.40889	50.5165
0.953	3.40889	47.6838	2.422	3.40889	50.5165
0.985	3.40889	47.6838	2.453	2.9219	50.5165
1.016	3.40889	47.6838	2.485	3.40889	50.5165
1.047	3.89587	47.6838	2.516	2.9219	50.5165
1.078	4.38286	47.6838	2.547	2.9219	50.5165
1.11	4.38286	47.6838	2.578	2.9219	50.5165
1.141	4.86984	47.6838	2.61	2.9219	50.5165
1.172	5.35683	47.7814	2.641	2.9219	50.5165
1.203	6.33079	47.7814	2.688	2.43492	50.5165
1.235	7.30476	47.8791	2.719	2.43492	50.5165
1.266	7.30476	47.7814	2.75	2.43492	50.5165
1.297	7.30476	47.7814	2.781	2.43492	50.5165
1.344	7.30476	47.7814	2.813	2.43492	50.5165
1.375	7.30476	47.7814	2.844	2.43492	50.5165
1.406	7.79175	47.7814	2.875	2.43492	50.5165
1.438	7.79175	47.7814	2.906	2.43492	50.5165
1.469	7.30476	47.7814	2.938	2.43492	50.5165
			2.969	2.43492	50.5165
			3	2.43492	50.4188
			3.031	2.43492	50.5165
			3.063	2.43492	50.5165
			3.094	2.43492	50.5165
			3.125	1.94794	50.5165
			3.156	1.94794	50.5165

3.188	1.94794	50.5165
3.219	1.94794	50.5165
3.25	1.46095	50.5165
3.281	1.94794	50.5165
3.313	1.94794	50.5165
3.36	1.94794	50.5165
3.391	1.94794	50.5165
3.422	1.46095	50.5165
3.453	1.46095	50.5165
3.485	1.46095	50.5165
3.516	1.46095	50.5165
3.547	1.46095	50.5165
3.578	1.46095	50.4188
3.61	1.46095	50.5165
3.641	1.46095	50.5165
3.672	1.46095	50.4188
3.703	1.46095	50.5165
3.735	1.46095	50.5165
3.766	1.46095	50.5165
3.797	1.46095	50.5165
3.828	1.46095	50.5165
3.86	1.46095	50.5165
3.891	1.46095	50.5165
3.922	1.46095	50.5165
3.953	1.46095	50.5165
3.985	1.46095	50.5165
4.031	1.46095	50.5165
4.063	1.46095	50.5165

PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	1.515	6.81778	58.5629
SAMPLE:	TT-1 27,8m	1.547	7.30476	58.6606
SPECIMEN:	12	1.578	5.84381	61.9817
# OF DATA POINTS:	76	1.609	3.40889	61.9817

Time (sec)	Load kN	Deformation mm			
0.047	-0.486984	56.9023	1.64	2.9219	61.9817
0.078	0	57	1.672	2.9219	61.9817
0.109	0	57	1.703	2.9219	61.884
0.14	0	57	1.734	2.9219	61.9817
0.172	0	56.9023	1.765	2.9219	61.9817
0.203	0	57	1.812	2.9219	61.9817
0.234	0	57	1.843	2.43492	61.9817
0.265	0	57	1.875	2.43492	61.884
0.297	0	57	1.906	1.94794	61.9817
0.328	0	56.9023	1.937	1.94794	61.9817
0.359	0	56.9023	1.968	1.94794	61.9817
0.39	0	56.9023	2	1.94794	61.9817
0.422	0	57	2.031	1.94794	61.9817
0.453	0	57.0977	2.062	1.94794	61.9817
0.5	0	57.1954	2.093	1.94794	61.9817
0.531	0	57.4884	2.125	1.94794	61.884
0.562	0.486984	57.7814	2.156	1.94794	61.9817
0.593	0.973968	57.8791	2.187	1.94794	61.9817
0.625	0.973968	57.7814	2.218	1.46095	61.9817
0.656	0.973968	57.8791	2.25	1.46095	61.9817
0.687	0.973968	57.7814	2.281	1.46095	61.9817
0.718	1.46095	57.8791	2.312	1.46095	61.9817
0.75	1.46095	57.8791	2.343	1.46095	61.9817
0.781	1.94794	57.7814	2.375	1.46095	61.9817
0.812	1.94794	57.8791	2.406	1.46095	61.9817
0.843	1.94794	57.8791	2.437	1.46095	61.9817
0.875	1.94794	57.8791			
0.906	2.43492	57.9768			
0.937	2.43492	57.8791			
0.968	2.43492	58.0745			
1	2.9219	58.1722			
1.031	3.40889	58.3675			
1.062	3.89587	58.3675			
1.093	4.38286	58.4652			
1.125	4.86984	58.4652			
1.172	4.86984	58.4652			
1.203	4.86984	58.4652			
1.234	4.86984	58.4652			
1.265	5.35683	58.4652			
1.297	5.35683	58.4652			
1.328	5.35683	58.5629			
1.359	5.84381	58.4652			
1.39	5.84381	58.4652			
1.422	5.84381	58.4652			
1.453	5.84381	58.4652			
1.484	5.84381	58.5629			

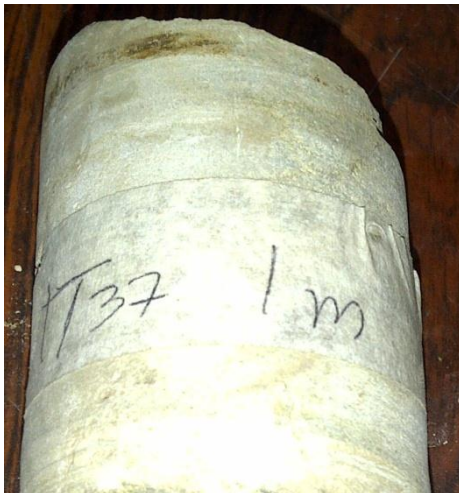


Time (sec)	Load kN	Deformation mm			
			1.5	3.89587	47.9768
			1.531	3.89587	48.0745
			1.562	4.38286	52.3724
			1.594	2.43492	51.884
			1.625	2.43492	51.884
			1.656	2.9219	51.7863
			1.687	2.43492	51.884
0.047	0	0	1.719	2.43492	51.884
0.047	0	47	1.75	2.43492	51.884
0.078	0	46.9023	1.797	2.43492	51.884
0.109	0.486984	47	1.828	2.43492	51.884
0.14	0	47	1.859	2.43492	51.884
0.172	0	46.9023	1.89	1.94794	51.884
0.203	0	46.9023	1.922	1.94794	51.884
0.234	0	47	1.953	1.94794	51.884
0.265	0	47	1.984	1.94794	51.884
0.297	0.486984	47	2.015	1.94794	51.884
0.328	0	47	2.047	1.94794	51.884
0.359	0	47	2.078	1.46095	51.884
0.406	0	47	2.109	1.46095	51.884
0.437	0	47	2.14	1.46095	51.884
0.484	0	46.9023	2.172	1.46095	51.884
0.515	0	47	2.203	1.46095	51.884
0.547	0	47	2.234	1.46095	51.884
0.578	0.486984	47	2.265	1.46095	51.884
0.609	0.486984	47			
0.64	0.486984	47			
0.672	0.486984	47.0977			
0.703	0.486984	47.0977			
0.734	0.486984	47.0977			
0.765	0.486984	47.0977			
0.797	0.486984	47			
0.828	0.486984	47			
0.859	0.486984	47.0977			
0.89	0.486984	47.1954			
0.922	0.486984	47			
0.953	0.486984	47.0977			
0.984	0.486984	47.0977			
1.015	0.486984	47.1954			
1.047	0.486984	47.293			
1.078	0.973968	47.5861			
1.125	1.46095	47.7814			
1.156	1.46095	47.7814			
1.187	1.46095	47.7814			
1.219	1.94794	47.6838			
1.25	1.94794	47.6838			
1.281	1.94794	47.7814			
1.312	2.43492	47.7814			
1.344	2.43492	47.7814			
1.375	2.43492	47.6838			
1.406	2.43492	47.7814			
1.437	2.9219	47.7814			
1.469	3.40889	47.8791			



PROJECT: TESIS BERNAL & CHEIK
SAMPLE: TT-37 1m
SPECIMEN: 14
OF DATA POINTS: 24

Time (sec)	Load kN	Deformation mm
0.047	0	0
0.047	0	54.9023
0.079	0	54.9023
0.11	0	54.9023
0.141	0	55
0.172	0	55
0.204	0	55
0.235	0	55
0.266	0	55
0.313	0	55
0.344	0	55
0.375	0.486984	55
0.407	0.486984	55
0.438	0.486984	55
0.469	0.486984	55
0.5	0.486984	55.0977
0.532	0.486984	55.0977
0.563	0.486984	55
0.594	0.486984	55
0.625	0.486984	55
0.657	0.486984	55.0977
0.688	0.486984	55.1954
0.719	0.973968	55.3907
0.75	1.46095	55.4884



PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	1.5	1.94794	0	
SAMPLE:	TT 24 29m	1.531	1.94794	0	
SPECIMEN:	15	1.562	1.94794	-0.0976799	
# OF DATA POINTS:	105	1.594	1.94794	0	
		1.625	1.94794	-0.0976799	
Time	Load	Deformation			
(sec)	kN	mm			
0.047	0	0	1.672	1.94794	0
0.062	1.46095	-0.0976799	1.703	1.94794	-0.0976799
0.094	1.46095	0	1.734	1.94794	0
0.125	1.46095	-0.0976799	1.765	1.94794	0
0.156	1.46095	-0.0976799	1.797	1.94794	0
0.187	1.94794	-0.0976799	1.828	1.46095	0
0.219	1.94794	-0.0976799	1.859	1.46095	0
0.25	2.43492	-0.0976799	1.89	1.94794	0
0.281	2.43492	0	1.922	1.94794	0
0.312	2.43492	0	1.953	1.46095	0
0.344	2.43492	-0.0976799	1.984	1.46095	-0.0976799
0.375	2.43492	0	2.015	1.46095	0
0.406	2.43492	-0.0976799	2.047	1.94794	0
0.453	2.43492	-0.0976799	2.078	1.94794	0
0.484	2.43492	0	2.109	1.46095	0
0.515	2.43492	0	2.14	1.46095	0
0.547	2.43492	0	2.172	1.94794	0
0.578	2.43492	0	2.203	1.46095	0
0.609	2.43492	-0.0976799	2.234	1.46095	0
0.64	2.9219	-0.0976799	2.265	1.46095	0
0.672	2.43492	0	2.312	1.46095	0
0.703	2.43492	-0.0976799	2.344	1.46095	0
0.734	2.43492	0	2.375	1.46095	0
0.765	2.43492	-0.0976799	2.406	1.46095	0
0.797	2.43492	0	2.437	1.46095	0
0.828	2.43492	-0.0976799	2.469	1.46095	0
0.859	2.43492	0	2.5	1.46095	0
0.89	2.43492	-0.0976799	2.531	1.46095	0
0.922	2.43492	-0.0976799	2.562	1.46095	0
0.953	2.43492	-0.0976799	2.594	1.46095	0
1	2.43492	0	2.625	1.46095	0
1.031	2.43492	0	2.656	1.46095	0
1.062	2.43492	0	2.687	1.46095	0
1.094	2.43492	0	2.719	1.46095	0
1.125	2.43492	-0.0976799	2.75	1.46095	0
1.156	2.43492	0	2.781	1.46095	0
1.187	2.43492	0	2.812	1.46095	0
1.219	2.43492	0	2.844	1.46095	0
1.25	2.43492	-0.0976799	2.875	1.46095	0
1.281	2.43492	0	2.906	1.46095	0
1.312	1.94794	0	2.937	1.46095	0
1.344	1.94794	0	2.984	1.46095	0
1.375	1.94794	0	3.015	1.46095	0
1.406	1.94794	-0.0976799	3.047	1.46095	0
1.437	1.94794	0	3.078	1.46095	0
1.469	2.43492	0	3.109	1.46095	0
			3.14	1.46095	0
			3.172	1.46095	0

3.203	1.46095	0
3.234	1.46095	0
3.265	1.46095	0
3.297	1.46095	0
3.328	1.46095	0
3.359	1.46095	0

PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK		1.515	2.43492	45.5861
SAMPLE:	TT 6 23m		1.546	2.9219	45.6838
SPECIMEN:	16		1.578	2.9219	45.5861
# OF DATA POINTS:	89		1.609	3.40889	45.7814
Time (sec)	Load (kN)	Deformation (mm)			
0.047	0	0	1.703	3.40889	46.4652
0.046	0	45	1.734	3.89587	46.4652
0.078	0	45.0977	1.765	3.89587	46.5629
0.109	0	45.0977	1.796	3.89587	46.4652
0.14	0	45.0977	1.828	3.89587	46.4652
0.171	0	45.0977	1.859	3.89587	46.5629
0.203	0	45	1.89	3.89587	46.4652
0.234	0	45.0977	1.937	3.89587	46.4652
0.265	0.486984	45.0977	1.968	3.89587	46.5629
0.296	0	45.0977	2	3.89587	46.5629
0.328	0.486984	45	2.031	3.40889	46.5629
0.359	0	45.0977	2.062	3.40889	46.5629
0.406	0	45	2.093	3.89587	46.6606
0.421	0	45	2.125	4.38286	46.7582
0.453	0.486984	45.0977	2.156	4.38286	46.7582
0.484	0	45.0977	2.187	4.38286	46.7582
0.515	0	45	2.218	3.89587	46.7582
0.546	0	45	2.25	3.89587	46.7582
0.593	0	45	2.281	3.89587	46.7582
0.625	0	45.0977	2.312	3.89587	46.7582
0.656	0	45.0977	2.343	3.89587	46.7582
0.687	0.486984	45.0977	2.375	3.89587	46.7582
0.718	0.486984	45.0977	2.406	3.89587	46.7582
0.75	0.486984	45.0977	2.437	3.89587	46.7582
0.781	0.486984	45.0977	2.468	3.89587	46.7582
0.812	0.486984	45.0977	2.5	3.40889	46.8559
0.843	0.486984	45.1954	2.531	4.38286	46.8559
0.875	0.486984	45.0977	2.562	4.38286	46.9536
0.906	0.486984	45.0977	2.609	1.94794	46.9536
0.937	0.486984	45.1954	2.64	1.46095	46.9536
0.968	0.486984	45.1954	2.671	1.46095	46.9536
1	0.486984	45.1954	2.703	1.46095	46.9536
1.031	0.486984	45.0977	2.734	1.46095	46.9536
1.062	0.486984	45.1954	2.765	1.46095	46.9536
1.093	0.486984	45.1954	2.796	1.46095	46.9536
1.125	0.486984	45.1954	2.828	1.46095	46.9536
1.156	0.486984	45.1954			
1.187	0.486984	45.3907			
1.218	0.973968	45.4884			
1.265	1.46095	45.5861			
1.296	1.46095	45.5861			
1.328	1.46095	45.5861			
1.359	1.46095	45.5861			
1.39	1.46095	45.5861			
1.421	1.46095	45.5861			
1.453	1.94794	45.6838			
1.484	2.43492	45.6838			



Time (sec)	Load (kN)	Deformation (mm)			
			1.485	2.43492	47.4884
			1.516	2.9219	47.4884
			1.547	2.9219	47.4884
			1.578	3.40889	47.4884
			1.61	3.89587	47.4884
			1.641	3.89587	47.4884
			1.672	3.89587	47.4884
0.047	0	0	1.703	4.38286	47.4884
0.047	0.486984	47	1.735	4.38286	47.4884
0.078	0	47	1.766	4.38286	47.4884
0.11	0	47	1.797	4.38286	47.4884
0.141	0	47.0977	1.828	4.86984	47.4884
0.172	0.486984	47	1.86	5.35683	47.5861
0.203	0	47	1.907	5.84381	52.6654
0.235	0	47.0977	1.938	2.9219	54.1306
0.266	0.486984	47.0977	1.969	2.9219	54.033
0.297	0	47.0977	2	2.9219	54.1306
0.328	0	47.0977	2.032	2.9219	54.1306
0.375	0	47	2.063	2.9219	54.1306
0.407	0	47	2.094	2.9219	54.1306
0.422	0	47	2.125	2.43492	54.2283
0.453	0.486984	47.0977	2.157	2.43492	54.4237
0.485	0.486984	47	2.188	1.94794	54.4237
0.516	0	47	2.219	2.43492	54.4237
0.563	0	47.0977	2.25	1.94794	54.4237
0.594	0.486984	47	2.282	1.94794	54.4237
0.625	0.486984	47.0977	2.313	1.94794	54.4237
0.657	0.486984	47.0977	2.344	1.94794	54.4237
0.688	0.486984	47.0977	2.375	1.94794	54.4237
0.719	0	47.0977	2.407	1.46095	54.4237
0.75	0.486984	47.0977	2.438	1.46095	54.4237
0.782	0.486984	47.0977	2.469	1.46095	54.4237
0.813	0.486984	47.0977	2.5	1.46095	54.4237
0.844	0.486984	47.0977	2.532	1.46095	54.4237
0.875	0.486984	47.0977	2.578	1.46095	54.4237
0.907	0.486984	47.0977			
0.938	0.486984	47.0977			
0.969	0.486984	47.0977			
1	0.486984	47.0977			
1.032	0.486984	47.0977			
1.063	0.973968	47.0977			
1.094	0.486984	47.0977			
1.125	0.486984	47.0977			
1.157	0.486984	47.0977			
1.188	0.973968	47.0977			
1.235	0.973968	47.1954			
1.266	0.973968	47.1954			
1.297	1.46095	47.3907			
1.328	1.94794	47.3907			
1.36	2.43492	47.4884			
1.391	2.43492	47.4884			
1.422	2.43492	47.4884			
1.453	2.43492	47.4884			



PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	1.516	7.79175	55.293	
SAMPLE:	TT 37/2	1.547	9.2527	55.293	
SPECIMEN:	19	1.578	10.2267	55.3907	
# OF DATA POINTS:	97	1.61	9.73968	55.293	
		1.641	9.73968	55.3907	
Time	Load	Deformation			
(sec)	kN	mm			
0.047	0	0	1.672	10.2267	55.3907
0.063	0	55	1.703	10.2267	55.3907
0.094	0	55	1.735	10.2267	55.3907
0.125	0	55	1.766	10.2267	55.3907
0.157	0	55	1.797	10.2267	55.293
0.188	0	55	1.828	10.2267	55.3907
0.219	0	55	1.86	10.2267	55.3907
0.25	0	55	1.891	8.76571	61.0562
0.282	0	55	1.922	4.38286	61.9353
0.313	0.486984	55	1.953	4.38286	62.619
0.344	0	55	1.985	4.38286	62.9121
0.375	0	55	2.016	4.38286	63.1074
0.407	0.486984	55	2.047	4.38286	63.3028
0.453	0	55	2.078	4.38286	63.3028
0.485	0	55	2.125	3.89587	63.3028
0.516	0	55	2.157	3.89587	63.3028
0.547	0	55	2.188	3.89587	63.3028
0.578	0.486984	55	2.219	3.40889	63.3028
0.61	0	55	2.25	3.40889	63.3028
0.641	0.486984	55	2.282	3.40889	63.3028
0.672	0.486984	55.0977	2.313	3.40889	63.3028
0.703	0.486984	55.0977	2.344	2.9219	63.3028
0.735	0.486984	55.0977	2.375	3.40889	63.3028
0.782	0.486984	55	2.407	2.9219	63.3028
0.813	0.486984	55	2.438	2.9219	63.3028
0.844	0.486984	55.0977	2.469	2.43492	63.3028
0.875	0.486984	55.0977	2.5	2.9219	63.4005
0.907	0.486984	55.0977	2.532	2.43492	63.3028
0.938	0.973968	55.0977	2.563	2.43492	63.3028
0.969	0.973968	55	2.594	2.43492	63.3028
1	0.973968	55.0977	2.625	2.43492	63.4005
1.032	1.46095	55.0977	2.657	2.43492	63.3028
1.063	1.94794	55.1954	2.688	2.43492	63.3028
1.094	2.43492	55.1954	2.719	1.94794	63.3028
1.125	2.9219	55.1954	2.75	1.94794	63.3028
1.157	3.40889	55.1954	2.797	1.94794	63.3028
1.188	3.40889	55.1954	2.828	1.94794	63.3028
1.219	3.40889	55.1954	2.86	1.46095	63.3028
1.25	3.89587	55.1954	2.891	1.94794	63.4005
1.282	3.89587	55.1954	2.922	1.94794	63.3028
1.313	4.38286	55.1954	2.953	1.46095	63.3028
1.344	4.38286	55.1954	2.985	1.46095	63.3028
1.375	4.86984	55.1954	3.016	1.46095	63.3028
1.407	5.35683	55.1954	3.047	1.46095	63.3028
1.453	5.35683	55.293	3.078	1.46095	63.3028
1.485	6.33079	55.293	3.11	1.46095	63.3028

Time (sec)	Load kN	Deformation mm			
0.047	0	0	1.469	4.38286	47.293
0.047	0	47	1.5	4.38286	47.293
0.078	0	47	1.531	4.86984	47.293
0.109	0	47.0977	1.563	5.35683	47.3907
0.141	0	47	1.594	6.33079	47.4884
0.172	0	47	1.641	6.33079	47.4884
0.203	0	47	1.672	6.81778	47.4884
0.234	0	47	1.703	6.33079	47.4884
0.281	0	47	1.734	6.81778	47.4884
0.313	0.486984	47	1.766	6.81778	47.4884
0.344	0	47	1.797	6.81778	47.4884
0.375	0	47	1.828	7.30476	47.4884
0.406	0	47	1.859	6.81778	47.4884
0.422	0	47	1.891	7.30476	47.4884
0.453	0	47	1.922	6.81778	47.4884
0.484	0	47	1.953	7.30476	47.4884
0.516	0	47	1.984	7.30476	47.4884
0.547	0	47	2.016	7.79175	47.5861
0.578	0	47	2.047	6.81778	47.8791
0.609	0.486984	47	2.078	6.33079	48.0745
0.641	0	47	2.109	5.35683	48.2698
0.672	0	47.0977	2.141	5.35683	48.2698
0.703	0.486984	47	2.172	4.86984	48.3675
0.734	0.486984	47	2.203	4.86984	48.3675
0.766	0.486984	47	2.234	4.86984	48.3675
0.797	0.486984	47.0977	2.266	4.86984	48.3675
0.828	0.486984	47	2.313	4.38286	48.3675
0.859	0.486984	47.0977	2.344	4.38286	48.3675
0.891	0.486984	47.0977	2.375	4.38286	48.3675
0.922	0.486984	47	2.406	4.38286	48.3675
0.969	0.486984	47	2.438	4.38286	48.3675
1	0.486984	47	2.469	4.38286	48.3675
1.031	0.973968	47.0977	2.5	4.38286	48.4652
1.063	0.486984	47.0977	2.531	4.38286	48.4652
1.094	0.973968	47.293	2.563	4.86984	48.4652
1.125	1.94794	47.293	2.594	5.35683	48.5629
1.156	2.43492	47.293	2.594	5.35683	48.5629
1.188	1.94794	47.293	2.625	5.84381	48.5629
1.219	2.43492	47.293	2.656	5.84381	48.6606
1.25	2.43492	47.293	2.688	5.35683	48.6606
1.281	2.43492	47.293	2.719	5.35683	48.6606
1.313	2.9219	47.293	2.75	5.35683	48.6606
1.344	2.9219	47.293	2.781	5.35683	48.5629
1.375	3.40889	47.293	2.813	5.35683	48.6606
1.406	3.40889	47.293	2.844	5.35683	48.5629
1.438	3.89587	47.293	2.875	5.35683	48.6606
			2.906	5.35683	48.6606
			2.938	5.35683	48.6606
			2.984	5.35683	48.6606
			3.016	5.35683	48.5629
			3.047	5.84381	48.7582
			3.078	6.81778	48.8559
			3.109	7.79175	48.8559
			3.141	3.40889	55.3028

3.172	1.94794	55.2051
3.203	1.94794	54.8144
3.234	1.94794	54.8144
3.266	1.94794	55.1074
3.297	1.94794	55.3028
3.328	1.46095	55.3028
3.359	1.46095	55.3028
3.391	1.94794	55.4005
3.422	1.46095	55.3028
3.453	1.46095	55.4005
3.484	1.46095	55.3028
3.516	1.46095	55.3028
3.547	1.46095	55.3028
3.578	1.46095	55.4005

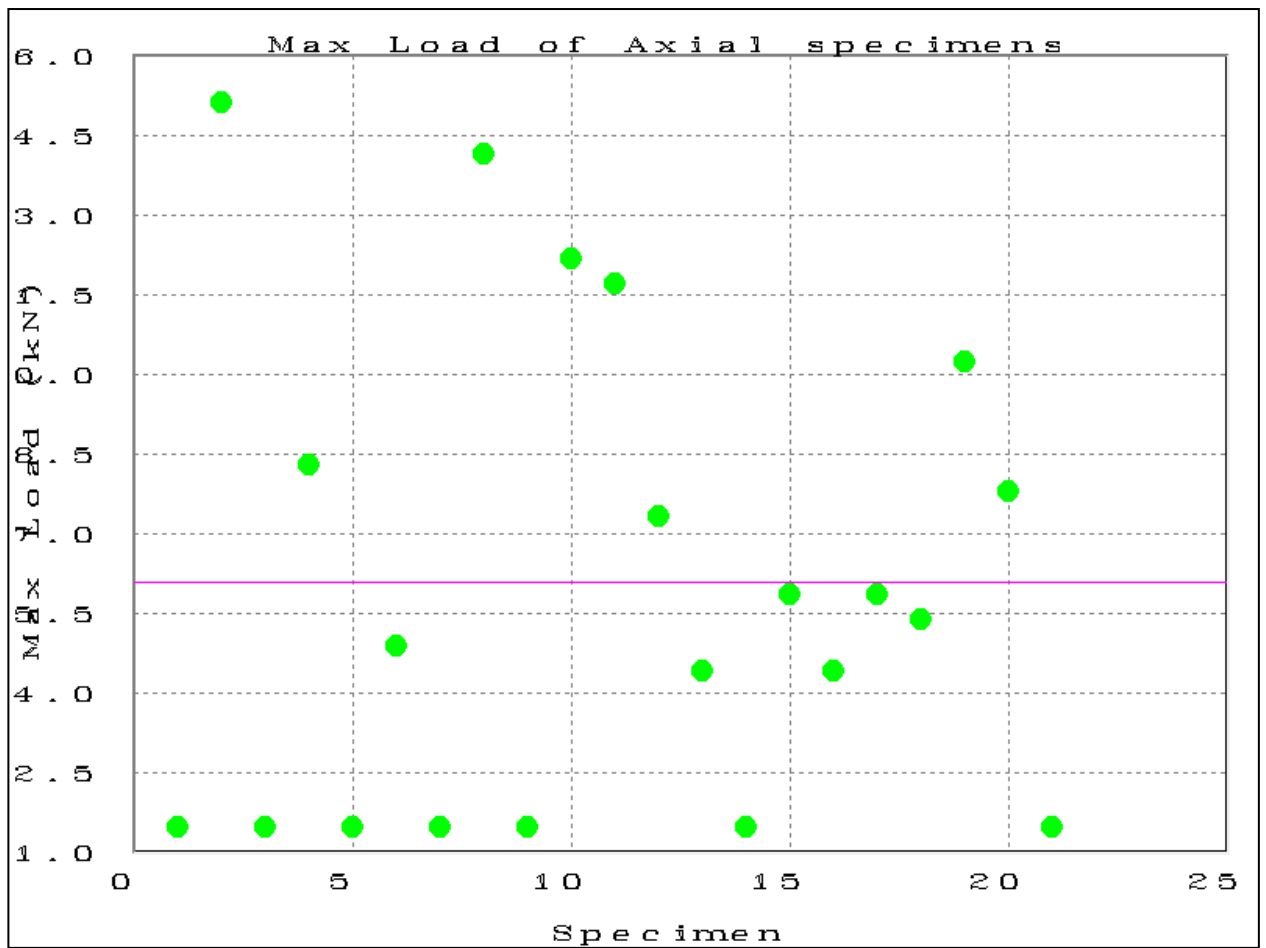
TIME (SEC)	LOAD KN	DEFORMATION MM
0.047	0	0
0.047	0	45
0.078	0	45
0.109	0	45
0.14	0	45
0.172	0.486984	45
0.203	0	45
0.234	0	44.9023
0.265	0	44.9023
0.297	0	44.9023
0.328	0	45
0.375	0	45
0.406	0	45
0.422	0	45
0.453	0	45
0.484	0	45
0.515	0	44.9023
0.562	0	45
0.594	0	44.9023
0.625	0	45
0.656	0	45
0.687	0	45
0.719	0	44.9023
0.75	0.486984	45
0.781	0	44.9023
0.812	0	45
0.844	0	44.9023
0.875	0	45
0.906	0	45
0.937	0	45
0.969	0	45
1	0	45
1.031	0	45
1.062	0.486984	45
1.094	0	45
1.125	0.486984	45
1.156	0.486984	45
1.187	0.486984	45
1.234	0.486984	45
1.265	0.486984	45
1.297	0.486984	45
1.328	0.486984	45
1.359	0.486984	45
1.39	0.486984	45
1.422	0.486984	45
1.453	0.486984	45
1.484	0.486984	45
1.515	0.486984	45
1.547	0.486984	45
1.578	0.486984	45
1.609	0.486984	45.0977
1.64	0.973968	45.1954
1.672	1.46095	45.3907
1.703	1.46095	49.884



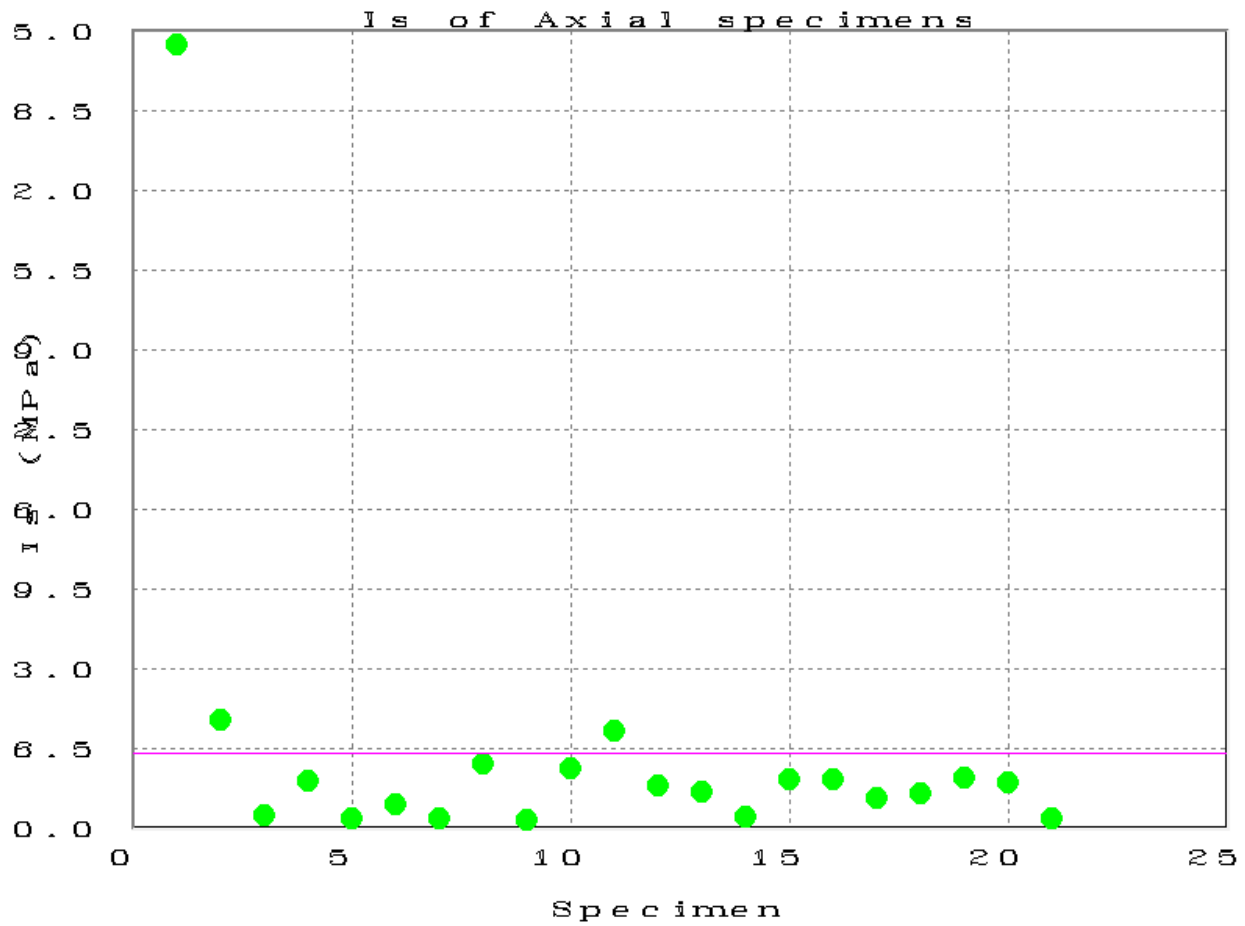
PROJECT:	TESIS BERNAL & CHEIK	1.531	0.486984	45.1954	
SAMPLE:	VE 60 1	1.563	0.973968	45.1954	
SPECIMEN:	1	1.594	0.486984	45.1954	
# OF DATA POINTS:	91	1.625	0.486984	45.1954	
		1.656	0.973968	45.1954	
Time	Load	Deformation			
(sec)	kN	mm			
0.031	0	45	1.688	0.973968	45.1954
0.094	0	45	1.719	0.973968	45.1954
0.125	0.486984	45	1.75	0.486984	45.1954
0.156	0	45	1.781	0.486984	45.1954
0.188	0	45	1.813	0.973968	45.1954
0.219	0	45	1.844	0.973968	45.1954
0.25	0.486984	45	1.875	0.486984	45.1954
0.281	0	45	1.906	0.486984	45.1954
0.313	0	45	1.938	0.973968	45.293
0.344	0	45	1.969	0.973968	45.3907
0.375	0.486984	45	2	0.973968	45.3907
0.422	0	45	2.031	1.46095	45.4884
0.453	0	45	2.063	1.46095	45.5861
0.469	0	45	2.094	1.46095	45.5861
0.5	0	45	2.125	1.46095	45.5861
0.531	0.486984	45	2.156	1.46095	45.5861
0.563	0.486984	45	2.203	1.46095	45.6838
0.594	0.486984	45	2.234	1.94794	45.6838
0.625	0	45	2.266	1.94794	45.6838
0.656	0.486984	45	2.297	1.94794	45.6838
0.688	0	45.0977	2.328	1.94794	45.6838
0.719	0	45.0977	2.359	2.43492	45.6838
0.75	0	45	2.391	2.43492	45.6838
0.781	0.486984	45	2.422	2.43492	45.6838
0.813	0	45	2.453	2.43492	45.6838
0.844	0.486984	45	2.484	2.43492	45.6838
0.891	0.486984	45	2.516	2.43492	45.6838
0.922	0.486984	45	2.547	2.43492	45.6838
0.953	0.486984	45.0977	2.578	2.43492	45.6838
0.984	0.486984	45.0977	2.609	2.43492	45.6838
1.016	0	45.0977	2.641	2.43492	45.7814
1.047	0.486984	45.0977	2.672	2.9219	45.7814
1.078	0	45.0977	2.703	2.43492	45.7814
1.109	0.486984	45.0977	2.734	2.43492	48.7118
1.141	0.486984	45.0977	2.766	1.46095	53.2051
1.172	0.486984	45.0977	2.797	1.46095	53.6935
1.203	0.486984	45.0977	2.828	1.46095	53.6935
1.234	0.486984	45.0977	2.875	1.46095	53.7912
1.266	0.486984	45.0977	2.906	1.46095	53.6935
1.297	0.486984	45.1954	2.938	1.46095	53.7912
1.328	0.486984	45.1954			
1.359	0.486984	45.1954			
1.391	0.486984	45.1954			
1.422	0.486984	45.1954			
1.453	0.486984	45.1954			
1.484	0.486984	45.1954			



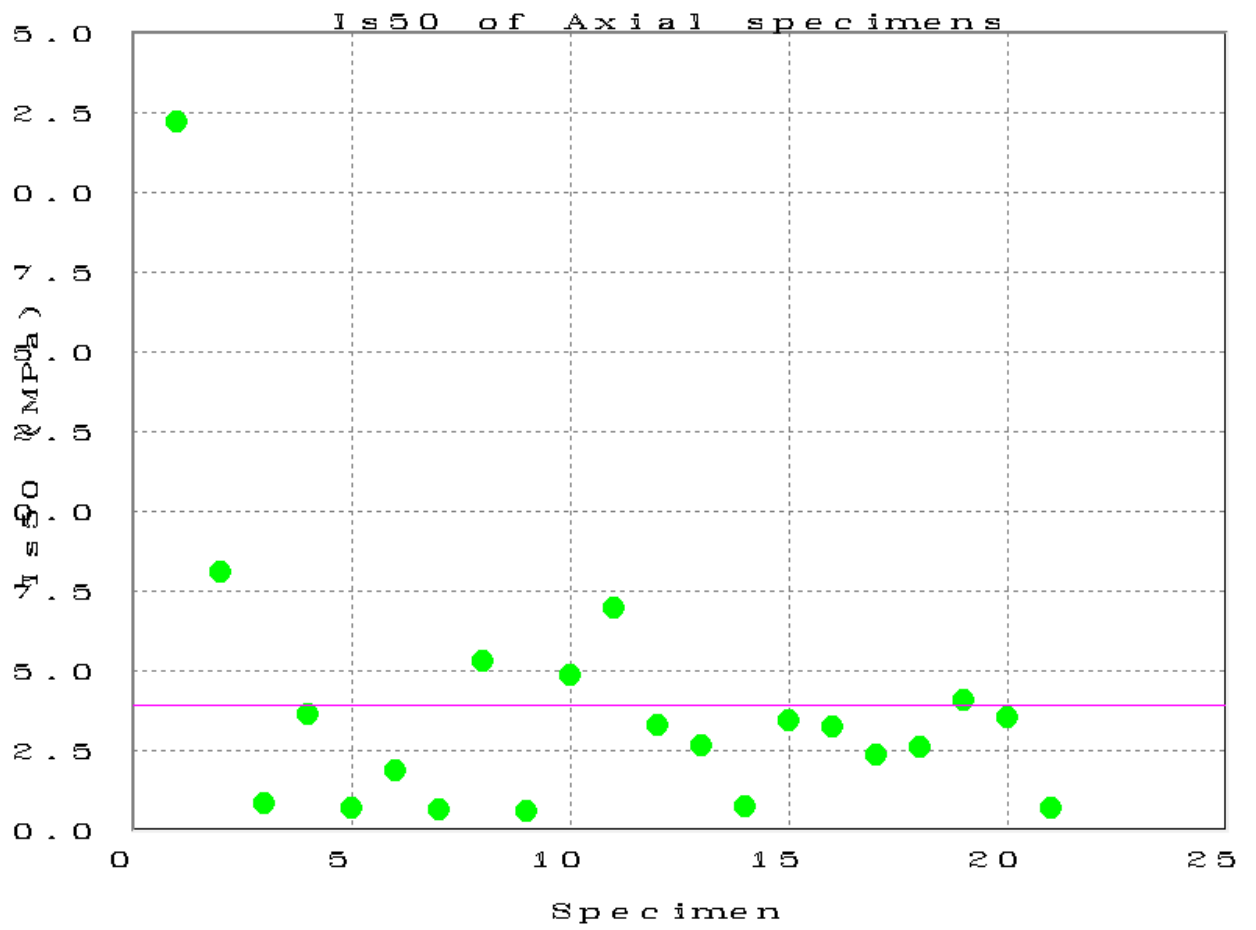
GRAFICO PARA CARGA PUNTUAL. MAX AXIAL LOAD



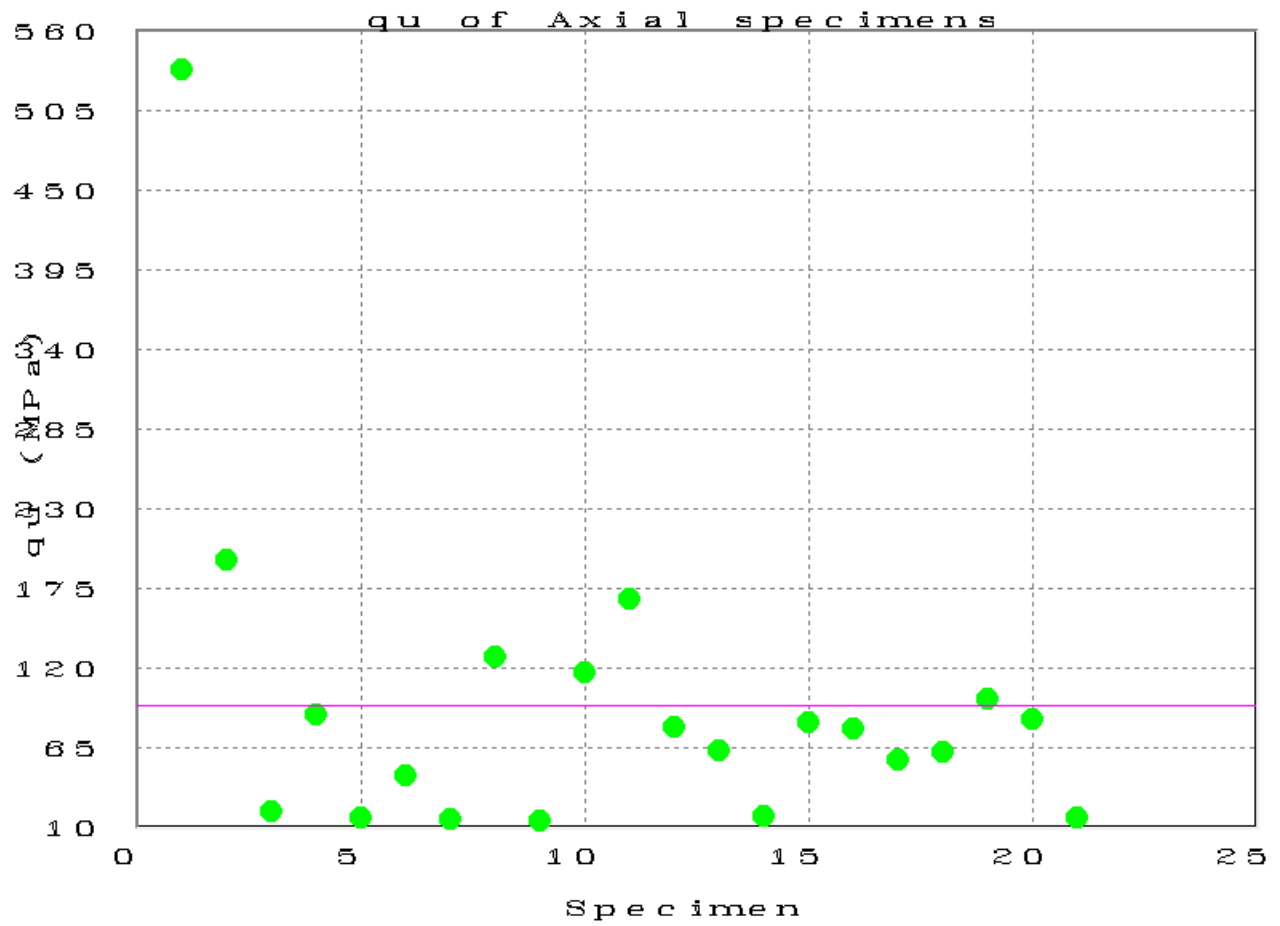
Grafica N° 89



Grafica N° 90



Grafica N° 91



Grafica N° 92

8.6. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Project: tesis Josse

Customer: _ODRA BERNAL

Sample: TT-4-2

Test: Direct Shear

Specimen: 1

Number: 1

Description: CORTE DIRECTO CARGA NORMAL 60 KN

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Phases: 1

Duration: 190.5 (sec) => 3.18 (min) => 03:10

Shear Displacement (mm)

Max: 4.994185

Min: -0.004682

Range: 4.998868

Initial: 0.000000

End 4.685171

T - Shear Stress (kPa)

Max: 9600.24

Min: 7.84

Range: 9592.40

Initial: 11.76

End 3141.29

Normal Box Avg. Disp (mm)

Max: 0.7636

Min: -0.0501

Range: 0.8137

Initial: -0.0501

End 0.7636

Sn - Normal Stress (kPa)

Max: 12878.75

Min: -19.58

Range: 12898.33

Initial: -19.58

End 12829.81

Normal Load (kN)

Max: 60.233921

Min: -0.091564

Range: 60.325485

Initial: -0.091564

End 60.005013

Normal Act. Displ. (mm)

Max: 1.839727
Min: -0.006240
Range: 1.845967
Initial: -0.006240
End 1.839727

Shear Load (kN)

Max: 44.900322
Min: 0.036661
Range: 44.863659
Initial: 0.054991
End 14.691816

Data Points (Rows): 361

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: tesis Josse
Customer: _ODRA BERNAL

Sample: TT-4-2

Test: Direct Shear

Specimen: 2

Number: 2

Description: CARGA NORMAL 180 k

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Phases: 1

Duration: 186.7 (sec) => 3.11 (min) => 03:06

Shear Displacement (mm)

Max: 4.948926

Min: -0.135779

Range: 5.084705

Initial: 0.000000

End 4.760083

T - Shear Stress (kPa)

Max: 4031.62

Min: -9.86

Range: 4041.48

Initial: -0.52

End 3122.70

Normal Box Avg. Disp (mm)

Max: 1.4655

Min: -0.0491

Range: 1.5146

Initial: -0.0491

End 1.4655

Sn - Normal Stress (kPa)

Max: 10436.96

Min: 0.00

Range: 10436.96

Initial: 0.00

End 10428.20

Normal Load (kN)

Max: 180.350769

Min: 0.000000

Range: 180.350769

Initial: 0.000000

End 179.999771

Normal Act. Displ. (mm)

Max: 2.594966

Min: -0.004683
Range: 2.599649
Initial: -0.004683
End 2.594966

Shear Load (kN)

Max: 69.902985
Min: -0.174140
Range: 70.077126
Initial: -0.009165
End 53.900547

Data Points (Rows): 357

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: tesis Josse
Customer: _ODRA BERNAL

Sample: TT-4-2

Test: Direct Shear

Specimen: 3

Number: 3

Description: CARGA NORMAL 250kN

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Phases: 1

Duration: 185.5 (sec) => 3.09 (min) => 03:05

Shear Displacement (mm)

Max: 4.934880

Min: -0.065549

Range: 5.000428

Initial: 0.073352

End 4.775690

T - Shear Stress (kPa)

Max: 15584.96

Min: -401.72

Range: 15986.68

Initial: -37.23

End 12725.85

Normal Box Avg. Disp (mm)

Max: 1.4417

Min: -0.0552

Range: 1.4969

Initial: -0.0552

End 1.4411

Sn - Normal Stress (kPa)

Max: 49250.54

Min: 6.53

Range: 49244.01

Initial: 6.53

End 49182.02

Normal Load (kN)

Max: 230.344772

Min: 0.030521

Range: 230.314255

Initial: 0.030521

End 230.024292

Normal Act. Displ. (mm)

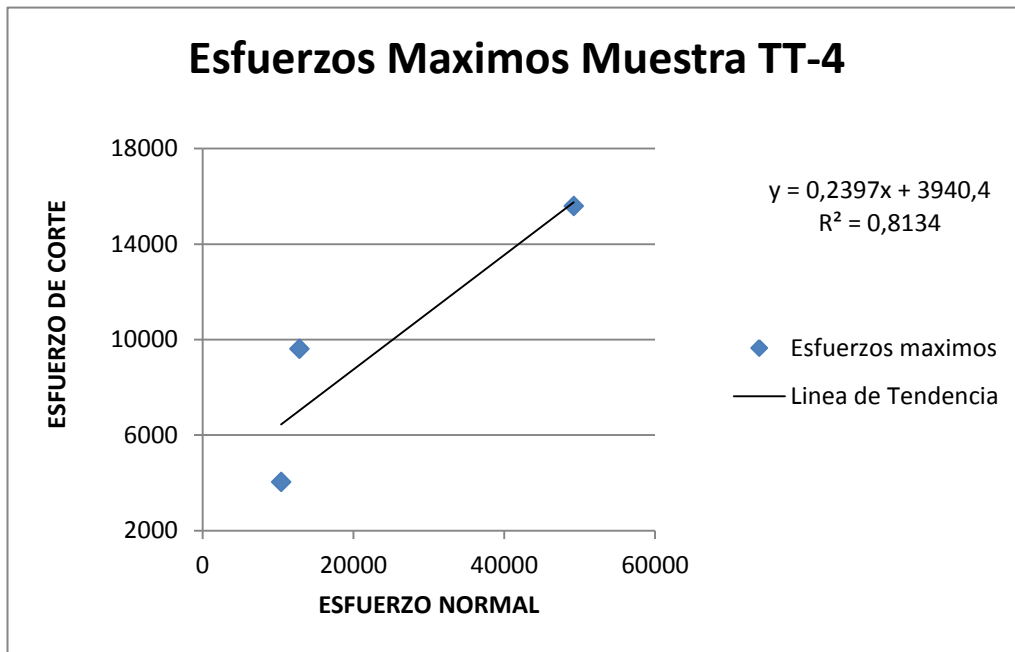
Max: 2.927329

Min: 0.040568
Range: 2.886761
Initial: 0.040568
End 2.925772

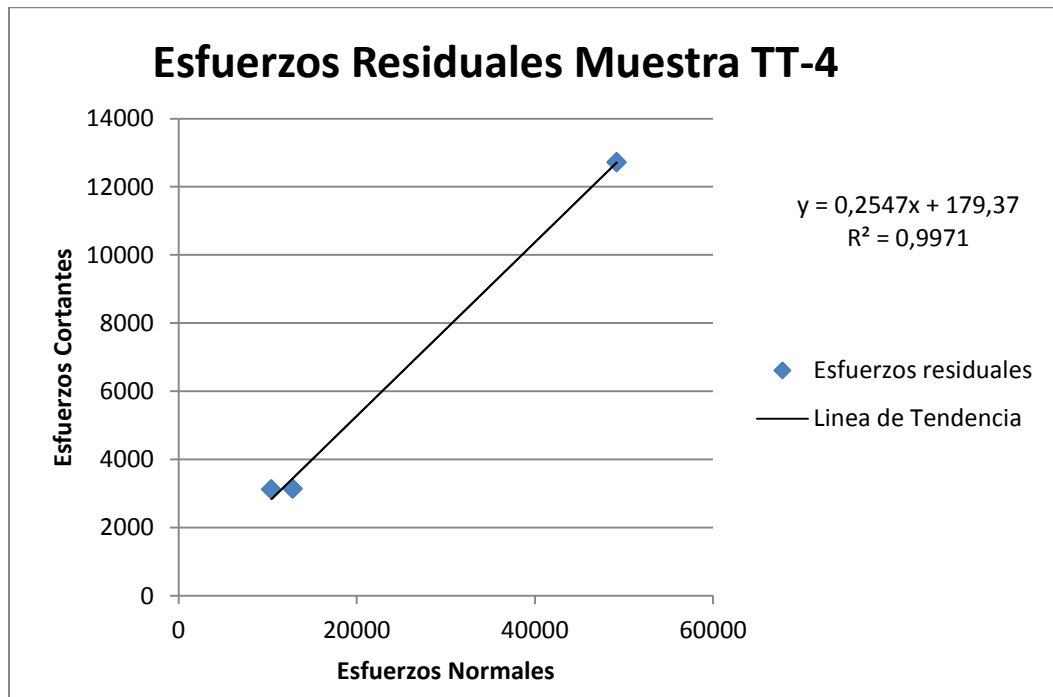
Shear Load (kN)

Max: 72.890839
Min: -1.878866
Range: 74.769707
Initial: -0.174140
End 59.518814

Data Points (Rows): 348

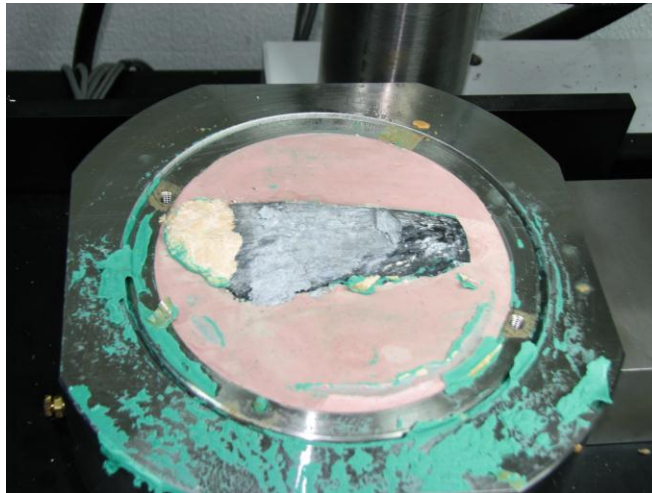
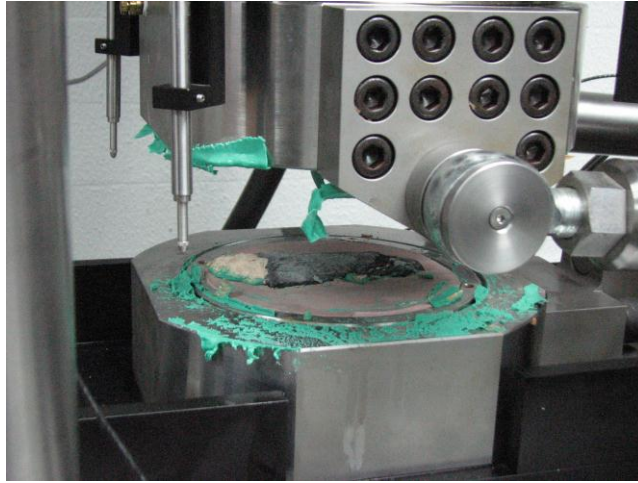


Grafica N° 93



Grafica N°94





Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: tesis Josse
Customer: _ODRA BERNAL
Sample: VT-42
Test: Direct Shear
Specimen: Carga 40kN
Test Results: Stopped by User
Stages: 1
Stage Index: 1
Type: Universal
Phases: 1
Duration: 185.9 (sec) => 3.10 (min) => 03:05

Shear Displacement (mm)

Max: 5.009792
Min: -0.001561
Range: 5.011353
Initial: -0.001561
End 4.824072

T - Shear Stress (kPa)

Max: 15033.69
Min: 0.00
Range: 15033.69
Initial: 0.00
End 7801.96

Normal Box Avg. Disp (mm)

Max: 0.5524
Min: -0.0467
Range: 0.5991
Initial: -0.0467
End 0.5453

Sn - Normal Stress (kPa)

Max: 18643.44
Min: -29.44
Range: 18672.88
Initial: -29.44
End 12990.79

Normal Load (kN)

Max: 38.655312
Min: -0.061042
Range: 38.716354
Initial: -0.061042
End 26.935108

Normal Act. Displ. (mm)

Max: 0.000000
Min: 0.000000
Range: 0.000000

Initial: 0.000000

End 0.000000

Shear Load (kN)

Max: 31.170847

Min: 0.000000

Range: 31.170847

Initial: 0.000000

End 16.176579

Data Points (Rows): 351

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: tesis Josse
Customer: _ODRA BERNAL

Sample: VT-42

Test: Direct Shear

Specimen: Carga 80kN

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Phases: 1

Duration: 184.2 (sec) => 3.07 (min) => 03:04

Shear Displacement (mm)

Max: 4.981700

Min: -0.014046

Range: 4.995746

Initial: -0.010925

End 4.869331

T - Shear Stress (kPa)

Max: 9592.21

Min: -212.18

Range: 9804.39

Initial: -48.62

End 6754.33

Normal Box Avg. Disp (mm)

Max: 0.4790

Min: -0.0487

Range: 0.5277

Initial: -0.0487

End 0.3928

Sn - Normal Stress (kPa)

Max: 11334.74

Min: -29.44

Range: 11364.18

Initial: -14.72

End 10576.64

Normal Load (kN)

Max: 23.501453

Min: -0.061042

Range: 23.562496

Initial: -0.030521

End 21.929604

Normal Act. Displ. (mm)

Max: 5.991981

Min: -0.003122

Range: 5.995102

Initial: -0.003122

End 5.991981

Shear Load (kN)

Max: 19.888487

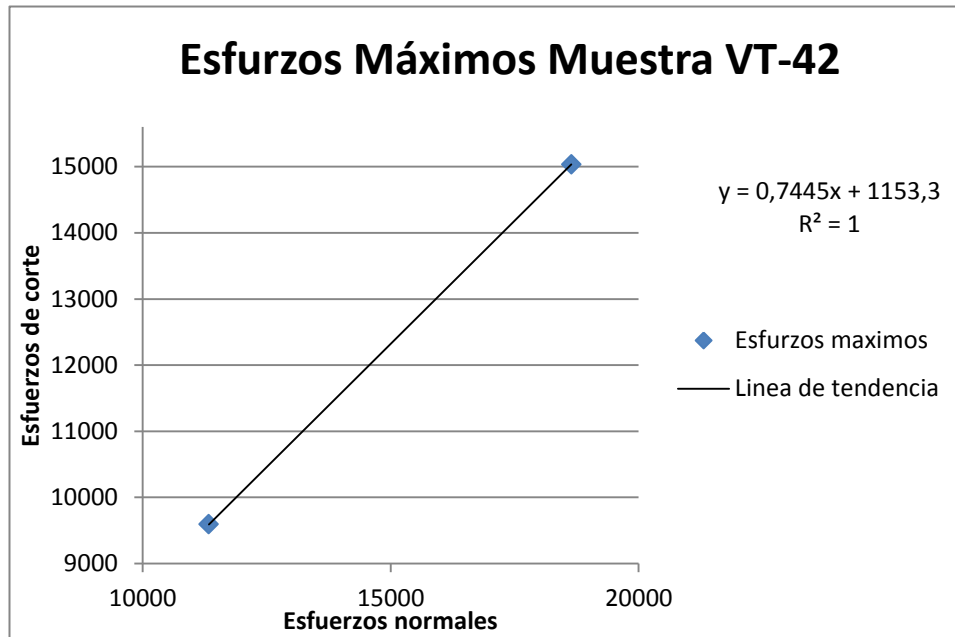
Min: -0.439929

Range: 20.328415

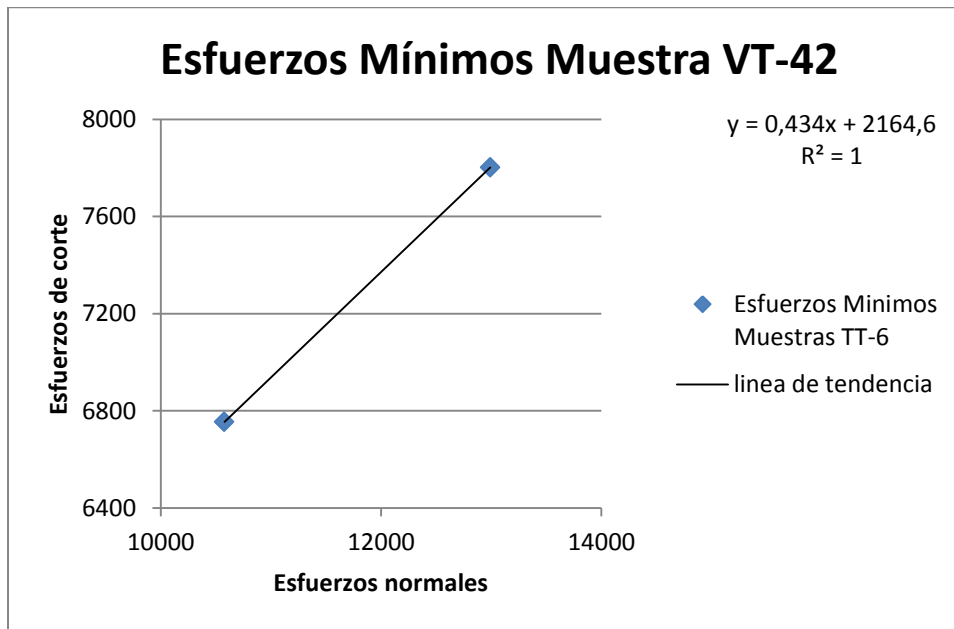
Initial: -0.100816

End 14.004428

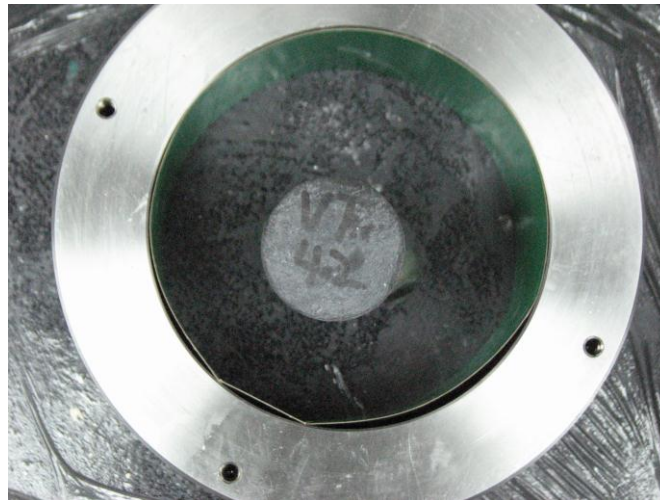
Data Points (Rows): 352



Grafica N° 95



Grafica N° 96



Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Project: tesis Josse&Bernal

Customer: _ODRA BERNAL

Sample: VE55

Test: Direct Shear

Specimen: 1

Number: 1

Description: Corte Directo 40kN

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Phases: 1

Duration: 186.9 (sec) => 3.12 (min) => 03:06

Shear Displacement (mm)

Max: 4.989503

Min: -0.010925

Range: 5.000428

Initial: 0.028092

End 4.767887

T - Shear Stress (kPa)

Max: 11276.83

Min: -216.65

Range: 11493.48

Initial: 79.27

End 5711.72

Normal Box Avg. Disp (mm)

Max: 2.0901

Min: -0.0402

Range: 2.1302

Initial: -0.0402

End 2.0901

Sn - Normal Stress (kPa)

Max: 24803.50

Min: 131.99

Range: 24671.50

Initial: 131.99

End 24719.51

Normal Load (kN)

Max: 40.227161

Min: 0.228910

Range: 39.998249

Initial: 0.228910

End 39.982994

Normal Act. Displ. (mm)

Max: 2.939816

Min: 0.032768
Range: 2.907049
Initial: 0.032768
End 2.939816

Shear Load (kN)

Max: 18.192923
Min: -0.375773
Range: 18.568695
Initial: 0.137479
End 9.238522

Data Points (Rows): 354

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Project: tesis Josse&Bernal

Customer: _ODRA BERNAL

Sample: VE55

Test: Direct Shear

Specimen: 2

Number: 2

Description: Corte Directo 80kN

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Phases: 1

Duration: 244.9 (sec) => 4.08 (min) => 04:04

Shear Displacement (mm)

Max: 6.996542

Min: -0.009364

Range: 7.005906

Initial: 0.000000

End 6.851398

T - Shear Stress (kPa)

Max: 17193.36

Min: -644.53

Range: 17837.89

Initial: 10.57

End 10599.94

Normal Box Avg. Disp (mm)

Max: 2.0781

Min: -0.0486

Range: 2.1267

Initial: -0.0479

End 2.0781

Sn - Normal Stress (kPa)

Max: 51205.28

Min: -8.80

Range: 51214.07

Initial: 8.80

End 51077.69

Normal Load (kN)

Max: 80.378021

Min: -0.015260

Range: 80.393280

Initial: 0.015261

End 79.981239

Normal Act. Displ. (mm)

Max: 9.339068

Min: -0.003122
Range: 9.342190
Initial: -0.003122
End 9.339068

Shear Load (kN)

Max: 27.431444
Min: -1.118155
Range: 28.549597
Initial: 0.018331
End 16.598175

Data Points (Rows): 474

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Project: tesis Josse&Bernal

Customer: _ODRA BERNAL

Sample: VE55

Test: Direct Shear

Specimen: 3

Number: 3

Description: Corte Directo 160kN

Container ID: _

Type: Cylindrical

Height: 66.500 (mm)

Diameter: 47.000 (mm)

Shear Surface Area: Circular

Starting Date: 01/11/03

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Phases: 1

Duration: 265.6 (sec) => 4.43 (min) => 04:25

Shear Displacement (mm)

Max: 7.847115

Min: -0.006243

Range: 7.853357

Initial: 0.000000

End 7.847115

T - Shear Stress (kPa)

Max: 20787.08

Min: -565.25

Range: 21352.33

Initial: 5.28

End 20553.14

Normal Box Avg. Disp (mm)

Max: 2.8641

Min: -0.0484

Range: 2.9125

Initial: -0.0480

End 2.8641

Sn - Normal Stress (kPa)

Max: 103825.69

Min: 0.00

Range: 103825.69

Initial: 8.80

End 103825.69

Normal Load (kN)

Max: 160.267700

Min: 0.000000
Range: 160.267700
Initial: 0.015261
End 160.008270

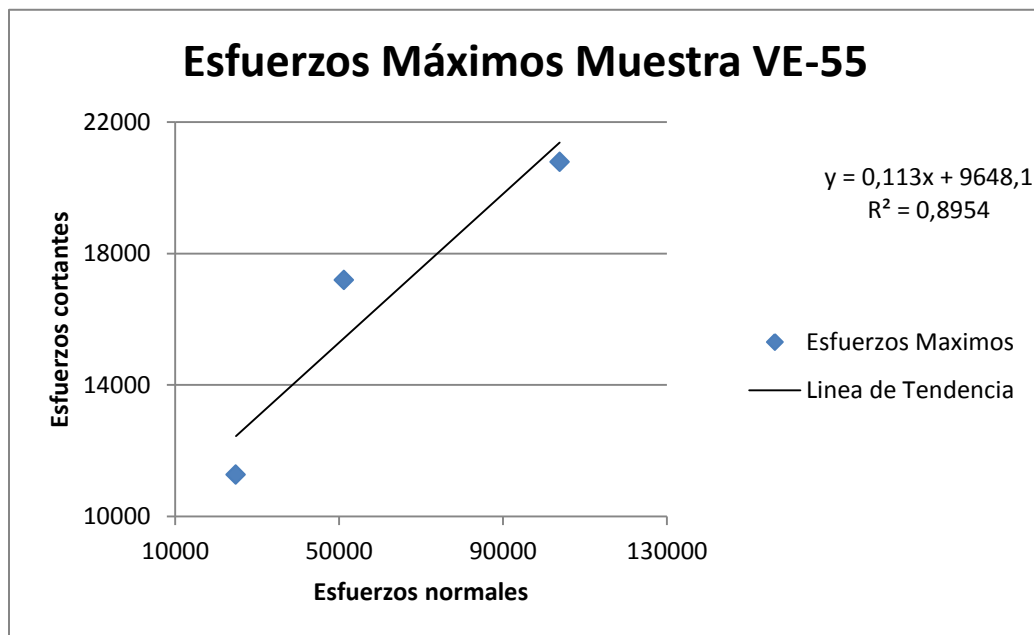
Normal Act. Displ. (mm)

Max: 4.910618
Min: 0.000000
Range: 4.910618
Initial: 0.000000
End 4.910618

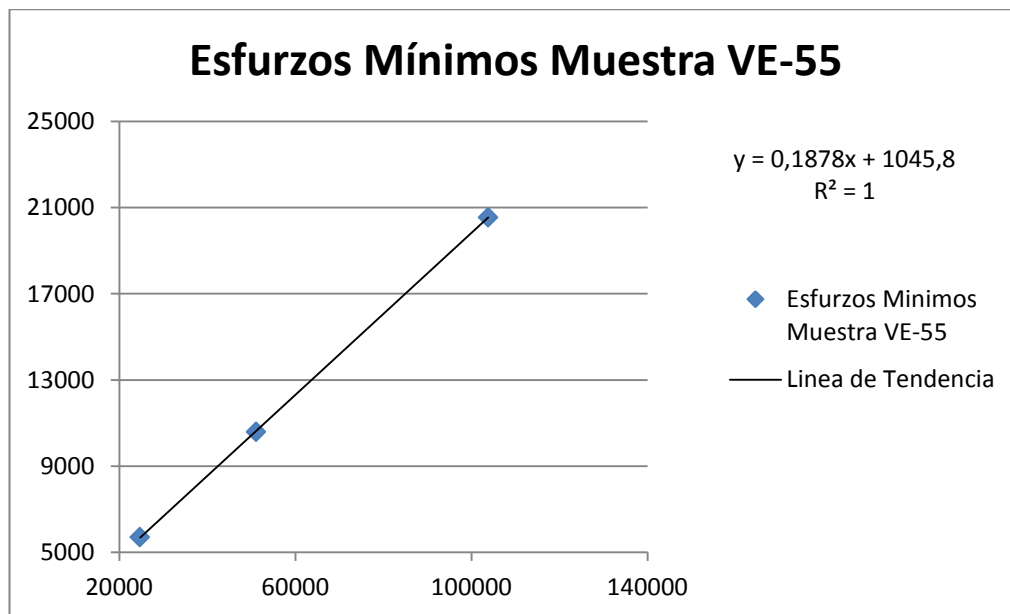
Shear Load (kN)

Max: 32.444809
Min: -0.980677
Range: 33.425484
Initial: 0.009165
End 31.674934

Data Points (Rows): 516



Grafica N° 97



Grafica N° 98



9. ANALISIS DE RESULTADOS

9.1. FORMACIÓN CHUSPITA

Analisis de Petrografías Y Difracciones de Rayos X

Muestra TT-1

En campo se observaron Rocas duras meteorizadas formadas por intercalaciones de filitas cuarzo-sericiticas, filitas grafitosas, esquistos micáceos grafitosos calcáreos y cuarcitas delgadas, toda la secuencia se mostraba con abundantes vetas de cuarzo, paralelas y transversales a los planos de foliación, la recuperación fue del 40%

El espécimen de roca seleccionado para sección fina y ensayos fue tomado a una profundidad de 28m, los análisis petrográficos la clasifican como una Filita y su origen se debe a un metamorfismo de bajo grado.

Comparando estos resultados con el análisis de difracción de rayos x (gráfica 2) obtuvimos que el elemento mayoritario era el Cuarzo y en segundo lugar la Moscovita, al igual que el análisis petrográfico. Todas estas consideraciones y la ubicación de la muestra nos llevan a concluir que esta muestra corresponde a la formación Chuspita (ver figura 36)

Muestra TT-4

En campo se observaron Rocas duras meteorizadas formadas por intercalaciones de filitas cuarzo-sericiticas, filitas grafitosas, esquistos micáceos grafitosos calcáreos y cuarcitas delgadas toda la secuencia con abundantes vetas de cuarzo paralelas y transversales a los planos de foliación, La recuperación fue del 30%

El espécimen de roca seleccionado Para los ensayos fue extraído a una profundidad de 26.5m, fue clasificado como una Metarenisca según el análisis petrográfico; el análisis de difracción de rayos x (gráfica 3) demuestra que el contenido mineralógico es mayoritariamente cuarzo, al igual que el análisis petrografico.

Debe su origen a un metamorfismo de bajo grado. Todos estos resultados aunados a la ubicación de la perforación nos llevan a concluir que este espécimen pertenece a la formación Chuspita.

Muestra TT-5

Observaciones de campo: Rocas duras meteorizadas formadas por intercalaciones de filitas cuarzo-sericiticas, filitas grafitosas, esquistos micáceos grafitosos calcáreos y cuarcitas delgadas toda la secuencia con abundantes vetas de cuarzo paralelas y transversales a los planos de foliación.

El espécimen de roca seleccionado para los ensayos fue extraído a una profundidad de 29m fue clasificado como un Esquisto Cuarzo Calcáreo según el análisis petrográfico.



El contenido de difracción de rayos x (gráfica 4) comprueba que el componente mayoritario es el cuarzo Este ejemplar debe su origen a un metamorfismo de bajo grado

Todos estos resultados aunados a la ubicación de la perforación nos llevan a concluir que este espécimen pertenece a la formación Chuspita

Muestra TT-6

Se encontraron Esquistos cuarzo calcáreos sericiticos grafitosos con vetas de calcita y cuarzo muy replegado y meteorizado.

El análisis petrográfico de este espécimen lo clasifica como un Esquisto Cuarzo Micáceo con una textura granoblástica, lo que significa un mosaico equi- o inequigranular de cristales equidimensionales o de cristales inequidimensionales con orientación al azar, con un origen metamórfico de bajo grado.

Esta muestra fue extraída a una profundidad de 18m. El análisis de difracción (gráfica 5) comprueba una vez más el resultado petrográfico. Obteniéndose picos representativos en los contenidos de cuarzo y calcita de la muestra. Esta muestra también fue enmarcada dentro de la formación Chuspita.



Muestra TT-12

Se observaron esquistos cuarzo calcáreos sericiticos grafitosos con vetas de calcita y cuarzo muy replegado y meteorizado.

El espécimen de roca seleccionado para los ensayos fue extraído a una profundidad de 24m. Fue clasificado como un Esquisto Cuarzo Feldespático, los resultados de las difracciones (Gráfica 6) comprueban estos resultados; con un primer pico de cuarzo y otros accesorios de feldespatos de calcio. Presenta textura Lepidoblástica que son texturas anisótropas. La orientación preferente de minerales viene dada por la disposición subparalela de minerales planares (normalmente filosilicatos). El origen de esta roca es un metamorfismo de bajo grado. Esta muestra también fue enmarcada dentro de la formación Chuspita.

Muestra TT-37

En campo las muestras tomadas al norte a 800m del trazado de la ruta, comprende la FM Chuspita de oeste a este mármol cuarzo feldespático, esquisto cuarzo-feldespático-biotíticos y granofels calcítico-feldespático-cuarzoso-micáceo con pirita.

Esta muestra fue clasificada de acuerdo al análisis petrográfico como un Mármol. Fue extraída de una profundidad de 2m. Los resultados de difracción de rayos x (Gráfica 7) corresponden con los resultados obtenidos petrográficamente.

La textura característica es granoblástica esta textura no direccional, posee arreglo desordenado de los componentes. También se caracteriza por presentar cristales equidimensionales, los cuales son generalmente xenoblastos, es típica de metamorfismo de contacto, aunque se puede presentar en algunas rocas de metamorfismo regional como es el caso de algunos mármoles. Su origen es de metamorfismo de grado medio, y fue enmarcada dentro de la Formación Chuspita. Muestra



VT-42

En campo se observaron Filitas cuarzo grafitosas con diferentes grados de meteorización, mármoles, rocas de granulometría más fina, por lo que se tienen pizarras de composiciones feldespato-micáceas cuarzosas y filitas cuarzo-feldespáticas-micáceas-calcíticas.

Esta muestra fue tomada de una profundidad de 31.5m Fue clasificada con el análisis petrográfico como un Mármol Bandeado con un contenido de 70% de calcita, lo que fue confirmado con el análisis de difracción de rayos x adicionalmente el componente secundario es el cuarzo con una variación del 10% con respecto del análisis de DRX.

En general los resultados obtenidos en esta muestra en cuanto a petrografía y difracción corresponden, es decir los valores obtenidos en ambos ensayos son prácticamente iguales. Posee una textura granonematoblastica, que son texturas formadas por bandas granoblásticas y bandas nematoblásticas. Textura típica de algunas anfibolitas. Su origen se debe a un metamorfismo de bajo grado. Y se asocia a la formación Chuspita.



Muestra VT-44

En campo se observaron Filitas cuarzo grafitosas con diferentes grados de meteorización Rocas de granulometría más fina, por lo que se tienen pizarras de composición feldespato-micáceas cuarzosas y filitas cuarzo-feldespáticas-micáceas-calcíticas.

Esta muestra fue tomada a una profundidad de 19m fue clasificada en el análisis petrográfico como un Esquisto Cuarzo Carbonatico lo cual corresponde con los análisis petrográficos como elemento mayoritario el cuarzo y como segundo componente la calcita. Debe su origen a un metamorfismo de bajo grado y se asocia con la formación Chuspita.



Muestra VE-55

En campo se observaron Rocas filíticas esquistas con abundante clorita y grafito, meteorizado y relativamente blandas metareniscas con filitas oscuras y mármoles en menor proporción. En muestra de mano, la muestra presenta una coloración verdosa de hábito fibroso

Esta muestra fue extraída a una profundidad de 35m el análisis petrográfico la clasifica como un Mármol con texturas granoblásticas. Las proporciones de los elementos presentes en la muestra se comprueban con los análisis de difracción de rayos x aplicados al espécimen. Se ubica dentro de la formación Chuspita. Debe su origen a un metamorfismo de bajo grado.

Muestra VE-56

En campo se observaron rocas filíticas esquistas con abundante clorita y grafito, meteorizado y relativamente blandas .Metareniscas con filitas oscuras y mármoles en menor proporción. En muestra de mano, la muestra presenta una coloración verdosa de hábito fibroso.

Esta muestra se extrajo de una profundidad de 43 m

La muestra se clasifico petrográficamente como un Esquisto Cuarzo Micáceo, con un metamorfismo de grado bajo y texturas Granolepidonematoblástica, los resultados de difracción confirman la proporción de los elementos de la muestra. De acuerdo a la ubicación y el contenido mineralógico característico se ubicó dentro de la formación Chuspita.



Muestra VE-60

Las observaciones de campo fueron Rocas filíticas esquistas con abundante clorita y grafito, meteorizado y relativamente blandas Metareniscas con filitas oscuras y mármoles en menor proporción En muestra de mano, la muestra presenta una coloración verdosa de hábito fibroso.

La muestra para el análisis petrográfico fue extraída de una profundidad de 30m y no corresponde con la foto. El análisis petrográfico clasifica la muestra como un Esquisto Cuarzo Grafitoso

Los resultados del análisis de difracción de rayos x muestran concordancias con los datos de petrografía aunque no son exactos. De acuerdo a la ubicación y los resultados obtenidos esta muestra se clasifica dentro de la formación Chuspita.



Análisis de compresión simple

Muestra TT-4

Esta muestra fue clasificada como una Metarenisca. Los resultados obtenidos mediante el ensayo de compresión aportaron una gráfica del comportamiento de este material en respuesta a la carga axial ejercida sobre este espécimen.

La Gráfica 24, muestra un comportamiento en el que se pueden observar tres estados de comportamiento diferente del material; clasificándose de la siguiente manera.

El primer estado evidencia un comportamiento de acoplamiento tipo elástico en el material. Esta etapa tiene una duración relativamente prolongada en el tiempo alcanzando un valor de 6kN con un desplazamiento axial de 0.4mm.

La segunda etapa o estado, tiene un comportamiento tipo plástico, donde el material sufre un reacondicionamiento de su estructura interna y cierre de microfisuras, en esta etapa no existe un aumento importante en la carga aplicada pero sí existe un aumento importante en el desplazamiento alcanzando con un aumento de 0.5mm de desplazamiento con apenas 3kN.

La tercera etapa representa un estado de microfracturación donde el material comienza a soportar carga hasta llegar al punto de rotura, que corresponde a la carga última del material.

El punto máximo se alcanza a los 44.2 kN con un desplazamiento axial de 0.52mm.

Muestra TT-5

Esta muestra clasificada como un esquisto cuarzo calcáreo.

La Gráfica 26 perteneciente a esta muestra para el ensayo de compresión simple, nos deja ver la etapa de carga y microfracturación de una manera más amplia, ya que esta nos deja ver dos cierres de microfracturas. Una a los 52kN donde falla, disminuye el valor de la carga, pero vuelve a aumentar, posterior a esto vuelve a fallar a los 60kN, se repite el descenso de carga, aumenta una vez más, para luego obtener la falla final a un valor de carga última de 63kN.

Este comportamiento corresponde a una roca heterogénea con una dureza añadida por los materiales que la conforman.

Muestra TT-37

Esta muestra Clasificada en el análisis petrográfico como un mármol y cuyo resultado se muestra en la Gráfica 30, muestra un comportamiento que podemos dividir en dos etapas o estados del material, una primera etapa donde se aplica la carga normal y el espécimen comienza a reajustar su estructura interna y cierra microfisuras o espacios poroso, con un comportamiento plástico, esto se ve evidenciado en un quiebre abrupto el cual alcanza los 52kN, cambiando de estado para comenzar una nueva fase donde el material tiene un comportamiento de carga continua en donde su estructura interna comienza a microfracturarse hasta llegar a la máxima carga admisible y fallar.

Muestra VE-60

La muestra fue clasificada como un esquisto cuarzo-Grafitoso-micáceo.

La orientación de los planos de foliación de esta muestra eran perpendiculares a la dirección de esfuerzos aunado a esto el contenido micáceo, nos da como resultado la gráfica 36 objeto de este análisis.

Esta Gráfica nos deja ver un comportamiento prácticamente dúctil en todo su recorrido aunque se diferencian las tres etapas clásicas para este tipo de muestra.

En la primera etapa de acoplamiento tiene un comportamiento en el cual el espécimen se amolda al esfuerzo aplicado hasta los 8kN.

Se diferencia también un estado plástico donde el material sufre un reacomodo su estructura interna cerrando microfisuras y espacios porosos así como la absorción de energía por parte de las micas.

La tercera etapa nos muestra efectivamente un aumento significativo de la carga, ejercida sobre el material, la cual se caracteriza por la microfracturación interna hasta alcanzar la carga ultima del materia que en este caso alcanzo los 90kN.

Muestra VT-42

La muestra corresponde a un mármol bandeado. Una vez obtenida la gráfica 32 del ensayo de compresión simple, se observa que la respuesta obtenida se divide en tres etapas características.

La primera etapa va desde 2 hasta 7kN en un tiempo 5seg. Y un desplazamiento axial de 0,1mm esta etapa es la respuesta de la deformación elástica del material.

La segunda etapa alcanza los 8kN y los 2.5mm de desplazamientos, la cual supone el componente plástico de la muestra.

La última etapa se caracteriza por un amplio aumento en la cantidad de carga soportada por el material, donde este comienza a microfracturarse hasta llegar al punto de máxima resistencia donde se obtiene una falla definitiva. El valor de carga última se reportó en 49kN con un desplazamiento axial total de 1.1mm

Muestra VT-44

Los resultados petrográficos clasificaron esta muestra como un esquisto cuarzo carbonático. Esta muestra claramente anisótropa fue ensayada mediante la prueba de compresión simple. Resultando una gráfica que muestra las propiedades mecánicas del material (roca)

La Gráfica evidencia dos etapas en la primera el material recibe carga suficiente para reacomodar su estructura interna cerrar las microfisuras, espacios poros y preparar para recibir los esfuerzos máximos antes de la rotura. En esta etapa se alcanzan valores de carga de 17kN con un desplazamiento axial 0.3mm en solo 6seg.

A partir de aquí comienza una segunda y última etapa que alcanza un valor de carga última de 34kN desplazamientos axiales de 0.5mm en 8.6seg (ver grafica 34).

En conclusión A temperatura constante, los materiales se comportan normalmente como elásticos cuando los esfuerzos aplicados son pequeños, si bien se tornan plásticos cuando los esfuerzos superan un cierto límite.

Por otro lado, los materiales pueden clasificarse como frágiles y dúctiles. Los materiales frágiles se rompen cuando se supera el límite elástico, mientras que los materiales dúctiles presentan un tramo de comportamiento plástico amplio.

Las rocas pueden caracterizarse, en general, como frágiles bajo condiciones de temperatura ambiental

La deformación permanente entre el límite elástico y el punto de ruptura en los materiales heterogéneos como las rocas se verifica a bajas temperaturas mediante una microfracturación frágil. Esta microfracturación se produce sobre todo en el interior de los minerales que forman las rocas, a favor de sus sistemas de exfoliación, o entre microporos.

El grado de microfracturación, que es controlado por las características texturales y estructurales de los materiales Respecto de la porosidad, materiales compactos y poco porosos tenderán a un comportamiento casi-elástico o semi-elástico, mientras los materiales muy porosos y poco o moderadamente coherentes tienden a un comportamiento semi-elástico o plástico.

El comportamiento semi-elástico o plástico indica un rápido aumento de la deformación en los primeros incrementos de esfuerzo, lo cual se explica por acomodo de la carga por el movimiento relativo de los granos (gruesos) del entramado y/o deformación de los poros, pasándose a continuación a una situación en que la tasa de deformación es menor, esto es, de recuperación mecánica, en la que el esfuerzo y la deformación aumentan más o menos proporcionalmente una vez el entramado de granos ha adquirido cierta compactación

Las anisotropías estructurales de los materiales, tales como superficies de estratificación o foliación, introducen lógicamente anisotropías mecánicas. Dado que estas superficies introducen debilidades mecánicas (los materiales se fracturan por extensión y cizalla más fácilmente a favor de las mismas), la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad disminuyen si el esfuerzo principal mayor es paralelo u oblicuo (cercano a 45°) a tales superficies.

La resistencia a la compresión de materiales anisótropos es máxima cuando las superficies están orientadas perpendicularmente al esfuerzo principal mayor.

Traccion Indirecta

Muestra TT-1

Analizando la gráfica 38, obtenida mediante el ensayo, podemos establecer tres etapas o estados del material; un primer estado que es la etapa de carga inicial o etapa de acoplamiento donde la muestra recibe una carga de aproximadamente. También reconocemos una segunda etapa a llamaremos etapa plástica donde el materia reacomoda su estructura interna cerrando las microfracturas y la porosidad propia de este material, ya que estamos hablando de una Filita.

Una vez superada esta etapa llegamos a la etapa final la cual llamaremos etapa de carga final, donde tenemos una muestra con toda su estructura interna ya reacomodada y podemos visualizaran rápido aumento en los valores de carga y desplazamiento axial alcanzando valores de esfuerzos a la tracción indirecta de 22,58kN

Muestra TT-4

Un dato importante a la hora del análisis de las propiedades mecánicas de las rocas estudiadas es el nombre de la muestra. En esta oportunidad estaremos trabajando con una Filita.

En la gráfica 40, obtenida se pueden apreciar tres etapas de esfuerzos distintos en la roca, tenemos una primera etapa de carga inicial o acoplamiento donde la muestra recibe una carga aproximada de 8.2kN. El reajuste de la estructura interna ocurre lenta pero abruptamente en cuanto a la cantidad de carga recibida, (8.2kN) punto en el cual ocurre una pequeña ruptura del material que observamos en la gráfica como un pequeño quiebre que representaría una segunda etapa de esfuerzos aplicados donde finalmente la muestra alcanza los 8.6kN para fallar por tracción.

Muestra TT-4 Espécimen 2

Esta muestra tiene un comportamiento similar al espécimen 1 (Gráfica 42) donde podemos observar una etapa de carga inicial hasta los 7.2kN una primera fractura interna para después seguir cargando hasta los 8kN esta diferencia de valore entre los dos especímenes de la misma muestra posiblemente se debe a la heterogeneidad de roca estudiada .

Muestra TT-5 Espécimen 1

Esta muestra presenta un comportamiento diferencial en tres etapas. (Gráfica 44). La etapa 1 etapa de carga inicial o etapa de acoplamiento donde la muestra recibe una carga de aproximadamente 7.2kN en un intervalo de 21 seg.

La segunda etapa tiene un comportamiento plástico, donde se produce absorción de carga se cierran las microfracturas y espacios porosos; este comportamiento es producto del tipo de roca (Esquisto) y el tipo de mineral presente en la misma, (micas). En esta etapa se alcanzan los 10.1kN en 48seg

La última etapa o etapa final de carga, una vez cerradas las microfracturas (las cuales no tienen una orientación preferencial en este espécimen) y se ha reajustado la estructura interna del material la roca comienza a recibir la carga de tracción hasta que se produce la rotura por tracción indirecta, llegando a un valor ultimo de 19,38kN.

Muestra TT-5 Espécimen 2

Este espécimen presenta un comportamiento muy similar al anterior, presentando las mismas tres etapas de deformación aunque existen variaciones en los valores picos alcanzados. (Ver Gráfica 46).

Muestra VT-42

Este espécimen fue clasificado como un Mármol, analizando la gráfica 48 obtenida mediante el ensayo, podemos darnos cuenta que presenta prácticamente una sola etapa, la cual nosotros llamamos etapa de carga.

Esta etapa solo nos muestra que el material es capaz de recibir esfuerzos sin la necesidad de reorganizar su estructura interna,

Es un material que puede recibir cargas considerables con deformaciones pequeñas. para una carga de 6.5kN

Muestra VE-60

Esta muestra fue clasificada como un esquisto calcáreo Grafitoso, con un alto contenido de micas, en consecuencia es una roca blanda.

Los resultados de tracción indirecta para esta muestra fueron los esperados, con cargas muy bajas en apenas 1.5seg.

El pico que en la gráfica 49 representa los 4.3kN es un falso valor de carga última, ya que a los 4kN la muestra ya había fayado. Este pico representa el valor de parada del ensayo al cual fue configurado.

Analisis de ensayo ultrasonido

Muestra TT-4 (gráficas 50 y 51)

La muestra ensayada corresponde al Metarenisca según análisis Petrográfico, perteneciente a la Formación Chuspita, cuyo componente mayoritario es el Cuarzo y las micas como segundo mineral mayoritario, con planos de anisotropía bien marcados mediante mineralizaciones cuarzo – sericíticas, que le atribuyen una cohesión favorable en estos planos de debilidad aparente. La muestra fue ensayada colocando los acopladores de manera que las caras de la probeta coincidieran con la dirección de perforación, por otra parte cabe destacar que la orientación de los planos de discontinuidad forma un ángulo aproximado de 85° con la horizontal.

Basados en la configuración, composición y orientación de la probeta de roca respecto a los cabezales de emisión y recepción del pulso ultrasónico, se obtuvo una velocidad alta de ondas primarias de 5481 m/s, esto puede ser producto como primer lugar, la orientación favorable al paso de dicha onda a través de la probeta por su reducida interferencia debido a los planos de anisotropía del material, el cual no se interpone como secciones de reducción en la velocidad de las ondas primarias donde los fenómenos de reflexión y refracción están por ende reducidos, lo cual permite una transmisión rápida del pulso ultrasónico, por otra parte la composición mineralógica de la misma en segundo lugar, favorece a que la transmisión y/o el paso de dicha onda sea más efectiva, puesto que el cuarzo como elemento mayoritario con porosidad nula y cementación silíceas es capaz de transmitir las ondas a través su estructura cristalina por su dureza de manera efectiva.

Esto se ve reflejado en el módulo de Poisson's 0.14 que admite una inflexibilidad de la muestra a efecto de deformaciones efectivas laterales en función de una carga aplicada; cabe destacar en este punto, que la naturaleza de la aplicación de pulsos sónicos como esfuerzos a alta velocidad en intervalos de tiempo muy cortos disminuye la capacidad de respuesta a comportamientos puramente elásticos.

En la gráfica correspondiente a al paso de las Ondas Primarias, se observa una longitud de onda constante producto de la emisión controlada de los pulsos ultrasónicos a 100 kHz de frecuencia con una velocidad de 5481 m/s, sin embargo se ve reflejado una variación

considerable en la Amplitud de la onda emitida en su paso por la probeta por lo cual, se traduce en una anisotropía muy marcada y continua en todo el material con la reducción de la amplitud de la onda, la velocidad de la onda se mantiene constante hasta los 0.08 msec donde los 0.20 msec siguientes se muestra levemente atenuada.

De la misma manera se presentan las Ondas Secundarias Vs, con una longitud de onda constante y una velocidad de 3554 m/s, la cual asemeja un comportamiento similar con un aumento en la Amplitud de la onda a partir de los primeros 0.08 msec de manera creciente hasta los 0.20 msec donde la amplitud de la onda se hace máxima, lo cual indica una zona de reducción de velocidad y producto posiblemente de variaciones mineralógicas marcadas en la muestra.

Muestra TT-6 _32M (gráficas 52 y 53)

La muestra ensayada corresponde a un esquistos cuarzoso micáceo con textura granoblástica, perteneciente a la Formación Chuspita, su componente mayoritario es la calcita criptocristalina y el cuarzo, el metaformismo diagnosticado es de bajo grado, sin embargo se presentan un conjunto de filones de calcitas bandeados dispuestas de manera sub-horizontal y sub-paralelas entre sí. En muestra de mano la probeta de roca se presenta homogénea y muy compacta. La muestra fue ensayada colocando los acopladores de manera que las caras de la probeta coincidieran con la dirección de perforación, por otra parte cabe destacar que la orientación de los planos de mineralización sub-horizontales con bandeamientos se encuentra formando un ángulo aproximado de 10 grados con la horizontal.

Basados en la configuración, composición y orientación de la probeta de roca respecto a los cabezales de emisión y recepción de pulso ultrasónico, se obtuvo una velocidad correspondiente a las ondas primarias de 5.016 m/s, el valor corresponde a una roca dura, esto se debe principalmente a su composición mineralógica y a su cadencia de planos de anisotropía, aunado con la disposición de los planos de mineralización de manera que representa una interfaz con densidades similares que al microscopio son diagnósticas pero que a efectos del paso de las ondas ultrasónicas en intervalo de tiempos muy cortos, lo cual las hace prácticamente imperceptibles; al estar constituidas casi en su totalidad por calcita. El

módulo de Poisson's con un valor de 0.28 demuestra su tolerancia a deformaciones laterales de mediano, orden lo mismo que sus módulos de deformación axial y volumétrica.

En la gráfica dada por las oscilaciones de las ondas primarias se presenta un intervalo comprendido entre (0.04 – 0.08) msec presenta los valores máximos en las amplitudes, seguidamente se reducen las amplitudes y se presentan constantes hasta los 0.20 msec. Esto se puede interpretar como el paso de una onda a través de un medio continuo y homogéneo de variaciones leves en su composición mineralógica; estas variaciones se hacen notar en el intervalo comprendido por (0.10 – 0.14) msec, donde se refleja una disparidad con respecto a las amplitudes.

El gráfico correspondiente a las ondas secundarias se presentan un conjunto de amplitudes desiguales; esto puede indicar binomios de dureza relativa intergranular siendo este tipo de ondas muy susceptible a pequeñas variaciones en las densidades y composición de los granos en los distintos medios que ésta atraviesa, demostrando así la heterogeneidad del conjunto.

Muestra VT-44 (Gráfica 54 55)

La muestra ensayada corresponde al un Esquisto Cuarzo – Carbonático según análisis petrográfico, perteneciente a la Formación Chuspita, cuyos componentes mayoritarios son el Cuarzo como principal, seguido por la calcita cristalina, en forma de filones y cristales microcristalinos, junto con feldespatos y micas en proporciones similares, la probeta no presenta orientaciones preferenciales de planos anisotrópicos, sin embargo se presentan micropliegues como pliegues parásitos que añaden una desorganización en la disposición de dichos planos de debilidad, por otra parte, se tiene mineralizaciones de calcita con incrustaciones de óxidos ferrosos, los cuales aportan una buena cohesión intergranular. La muestra fue ensayada colocando los acopladores de manera que las caras de la probeta coincidieran con la dirección perpendicular a la perforación.

Basados en la configuración, composición y orientación de la probeta de roca respecto a los cabezales de emisión y recepción del pulso ultrasónico, se obtuvo una velocidad media de ondas primarias de 3913 m/s lo cual entra en el rango de los valores estándar de rocas de

dureza media como las pizarras y los esquistos según tabla de valores de velocidad de ondas Primarias del texto Gonzales de Vallejo Pag.(131).

Esto puede ser debido al grado de meteorización aunado a los constituyentes minerales que conforman la roca en esta sección de la muestra, los cuales conforman una serie de minerales de baja densidad a excepción del cuarzo el cual se encuentra distribuido de manera no uniforme, por otra parte el bandeamiento de los filones de calcita criptocristalina, pone como atenuante en la propagación de las ondas por su baja densidad y dureza impidiendo así el paso continuo de los pulsos ultrasónicos emitidos. Lo anterior expuesto se ve reflejado en el Módulo de Poisson's con un valor de 0,39 que implica de manera directa un baja densidad y una deformación lateral muy elevada como respuesta a esfuerzos continuos y de baja intensidad, típica de este tipo de rocas esquistosas con estas características mineralógicas.

Los Módulos de las constantes elásticas como el Módulo de Young con 19942564 kPa el cual admite una deformación considerable en la sección axial de la muestra paralela al plano de aplicación de los esfuerzos, junto con el Módulo de Bulk el cual demuestra una aceptación en la deformación volumétrica uniforme de la muestra con valores del orden de 30102050 kPa, con respecto al Módulo de Rigidez de esta sección de probeta de roca tiene valores del orden de 7175734 kPa el cual representa un valor elevado, lo cual aparentemente acepta deformaciones flexurantes producto de la aplicación de esfuerzos tangenciales de baja intensidad.

Muestra VE-55 _35m (graficas 56-57)

La muestra ensayada corresponde a un Mármol con texturas Granoblásticas, perteneciente a la Formación Chuspita, el componente mayoritario es la calcita criptocristalina con óxidos Ferrosos, el metamorfismo generó micropliegues a manera de bandas de calcitas con ciertos planos de microfisuramiento inducido por mal manejo del testigo; en muestra de mano se presenta como una roca homogénea con planos visibles de anisotropía, que a nivel de microscopio se hacen evidentes. La misma fue ensayada colocando los acopladores de manera que las caras de la probeta coincidieran con la dirección de perforación.

Basados en la configuración, composición y orientación de la probeta de roca con respecto a los cabezales de emisión y recepción del pulso ultrasónico, se obtuvo una velocidad de ondas Primarias de 1565 m/s, valor que no corresponde con la densidad de un material homogéneo el cual se encuentra constituido principalmente por calcita criptocristalina, con bandeamientos de filones de calcita los cuales no se presentan discontinuos por disolución o debido a esfuerzo intrínseco del metamorfismo en la zona; sin embargo las microfisuras encontradas en la petrografía y el maltrato de la muestra es evidente, por lo que generó un considerable número de planos de anisotropía inducidos que reducen el tiempo de recepción de las Ondas Primarias de manera radical, con efectos inmediatos en las ondas secundarias las cuales se mostraron reducidas a valores aun más bajos, lo anterior dicho se puede corroborar en las gráficas correspondientes las cuales muestran un pulso en el intervalo 0.10 msec irregular con una línea continua hasta los 0.20 msec donde culmina la recepción en el caso de las ondas primarias, y en el caso de las ondas secundarias se obtuvo una línea continua con dos pulsos de muy baja intensidad en el intervalo de (0.00 – 0.04) m/sec. Lo cual demuestra un patrón irregular en la transmisión y recepción de las mismas. Por lo anterior se infiere que los valores de los Módulos elásticos fueron influenciados por los valores de velocidades irregulares por lo cual no son representativos de la misma.

ACOTACIÓN: No se pudo ensayar otra muestra de esta perforación por el mal estado del testigo recolectado en la caja, por lo que no hay valores de velocidades y Módulos mediante el ensayo ultrasónico, debido a que los segmentos de roca intacta no cumplen con los requisitos de tamaño mínimo para este ensayo en Ultrasonics GCTS.

Muestra VE-56 _43m (graficas 51 y 52)

La muestra ensayada corresponde a un Esquisto Cuarzo – Micáceo según análisis petrográfico, perteneciente a la Formación Chuspita, la misma tiene como componente primario el Cuarzo seguido por micas tipo Clorita, los planos discontinuos de exfoliación se encuentran bien diferenciados como segmentos laminados de planos de anisotropía los cuales están orientados de manera sub-horizontal, con intercalación de colores verdes (Clorita) y blancos (Cuarzo).

La muestra fue ensayada de manera que las caras de la probeta coincidieran con la dirección de perforación, por otra parte cabe destacar que la orientación de los planos discontinuos forman ángulos cercanos a los 0° (Plano horizontal).

Basados en la configuración, composición y orientación de la probeta de roca respecto a los cabezales de emisión y recepción del pulso ultrasónico, se obtuvo una velocidad baja de las Ondas Primarias V_p de 1854 m/s, esta velocidad puede ser debido a las variaciones constantes en las densidades de los dos grupos minerales con las cuales son muy distintas y orientadas en laminaciones sub-horizontales y continuas, generando así la reducción de las velocidades de las ondas que atraviesan dichos medios, al refractarse y reflejarse de manera continua, por otra parte es preciso señalar que dichos medios están referidos a variaciones mineralógicas marcadas debido su dureza y composición, es el caso del Cuarzo el cual es un mineral de densidad elevada seguida por intercalaciones de Clorita la cual es un tipo de filosilicato el cual admite rangos de deformaciones muy marcadas.

La disminución en la velocidad de las Ondas secundarias o de cizalla también se ven reflejadas en estos continuos y monótonos cambios de densidades al atravesar los distintos medios marcados por fases minerales organizadas logrando alcanzar menos de 2.5 veces la velocidad de las Ondas Primarias con una velocidad de 694 m/s, valor bastante bajo en relación con lo esperado.

Este valor muy atenuado de la velocidad de las Ondas de cizalla puede ser producto de zonas de meteorización muy marcadas dentro de la sección de probeta por lo que se puede atenuar de manera radical la propagación de este tipo de Ondas en este medio, no así las Ondas compresionales (Primarias) las cuales pueden atenuarse de manera menos marcada por su capacidad de atravesar medios con menor densidad.

Lo anterior expresado puede ser correlacionado con los coeficientes de deformación elásticas, es el caso del Módulo de Poisson's con 0.42 un valor bastante elevado lo cual le atribuye un capacidad de deformación lateral muy alta debido muy probablemente a la configuración de los planos de anisotropía en función de los esfuerzos emitidos como pulsos ultrasónicos en períodos de tiempo cortos (otra interpretación es probablemente un comportamiento irregular de la onda secundaria al paso por tipo de discontinuidad atribuida posiblemente a disolución mineral y/o microfisuras de importancia en un lugar específico de

la probeta, esto se evidencia en la gráfica de la onda secundaria donde a los 0.17 msec se presenta un leve salto en la amplitud de la onda, aunado con la disminución de su velocidad a niveles anormales como los presentes).

De igual Modo se presentan los Coeficientes de de formación axial y Volumétrico con valores de 3643155968 y 744604608 kPa respectivamente, valores elevados para el tipo de roca ensayada la cual presenta una elevada ductilidad con las aplicaciones de esfuerzos perpendiculares a los planos de isotropía, por otra parte el Módulo de rigidez se ve disminuido, a 1284199296 kPa lo cual tiene como razonamiento los planos discontinuos sub-horizontales que debido a su mineralogía característica no es capaz de soportar esfuerzos tangenciales con elevadas deformaciones en esa misma dirección.

En la Grafica donde se muestran la Oscilación de las Ondas Primarias, se puede notar que desde su momento de llegada a los 0.05 msec una longitud de Onda constante con una amplitud con variaciones mínimas y prácticamente constantes en su recorrido, por lo que se puede interpretar como el paso de la onda en un medio muy homogéneo y planos de anisotropía levemente marcados y que no mostraron grandes trastornos en la amplitud de la onda mas si en su velocidad. De igual modo se refleja el paso de la Onda Secundaria a través del medio rocoso con un constante aumento moderado en la amplitud de la onda senoidal debido a las interferencias constructivas en un medio que no influye de manera directa con el paso de las ondas a través de los campos de variaciones mineralógicas visibles en laminaciones sub-paralelas.

Muestra VE-60 _30m (graficas 53 y 54)

La muestra ensayada corresponde a un Esquisto Cuarzo – Grafitoso según análisis Petrográfico, Pertenece a la Formación Chuspita, el componente mayoritario es el Cuarzo y el Grafito en segundo lugar, la muestra se presenta con bandeamientos irregulares a manera de micropliegues con filones de cuarzo y grafito. La muestra fue ensayada colocando los acopladores de manera que las caras de la probeta coincidieran con la dirección de perforación, por otra parte cabe destacar que la orientación de los planos de discontinuidad no presenta un orden específico debido a su bandeamiento irregular.

Basados en la configuración, composición y orientación de la probeta de roca respecto a los cabezales de emisión y recepción del pulso ultrasónico, se obtuvo una velocidad de Ondas Primarias de 4374 m/s, un valor relativamente alto si se trata de un Esquisto Grafitoso, sin embargo esto se puede explicar en función de las cantidades de Cuarzo contenidas en la muestra con relación a la del Grafito que es minoritario, por lo que los pequeños esfuerzos emitidos como pulsos ultrasónicos a gran velocidad, se transmiten de manera continua en un medio que está gobernado por las características mecánicas inherentes al cuarzo contenido en la probeta de roca, donde la anisotropía generada por los bandeamientos apreciados en muestra de mano, no son representativos en el interior de la probeta, es decir puede que el contenido mineral de cuarzo como componente mayoritario sea en el interior de la probeta de roca sea lo suficientemente alto como para permitir el paso de las ondas a través del medio prácticamente homogéneo sea más efectivo. Por otra parte es importante destacar la velocidad de las ondas de cizalla se encuentra notablemente atenuada a 782 m/s, valor que se encuentra muy por debajo de los estándares de velocidades de ondas secundarias en comparación con las primarias; esto puede deberse probablemente a zonas de disolución mineral o microfisuramiento interno el cual impide la transmisión efectiva de este tipo de ondas por no ser capaces de atravesar medios como el aire y los líquidos que no son capaces de transmitir ondas de corte en su estructura interna.

Las relaciones de deformación correspondiente al Módulo de Poisson's con un valor de 0.48 indica que la probeta admite altas deformaciones laterales aunque por el tipo de razonamiento lógico es prácticamente inadmisibles, el valor obtenido puede ser como resultado de la atenuación radical de las ondas secundarias que influyen de manera directa en el cálculo del coeficiente de Poisson's el cual arroja un valor elevado. Sin embargo los valores en los Módulos de elásticos y volumétricos con 4858821 kPa para el Módulo de Young y 49065056 kPa para el Modulo de Bulk o volumétrico, indican una capacidad reducida en variar su volumen y tener una deformación axial ante esfuerzos aplicados. Por otra parte el Módulo de rigidez con un valor de 1637626 kPa de manera similar indica una baja recepción de deformaciones ante esfuerzos cortantes.

En las graficas donde se representan las oscilaciones de las Ondas Primarias, se observa una variación en las amplitudes desde los 0.04 msec hasta los 0.08 msec donde es máxima,

seguidos por una disminución en la amplitud de la onda de manera irregular en ciertos intervalos de tiempo hasta los 0.20 msec, esto puede ser producto de distintos medios y/o zonas de anisotropía contenidas dentro de la probeta de roca. En la gráfica representada por las ondas de cizalla se presenta una onda senoidal monótona con una amplitud de onda regular en todo su recorrido hasta los 0.20 msec, sin embargo cabe destacar un punto de quiebre de la onda senoidal a los 0.13 msec donde se hace notar, este punto puede corresponder una fisura interna de la probeta y/o una zona de disolución mineral dejando un espacio reducido sin medios sólidos pero no lo suficientemente distanciados como para impedir su continuación.

9.2. FORMACIÓN LAS MERCEDES

Analisis de Petrografías Y Difracciones de Rayos X

Muestra VE-2

Los afloramientos de roca observados, indican una litología bastante uniforme constituida por esquistos cuarzo-micáceos-calcáreos, cuarcitas delgadas, filitas algo grafitosas y numerosas vetas de cuarzo, los planos de foliación en los afloramientos indican extrema variabilidad de rumbos y buzamientos debidos al plegamiento de carácter isoclinal de las rocas.

Esta muestra fue tomada a una profundidad de 44m se tomaron 2 ejemplares para secciones finas ambas fueron clasificadas petrográficamente como Mármoles, los análisis de difracción de rayos x confirmaron las proporciones de los componentes, que fueron presentadas con el análisis petrográfico.

Presentan texturas granolepidoblasticas y granoblásticas. Deben su origen a un metamorfismo de grano medio a bajo. Se asocian ambas muestras con la formación Las Mercedes.

Muestra VE-3

Los afloramientos de roca observados, indican una litología bastante uniforme constituida por esquistos cuarzo-micáceos calcáreos, cuarcitas delgadas, filitas algo grafitosas y numerosas vetas de cuarzo, los planos de foliación medidos en los afloramientos indican extrema variabilidad de rumbos y buzamientos debidos al plegamiento de carácter isoclinal de las rocas.

Esta muestra fue extraída a una profundidad de 34 m el análisis petrográfico la clasifica como un Mármol con textura nematoblástica, es similar a la lepidoblástica, sólo que en este caso el apilamiento no es de minerales con hábito planar sino acicular. Suele ser característica de las anfibolitas.



Los análisis de difracción de rayos x confirman las proporciones de los componentes de la muestra. Debe su origen a un metamorfismo de grado medio. Se asocia a la formación Las Mercedes.

Compresion Simple

Muestra VE-2

Esta muestra fue clasificada como un mármol.

Mediante la aplicación del ensayo de compresión simple sobre esta muestra se obtuvo unas características específicas que van en función de a las características mineralógicas y de génesis de este material

En la Gráfica 68 se muestran dos etapas de su comportamiento mecánico que apenas se diferencian.

En la primera etapa se evidencia un aumento de la capacidad de carga con una pendiente considerable, aquí el mineral recibe toda la fuerza necesaria para reacomodar su estructura interna y cierre de microfisuras; alcanzando un valor de carga normal de 24kN con un desplazamiento axial de 0.4mm

Una vez alcanzado este valor el comportamiento de la curva cambia sutilmente que se traduce como el comienzo de una etapa final de carga donde el material ya comienza a sentir los esfuerzos de la carga aplicada e internamente su estructura comienza a microfracturarse, hasta alcanzar el valor máximo de carga (q_u) que para este material es de 30kN en un lapso de tiempo de 8.2seg y necesitando un desplazamiento axial total de 1.45mm

Muestra VE-3

Esta muestra fue clasificada como un mármol. El comportamiento obtenido del material por aplicación de carga axial se refleja en la gráfica 71 para este ensayo.

Esta Gráfica nos indica que este material responde a una sola etapa de esfuerzos, denominada etapa de carga y micro fracturación de la roca, donde esta solo recibe carga hasta alcanzar el esfuerzo máximo o (q_u) que para esta muestra corresponde a 30kN, el cual

es un valor de resistencia cónsono para este tipo de roca. Las variaciones del desplazamiento alcanzan 0.55mm para el total de la carga aplicada.

Ensayo de Tracción Indirecta

Muestra VE-2 espécimen 1

Esta muestra fue clasificada como un mármol.

La Gráfica 73, obtenida mediante este ensayo nos muestra un comportamiento del material diferente al comportamiento que nos muestran las rocas foliadas. Es decir, no presenta etapas de reacomodo ni etapa plástica.

Una vez comenzada la etapa de carga este ejemplar alcanzo valores de esfuerzos de tracción de 4.72kN

Ultrasonido

Muestra VE-3 _ 30 m (graficas 75 y 76)

La muestra ensayada corresponde a un Mármol con textura Nematoblástica según análisis petrográfico en sección fina, donde el apilamiento de minerales corresponden a hábitos aciculares, la muestra está asociada con la Formación las Mercedes, cuyo componente mayoritario es la calcita y el Grafito, con Cuarzo de manera dispersa, la sección refleja una cementación de calcita cristalina con bandas de óxido ferroso junto a zonas de filones con bandeamientos isoclinales. En muestra de mano la probeta se muestra bastante homogénea con bandeamiento isoclinales y calcita bien diferenciada, lo cual le atribuye una cohesión aparente muy buena.

La muestra fue ensayada colocando los acopladores de manera que las caras de la probeta coincidieran con la dirección de perforación. Basados en lo anterior expuesto en relación a la configuración, composición mineralógica y orientación de los distintos planos de anisotropía como producto de fases mineralógicas definidas, se obtuvo una velocidad relativa de ondas Primarias de 4949 m/s, esta velocidad se debe a la homogeneidad de la roca en función de sus componentes minerales independientemente de la orientación de los planos de anisotropía aparente a manera de micro pliegues, lo cual permite una transmisión efectiva de los pulsos ultrasónicos, sin mayores interferencias puesto que el parámetro primordial en la transmisión de ondas mecánicas longitudinales y transversales es la densidad del medio que atraviesa la onda, por otra parte el metamorfismo de bajo grado de esta Formación rocosa, con la presencia de CaCO_3 como componente mayoritario, facilita la percolación y posterior mineralización en caso de zonas de disolución de feldespatos que son más susceptibles a cambios en el medio de formación primaria.

Esto se ve reflejado en la oxidación de ciertos minerales como el feldespato y algunas micas como mineral accesorio; de manera que, la sección de roca ensayada presenta una elevada densidad y por ende una rigidez que le atribuye un comportamiento frágil a la misma. El módulo de Poisson's cuyo valor para esta muestra es de 0.25 lo cual expresa su poca deformación lateral como producto de aplicación de cargas axiales de baja intensidad en intervalos de tiempos muy cortos. Los Módulos de Young, Bulk y de rigidez, con valores comprendidos en 54099232, 36659008 y 21569928 respectivamente demuestran la

intolerancia a deformación a comportamientos puramente elásticos en función de aplicación de esfuerzos a alta velocidad con intervalos de tiempo cortos, de manera que el Mármol ensayado responde de manera efectiva a los pulsos ultrasónicos aplicados.

En la gráfica correspondiente al paso de las Ondas Primarias se observa una longitud de onda relativamente constante como producto de la emisión controlada de los pulsos ultrasónicos a 100 kHz de frecuencia con una velocidad de 4949 m/s, se hace notable en la gráfica de las oscilaciones de las ondas una Amplitud de onda más marcada en los primeros 0.08 msec donde se hace máxima la Amplitud la cual comienza a disminuir y permanece constante hasta el fin de recepción a los 0.20 msec, esto se debe probablemente a la homogeneidad de la probeta de roca y los constituyentes minerales que la componen independientemente de su bandeamiento. Las oscilaciones de las ondas Secundarias Vs, alcanzan una velocidad máxima de 2842 m/s, donde se presenta un aumento gradual en la amplitud de la Onda Secundaria como producto de la disminución de la velocidad inicial al atravesar un medio homogéneo.

9.3. FORMACIÓN TINAPÚ

Muestra TT-24

Se observaron Filitas esquistos sericiticos, esquistos cuarzo grafitosos, filitas grafitosas, esquistos cuarzo feldespáticos grafitosos micáceos, peridotita serpentinizada mármoles de cuarcitas, filitas y esquistos calcáreos, compuestas de esquistos cuarzo-albítico-muscovítico-medianamente meteorizados.

Esta muestra se extrajo de una profundidad de 26 m, Fue clasificada petrográficamente como un Esquisto Calcáreo Cuarzoso, los resultados de las difracciones (Gráfica 80) demuestran que los elementos mayoritarios son el cuarzo y la calcita. Muestra texturas Lepidonematoblasticas, lo normal es que las rocas metamórficas presenten una combinación de dos o más de ellas. La textura global se describe primero con el de la textura individual más dominante.

Presenta un metamorfismo de grado bajo a medio. Fue enmarcada a diferencia de las anteriores de este mismo transecto como perteneciente a la Formación Tinapu.

Seiders (1965) destacó que los esquistos expuestos al sur de La Victoria, atribuidos por MacLachlan et al. (1960) a la Formación Las Brisas, son similares al esquisto de Tinapú y recomendó considerarlos como basamento. Esta idea fue mantenida luego por Menéndez (1966).

Compresion simple

Muestra TT24

Este espécimen corresponde a un esquisto cuarzo Grafitoso presenta un comportamiento prácticamente lineal, en el cual solo se aprecia la etapa de carga donde el material soporta la mayor cantidad de carga y comienza a microfracturarse, para luego alcanzar una carga ultima de 11.6kN con un desplazamiento de 0.1mm el comportamiento de rotura es frágil (Ver Gráfica 82)

Tracción Indirecta

Muestra TT-24

Esta muestra fue clasificada como un esquisto calcáreo Grafitoso. Para realizar el ensayo se colocó de tal forma que la orientación de los planos de foliación quedara perpendicular a la dirección de carga

La primera etapa se comportó de forma plástica donde el material tiende a reacomodar su estructura interna y cerrar las microfisuras y espacios porosos así como la absorción de energía o carga aplicada por las micas presentes en la muestra alcanzando 3.6kN

La segunda etapa de carga última etapa un poco más larga donde el material recibe toda la energía necesaria para obtener la tracción, que alcanza los 10.9kN en apenas 30seg. (Ver Gráfica 84).

La función de este ensayo es determinar el esfuerzo de tracción de las rocas por medio de la aplicación de una carga normal.

Muestra TT-24 Espécimen 2

El segundo ejemplar de esta muestra se ensayó con la orientación de foliación en ángulo de 45° con respecto a la horizontal, La Gráfica 86 obtenida nos muestra un comportamiento completamente diferente.

En primer lugar el ensayo solo duro 9.5seg. y recibió una carga axial de 4.49kN

Por lo tanto se concluye que, la dirección de la foliación es un factor determinante en este tipo de ensayo, ya que cuando se aplica una fuerza de tracción en un ángulo desfavorable obtenemos una respuesta más rápida y con menor esfuerzo que cuando este ángulo es cero.

Ultrasonido

Muestra TT-24 _28m (gráficas 86 y 87)

La muestra ensayada corresponde a un Esquisto Calcáreo Cuarzoso según análisis Petrográfico, perteneciente a la Formación Tinapu, cuyos componentes mayoritarios son la calcita cristalina como fundamental y el cuarzo como componente secundario, en muestra de mano se hace evidente el bandeamiento irregular de los planos de mineralizaciones de

calcita, y el óxido de hierro probablemente de accesorios micáceos en su composición mineral, la probeta posee una homogeneidad característica de esta zona y una densidad relativamente alta con respecto a otras rocas metamórficas como las filitas de esta misma Formación, por otra parte no presenta fractura miento inducido por manipulación, lo que conserva su condición inicial de extracción.

La muestra fue ensayada colocando los acopladores ultrasónicos de manera que las caras de la probeta coincidieran con la dirección de perforación. Basados en la configuración, composición y orientación de la probeta de roca respecto a los cabezales de emisión y recepción de pulsos ultrasónicos, se obtuvo una velocidad de ondas Primarias de 4406 m/s, esta velocidad medianamente alta para su tipo litológico puede ser producto de la homogeneidad de la roca en función a su contenido y distribución mineralógico, su densidad relativa elevada y los granos cementados con mineralizaciones criptocristalinas de CaCO_3 y sílice en otros casos. Por lo que los planos de bandeamientos irregulares a manera de delgados filones de calcita y cuarzo en menos proporción hacen que la roca tienda a comportarse de manera moderadamente dúctil basados en los módulos elásticos con valores de 29302454 kPa para el Módulo de Young, 40906004 kPa para el Módulo de Bulk, y 10612136 kPa correspondiente al Módulo de rigidez, estos valores reflejan que las deformaciones son asimiladas de manera continua, liberando energía en los inicios de su deformación, por otra parte su Módulo de Poisson's arroja un valor cercano a 0.4 confirmando así la hipótesis de su alta ductilidad.

Los pulsos ultrasónicos son transmitidos a través de la probeta de roca de manera continua con poca interferencia y siguiendo un patrón continuo reflejado en las oscilaciones de ondas sinodales de las graficas respectivas de la velocidad de Ondas compresionales y las transversales o de cizalla, la misma presentan características semejantes entre sí, es el caso de la oscilación de la onda primaria en el transcurso de su recorrido en los primeros intervalos de tiempo hasta aproximadamente los 0.07 msec donde la Amplitud se hace máxima, donde seguidamente se muestra atenuada y constante con formas sinodales continuas y semejantes hasta los 0.20 msec siguientes.

Las Ondas Secundarias reflejan una gráfica con comportamiento muy regulares en todo su trayecto desde los primeros 0.08 msec donde se incrementa la Amplitud de la misma siguiendo una forma zigzagueante y regular hasta el final a los 0.20 msec

9.4. FORMACION TUCUTUNEMO

Muestra CT-3a (Cúa Tácata)

Durante la perforación se observó que la roca se encontró a muy poca profundidad y afectada por el sistema de fallas asociada a la falla de Tácata,

Se encontraron rocas blandas formadas por esquistos cuarcíticos muy fracturados, filitas carbonáceas con intercalaciones de arenas y limos altamente meteorizados esta muestra se extrajo a una profundidad de 13.5m

Comparando los resultados de la petrografía con la difracción de rayos x (Gráfica #1) de la misma muestra, se concluye que el nombre de la misma es un Esquisto Cuarzo Grafitoso. Los análisis de difracción arrojaron que el contenido mineralógico coincidía con el análisis petrográfico

Por la ubicación y el contenido mineralógico presente en la muestra la catalogamos como perteneciente a la formación Tucutunemo

Se analizó una sola muestra en este tramo ya que la recuperación no permitió obtener más especímenes ya que las mismas se comportaban como un suelo muy friable, esto como consecuencia de la cercanía del sistema de fallas de Tacata, con un metamorfismo de bajo grado, esto aunado a que el resto de las perforaciones en este tramo solo recupero suelo y no roca.

9.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CARGA PUNTUAL

Grafica de máxima carga axial o (carga de ruptura),

Nos muestra una nube de puntos muy dispersa, en la escala podemos ver que el incremento de carga es cada 1.5kN, se reconoce una primera zona donde las muestras se ubican por encima del promedio, esta a su vez, se divide en dos zonas, la primera va desde 16kN hasta 11.5kN y las rocas que se ubican en este intervalo se clasificaron como mármoles.

La segunda zona va desde los 10.5kN hasta los 7kN y en ella se representan filitas mármoles y esquistos cuarzo-feldespáticos.

Por debajo de la línea de tendencia se observan también dos zonas las cuales agrupan:

La zona que va entre 5.5kN y 4kN en la cual se representan mármoles y esquistos cuarzosos.

La última zona que va desde los 2.5 a 1kN agrupa muestras correspondientes a mármoles y esquistos cuarzosos.

Grafica de I_p para muestras axiales.

Esta grafica muestra el índice de carga puntual no corregida

Estas muestras alcanzan en promedio valores de 6.5MPa, solo existen tres muestra cuyos valores superan los 6.5MPa y en particular un mármol que alcanza valores de 64.5MPa, por lo tanto la mayoría de estas muestra comparten en promedio unos valores uniformes para este parámetro.

Grafica para el I_{550} para muestras axiales.

Este índice es un índice estándar para testigos de 50cm de diámetro y una relación L/D de al menos 1.4.

La grafica nos muestra que en total el promedio alcanza valores corregidos de 4MPa.

Por encima de este promedio se encuentran muestras que una vez corregidas por tamaño conservan una mayor relación de dureza con respecto a las demás.

Grafica para el (q_u) para muestras axiales

Este parámetro estudia la resistencia a la compresión simple. O carga ultima obtenida.

En general las muestras alcanzan (en promedio) 92.5KPa, algunas alcanzan una resistencia de 175MPa, y una sola 550KPa.

9.6 DATOS DE LABORATORIO

Difraccion de rayos x

MUESTRA TT 01					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=1,6671	55.4	1.6571	53	22	Caolinita
d=14,490	6.095	14.49	36	15	Clorita
d=7,167	12339	7.167	36	15	Clorita caolinita
d=4,266	20.804	4.266	597	248	Cuarzo
d=1,8190	50.11	1.819	269	112	Cuarzo
d=2,4579	36.528	24579	170	7	Cuarzo
d=1,3742	66.185	1.3742	145	6	Cuarzo
d=2,1281	42443	21281	18	5.7	Cuarzo
d=1,3832	67.681	1.3832	112	4.6	Cuarzo
d=1,6743	54.785	1.6743	94	3.9	Cuarzo
d=1,5495	59.92	1.5425	148	6.1	Cuarzo caolinita
d=2,2828	39.442	2.2828	137	5.7	Cuarzo caolinita
d=2,2361	40.3	2.2361	85	3.5	Cuarzo clorita
d=1,9838	45.696	1.9838	74	3.1	Cuarzo clorita caolinita
d=3,350	25.591	3.35	2412	100	Cuarzo muscovita clorita
d=1°,107	8.742	10.107	113	4.7	Muscovita
d=5,022	17.648	5.022	63	26	Muscovita
d=3,207	27.8	3.207	50	21	Muscovita

MUESTRA TT 04					
Caption	Angle 2- theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=6,402	13.821	6.402	18	1.3	Albita
d=2,9724	30.04	2.9724	59	4.4	Albita
d=2,8288	31.603	2.8288	36	2.7	Clorita
d=14,177	6.229	14.177	51	3.8	Clorita
d=7,107	12.444	7.107	241	18	Clorita
d=4,712	18.818	4.712	79	5.9	Clorita
d=4,467	19.862	4.467	31	2.3	Clorita
d=3,542	25.123	3.542	176	13.2	Clorita
d=1,5419	59.946	1.5419	97	7.2	Clorita
d=4,247	20.9	4.247	233	17.4	Cuarzo
d=2,4532	36.6	2.4532	104	7.8	Cuarzo
d=1,4516	64.1	1.4516	54	4	Cuarzo
d=13749	68.146	1.3749	107	8	Cuarzo
d=2,2852	39.398	2.2852	81	6.1	Cuarzo albita calcita
d=2,2377	40.27	2.2377	51	3.8	Cuarzo clorita
d=2,1253	42.5	2.1253	77	5.8	Cuarzo albita
d=1,8193	50.1	1.8193	138	10.3	Cuarzo clorita
d=3,339	26.678	3.339	1338	100	Cuarzo muscovita
d=10,088	8.759	10.088	125	9.3	Muscovita
d=4,998	17.733	4.998	67	5	Muscovita
d=3,203	27.832	3.203	116	8.7	Muscovita albita
d=3,036	29.392	3.036	84	6.3	calcita

MUESTRA TT 05/1					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,645	24.4	3.645	50	3.6	Albita
d=4,036	22.08	4.036	44	3.2	Albita
d=3,779	23.522	3.779	41	3	Albita
d=6,366	13.9	3.366	29	2.1	Albita
d=3,186	27.985	3.186	96	7	Albita muscovita
d=3,522	25.269	3.522	58	4.2	Albita muscovita
d=2,5570	35.066	2.557	52	3.8	Caolinita
d=1,6544	55.5	1.6544	50	3.6	Caolinita
d=7,064	12.52	7.064	76	5.5	Caolinita clorita
d=4,458	19.9	4.458	38	2.8	Caolinita clorita
d=4,692	18.9	4.692	31	2.3	Clorita
d=14,037	6.292	14.037	23	1.7	Clorita
d=4,262	20.823	4.262	382	27.8	Cuarzo
d=1,8184	50.126	1.8184	183	13.3	Cuarzo
d=2,4590	36.511	2.459	125	9.1	Cuarzo
d=1,3743	68.183	1.3743	113	8.2	Cuarzo
d=2,2792	39.507	2.2792	102	7.4	Cuarzo
d=2,1285	42.434	2.1285	87	6.3	Cuarzo
d=2,2332	40.355	2.2332	82	6	Cuarzo
d=1,3829	67.701	1.3829	80	5.8	Cuarzo
d=1,4535	64.006	1.4535	49	3.6	Cuarzo
d=1,5412	59.975	1.5412	107	7.8	Cuarzo caolinita
d=1,9791	45.811	1.9791	48	3.5	Cuarzo muscovita clorita
d=3,336	26.7	3.336	1376	100	Cuarzo muscovita
d=1,6716	54.88	1.6716	79	5.7	Cuarzo muscovita
d=10,009	8.827	10.009	43	3.1	muscovita

MUESTRA TT 06					
Caption	Angle 2- theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=1,9774	45.852	1.9774	64	3.7	Caolinita clorita muscovita
d=3,198	27.878	3.198	90	5.2	Albita
d=3,517	25.3	3.517	106	6.1	Caolinita clorita
d=7,069	12.512	7.069	159	9.2	Caolinita clorita
d=4,715	18.803	4.715	56	3.2	Clorita
d=14,011	6.303	14.011	23	1.3	Clorita
d=4,242	20.926	4.242	405	23.5	Cuarzo
d=1,8160	50.196	1.816	188	10.9	Cuarzo
d=2,4512	36.631	2.4512	149	8.6	Cuarzo
d=1,3704	68.4	1.3705	124	7.2	Cuarzo
d=2,1226	42.558	2.1226	96	5.6	Cuarzo albita
d=1,3818	67.762	1.3818	86	5	Cuarzo
d=1,6707	54.911	1.6707	77	4.5	Cuarzo
d=1,5400	60.027	1.54	190	11	Cuarzo caolinita
d=2,2740	39.6	2.274	84	4.9	Cuarzo caolinita
d=2,2308	40.4	2.2308	62	3.6	Cuarzo clorita
d=3,337	26.696	3.337	1724	100	Cuarzo muscovita
d=9,938	8.891	9.938	73	4.2	Muscovita
d=5,008	7.696	5.008	53	3.1	Muscovita

MUESTRA TT 12/1					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,031	29.447	3.031	149	8.4	Calcita
d=1,8714	48.614	1.8714	39	22	Calcita
d=1,9078	47.629	1.9078	36	2	Calcita
d=1,6608	56.265	1.6608	58	3.3	Caolinita
d=7,120	12421	7.12	50	28	Caolinita
d=3,548	25.078	3.548	46	26	Caolinita
d=2,5616	35	25616	39	22	Caolinita
d=4,258	20.846	4.258	369	20.8	Cuarzo
d=1,8184	50.127	1.8184	237	13.3	Cuarzo
d=2,4540	36.588	2454	131	7.4	Cuarzo
d=1,3752	68.13	1.3752	123	6.9	Cuarzo
d=1,3825	67.721	1.3825	102	5.7	Cuarzo
d=2,1271	42463	21271	94	5.3	Cuarzo
d=1,6719	54.868	1.6719	79	4.4	Cuarzo
d=1,1801	81.5	1.1801	73	4.1	Cuarzo
d=1,1996	79.9	1.1996	60	3.4	Cuarzo
d=2,2361	40.3	22361	57	3.2	Cuarzo
d=2,2796	39.5	22796	116	6.5	Cuarzo calcita caolinita
d=1,5407	59.994	1.5407	147	8.3	Cuarzo caolinita
d=1,9808	45.769	1.9808	50	28	Cuarzo caolinita muscovita
d=3,347	26.615	3.347	1778	100	Cuarzo muscovita
d=10,138	8.715	110.138	28	1.6	Muscovita

MUESTRA TT 37					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,206	27.804	3.206	110	57	Albita
d=4,041	21.975	4.041	83	43	Albita
d=3,490	25.503	3.49	44	22.8	Albita
d=1,8219	50.027	1.8218	40	20.7	Albita
d=3,656	24.323	3.656	36	18.7	Albita
d=3,782	23.507	3.782	38	19.7	Albita caolinita
d=3,143	28.369	3.143	193	100	Albita magnesiohornblenda
d=7,164	12.345	7.164	66	34.2	Caolinita clorita
d=3,545	25.1	3.545	56	29	Caolinita clorita
d=14,413	6.127	14.413	73	37.8	Clorita
d=2,4002	37.439	2.4002	50	25.9	Clorita
d=3,344	26.635	3.344	49	25.4	Cuarzo
d=4,230	20.983	4.23	30	15.5	Cuarzo
d=8,538	10.353	8.538	157	81.3	magnesiohornblenda
d=2,5984	34.489	2.5984	82	42.5	magnesiohornblenda
d=2,8199	31.705	2.8199	53	27.5	magnesiohornblenda
d=2,7122	33	2.7122	49	25.4	magnesiohornblenda
d=5,029	17.622	5.029	47	24.4	magnesiohornblenda

MUESTRA VE 2					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=6,636	13.9	6.366	25	3.7	Albita
d=3,207	27.796	3.207	99	14.5	Albita
d=3,026	29.5	3.026	223	32.7	Calcita
d=14,266	6.191	14.266	104	15.2	Clorita
d=7,106	12.446	7.106	596	87.3	Caolinita clorita
d=4,722	18.778	4.722	202	29.6	Clorita
d=3,538	25.147	3.538	345	50.5	Caolinita clorita
d=2,8204	31.7	2.8204	75	11	Clorita calcita
d=4,444	19.96	4.444	55	8.1	Clorita muscovita
d=4,256	20.857	4.256	135	19.8	Cuarzo yeso
d=1,8181	50.136	1.8181	103	15.1	Cuarzo
d=1,6696	54.951	1.6696	44	6.4	Cuarzo
d=1,5415	59.963	1.5415	63	9.2	Cuarzo
d=1,3740	68.198	1.374	66	9.7	Cuarzo
d=2,4532	36.6	2.4532	48	7	Cuarzo albita
d=2,0087	45.09	2.0087	85	12.4	Cuarzo albita
d=2,2833	39.432	2.2883	48	7	Cuarzo calcita caolinita
d=2,1298	42.407	2.1298	47	6.9	Cuarzo calcita
d=3,341	26.659	3.341	683	100	Cuarzo muscovita caolinita
d=10,151	8.704	10.151	240	35.1	Muscovita
d=5,037	17.594	5.037	91	13.3	Muscovita
d=3,241	27.5	3.241	84	12.2	Muscovita
d=7,60	11.573	7.64	44	6.4	Yeso
d=2,7042	33.1	2.7042	45	6.6	Yeso
d=2,8644	31.2	2.8644	35	5.1	Yeso

Muestra VE-2/1

MUESTRA VE 2/1					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,204	27.819	3.20	72	6.9	Albita
d=3,026	29.5	3.03	425	40.6	Calcita yeso
d=1,9099	47.57	1.91	85	8.1	Calcita
d=1,8726	48.578	1.87	60	5.7	Calcita
d=2,0951	43.143	2.10	37	3.5	Calcita
d=2,2796	39.5	2.28	116	11.1	Calcita caolinita
d=2,8471	31.395	2.85	42	4	Calcita clorita
d=1,6571	55.4	1.66	44	4.2	Caolinita
d=7,721	12.421	7.12	129	12.3	Caolinita clorita
d=3,548	25.079	3.55	80	7.6	Caolinita clorita
d=4,730	18.747	4.73	53	5.1	Clorita
d=14,340	6.158	14.34	30	2.9	Clorita
d=2,4966	35.949	2.50	47	4.5	Clorita caolinita calcita
d=2,0049	45.189	2.00	61	5.8	Clorita caolinita muscovita
d=1,9755	45.9	1.98	44	4.2	Clorita caolinita muscovita
d=4,260	20.837	4.26	269	25.7	Cuarzo yeso
d=1,8169	50.171	1.82	144	13.8	Cuarzo
d=2,4532	36.6	2.45	108	10.3	Cuarzo
d=1,3739	68.204	1.37	99	9.5	Cuarzo
d=1,5412	59.974	1.54	89	8.5	Cuarzo
d=2,1278	42.448	2.13	67	6.4	Cuarzo albita
d=1,3823	67.733	1.38	63	6	Cuarzo
d=2,2361	40.3	2.24	35	3.3	Cuarzo
d=3,344	26.637	3.34	1046	100	Cuarzo muscovita
d=1,6700	54.936	1.67	41	3.9	Cuarzo muscovita
d=10,111	8.738	10.11	151	14.4	Muscovita
d=5,030	17.617	5.03	80	7.6	Muscovita
d=7,661	11.541	7.66	62	5.9	Yeso

Muestra VE-3

MUESTRA VE 3/1					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,026	29.5	3.026	1178	100	Calcita
d=1,9076	47.634	1.9076	277	23.5	Calcita
d=1,8721	48.592	1.8721	122	10.4	Calcita
d=2,0916	43.22	2.0916	80	6.8	Calcita
d=1,4189	65.76	1.4189	61	5.2	Calcita
d=3,853	23.064	3.853	47	4	Calcita
d=2,2798	39.495	2.2398	105	8.9	Calcita caolinita
d=7,134	12.397	7.134	53	4.5	Clorita
d=14,126	6.252	14.126	27	2.3	Clorita
d=2,4927	36	2.4927	62	5.3	Clorita caolinita
d=3,531	25.2	3.531	33	2.8	Clorita cuarzo
d=1,8166	50.178	1.8166	73	6.2	Cuarzo
d=4,247	20.9	4.247	58	4.9	Cuarzo
d=1,5433	59.883	1.5433	51	4.3	cuarzo caolinita
d=3.342	26.653	3.342	473	40.2	Cuarzo muscovita caolinita
d=10,089	8.758	10.089	99	8.4	Muscovita
d=5,007	17.7	5.007	54	4.6	Muscovita

Compresion Simple

Muestra VE-2

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: VE2
Test: Triaxial
Specimen: 3
Number: 3
Description: COMPRESIÓN SIMPLE
Container ID: _
Type: Rock Hard
Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:
Moist Mass of Specimen: 405.88 (gr)
Moist Density: 2797.55 (kg/m³)
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)
Starting Date: 07/13/11
Starting Time: 10:26:21
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
Stage Index: 1
Type: Static Loading
Specimen:
Height: 87.300 (mm)
Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
Diameter: 46.000 (mm)
Area: 16.619 cm²
Volume: 145.084 cm³
Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 17.824 (MPa)
Time: 12.0201(Seconds)
CP - Cell Pressure: 0.007 (MPa)
U - Pore Pressure: 0.000 (MPa)
Ea - Axial Strain: -0.001 (%)
Er - Radial Strain: 0.000 (%)
Ev - Volumetric Strain: -0.001 (%)
Sa - Axial Stress: 17.831 (MPa)
Sa' - Axial Effective Stress: 17.831 (MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.007 (MPa)
End (Residual) Sd - Deviator Stress: 0.973 (MPa)
Time: 21.5552 (Seconds)
CP - Cell Pressure: 0.007 (MPa)
U - Pore Pressure: 0.000 (MPa)
Ea - Axial Strain: 0.002 (%)
Er - Radial Strain: 0.921 (%)
Ev - Volumetric Strain: 1.835 (%)
Sa - Axial Stress: 0.980 (MPa)
Sa' - Axial Effective Stress: 0.980 (MPa)
Sc' - Cell Effective Pressure: 0.007 (MPa)

Data Points (Rows): 41

Muestra VE-3

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: VE3
Test: Triaxial
Specimen: M1
Number: 1
Description: COMPRESION SIMPLE
Container ID: _
Type: Rock Hard
Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:
Moist Mass of Specimen: 627.09 (gr)
Moist Density: 2637.88 (kg/m³)
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)
Starting Date: 07/15/11
Starting Time: 13:08:11
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
Stage Index: 1
 Type: Static Loading
 Specimen:
 Height: 103.800 (mm)
 Axial Gauge Length: 103.800 (mm)
 Diameter: 54.000 (mm)
 Area: 22.902 cm²
 Volume: 237.725 cm³
 Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 13.547 (MPa)
 Time: 8.26666 (Seconds)
 CP - Cell Pressure: -0.007 (MPa)
 U - Pore Pressure: -0.020 (MPa)
 Ea - Axial Strain: 0.545 (%)
 Er - Radial Strain: 0.000 (%)
 Ev - Volumetric Strain: 0.545 (%)
 Sa - Axial Stress: 13.541 (MPa)
 Sa' - Axial Effective Stress: 13.561 (MPa)
 Sc' - Cell Effective Pressure: 0.014 (MPa)
 End (Residual) Sd - Deviator Stress: -5.807 (MPa)

Time:	12.4183 (Seconds)
CP - Cell Pressure:	0.007 (MPa)
U - Pore Pressure:	-0.007 (MPa)
Ea - Axial Strain:	1.255 (%)
Er - Radial Strain:	0.000 (%)
Ev - Volumetric Strain:	1.255 (%)
Sa - Axial Stress:	-5.800 (MPa)
Sa' - Axial Effective Stress:	-5.794 (MPa)
Sc' - Cell Effective Pressure:	0.013 (MPa)

Data Points (Rows): 35

Ensayo de Tracción (Brasilero)

Muestra VE-2

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: VE2
Test: Triaxial
Specimen: 1
Number: 1
Description: BRAZILIAN TEST
Container ID: _
Type: Rock Soft
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)
Starting Date: 06/09/11
Starting Time: 15:58:51
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
Stage Index: 1
Type: Universal
Specimen:
Height: 135.000 (mm)
Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
Diameter: 54.000 (mm)
Area: 22.902 cm²
Volume: 309.18 cm³
Phases: 1
Duration: 40.5 (sec)
Sd - Deviator Stress (MPa)
Max: 1.87
Min: 0.67
Range: 1.20
Initial: 1.30
End: 0.69
Cell Pressure (MPa)
Max: 0.20
Min: 0.18
Range: 0.02

Initial: 0.20
End 0.19
Pore Pressure (MPa)
Max: 0.02
Min: 0.00
Range: 0.02
Initial: 0.01
End 0.01
Axial Load (kN)
Max: 4.72
Min: 1.97
Range: 2.75
Initial: 3.44
End 2.02
Axial Displacement (mm)
Max: 0.56
Min: 0.22
Range: 0.34
Initial: 0.22
End 0.56
Data Points (Rows): 441

Ultrasonido

Muestra VE-3

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

UltrasonicsSpecimen

ID: **ESQUISTO VE-3_30m**
Description: **CON MIEL 25 C**
Type: Shale
Height: 103.0000 mm
Density: 2.67e-006 kg/mm³
Mass: 0.63 kg
Diameter: 54 mm
Volume: 235893 mm³
P Velocity: 4949 (m/s)
S Velocity: 2842 (m/s)
u - Poisson's Ratio: 0.25
Young's Modulus: 54099232 (kPa)
Bulk Modulus: 36659008 (kPa)
Shear (Rigidity) Modulus: 21569928 (kPa)

Ultrasonics Configuration

=====

High Speed Input Board: GCTS Scope
Address: 0x330
Ultrasonic Pulser: GCTS Pulser
Trigger: Internal (Software)
Face To Face Arrival Times:
--- 1 *: Platen 1 -----
P Wave Platens: 0.01 (msec)
P Wave Platens: 0.01 (msec)
Number of Data Points in Waveform: 4096
Number of Waveforms to Stack: 2
Default Frequency Limit for FFT: 100 kHz

P WAVE

=====

----- **Setup** -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS

----- Methods Setup -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method	Arrival Time:	P Velocity (msec)	(m/s)
--------	---------------	-------------------	-------

1 - Absolute Threshold:	0.00	0
2 - Relative Threshold:	0.00	0
3 - Rel. of First Peak:	0.04	3010
4 - First Peak Time:	0.04	2779
5 - Tang. of First Peak:	0.04	3032

Average	0.04	2936
---------	------	------

Typical 0.05 - 0.05	2250 - 2250
---------------------	-------------

Results:	0.03	4949
----------	------	------

Sampling Period: 0.00 (msec)
Total Waves: 2
Data Points (Rows): 4096

S WAVE

=====

----- Setup -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)

----- Filter -----

Data Window: Rectangular
Type: Butterworth
Order: 2
Mode: Bandpass
Frequencies (Hz)
High: 200000.0
Low: 50000.0

----- Methods Setup -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)

Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: S Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.10 1123
2 - Relative Threshold: 0.05 2284
3 - Rel. of First Peak: 0.08 1408
4 - First Peak Time: 0.08 1377
5 - Tang. of First Peak: 0.08 1411

Average 0.08 1440

Results: 0.04 2842

Sampling Period: 0.00 (msec)

Total Waves: 4

Data Points (Rows): 4096

Muestra VE-2

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Ultrasonics Specimen

ID: **ESQUISTO VE-4 42m**
Description: **CON MIEL 25 C**
Type: Other
Height: 85.0000 mm
Density: 2.71e-006 kg/mm³
Mass: 0.4 kg
Diameter: 47 mm
Volume: 147470 mm³
P Velocity: 5278 (m/s)
S Velocity: 2659 (m/s)
u - Poisson's Ratio: 0.33
Young's Modulus: 50997108 (kPa)
Bulk Modulus: 49996368 (kPa)
Shear (Rigidity) Modulus: 19171886 (kPa)

Ultrasonics Configuration

=====
High Speed Input Board: GCTS Scope
Address: 0x330
Ultrasonic Pulser: GCTS Pulser
Trigger: Internal (Software)
Face To Face Arrival Times:
--- 1 *: Platen 1 -----
P Wave Platens: 0.01 (msec)
P Wave Platens: 0.01 (msec)
Number of Data Points in Waveform: 4096
Number of Waveforms to Stack: 2
Default Frequency Limit for FFT: 100 kHz

P WAVE

=====
----- **Setup** -----
Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS

----- Methods Setup -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: P Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
2 - Relative Threshold: 0.00 0
3 - Rel. of First Peak: 0.06 1637
4 - First Peak Time: 0.06 1569
5 - Tang. of First Peak: 0.06 1646

Average 0.06 1617

Results: 0.02 5278

Sampling Period: 0.00 (msec)
Total Waves: 2
Data Points (Rows): 4096

S WAVE

=====

----- **Setup** -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS

----- Methods Setup -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: S Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0

2 - Relative Threshold: 0.00 0
 3 - Rel. of First Peak: 0.00 0
 4 - First Peak Time: 0.00 0
 5 - Tang. of First Peak: 0.00 0

 Average 0.00 0

Results: 0.04 2659

Sampling Period: 0.00 (msec)

Total Waves: 4

Data Points (Rows): 4096

MUESTRA VT 42					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,035	29.405	3.035	896	100	Calcita
d=1,9085	7.609	1.9085	139	15.5	Calcita
d=2,2790	39.511	2279	133	14.8	Calcita
d=1,8710	48.624	1.871	125	14	Calcita
d=2,0879	43.3	20879	123	13.7	Calcita
d=1,6025	57.46	1.6025	71	7.9	Calcita
d=3,853	23.064	3.853	64	7.1	Calcita
d=2,4861	36.1	24861	61	6.8	Calcita
d=2,8291	31.6	28291	32	3.6	Calcita
d=1,6605	55.276	1.6605	36	4	Caolinita
d=2,5579	35.053	25579	26	29	Caolinita
d=2,3306	38.6	23306	21	23	Caolinita
d=7,045	12.555	7.045	32	3.6	Caolinita
d=3,350	26.588	3.35	343	38.3	Cuarzo muscovita
d=4,266	20.808	4.266	85	9.5	Cuarzo
d=2,4495	36.658	24495	51	5.7	Cuarzo
d=1,8157	50.205	1.8157	44	4.9	Cuarzo
d=2,1263	42.48	21263	35	3.9	Cuarzo
d=9,948	8.882	9.948	57	6.4	Muscovita
d=5,004	17.711	5.004	33	3.7	Muscovita
d=1,9815	45.753	1.9815	33	3.7	muscovita

MUESTRA VT 44					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,033	29.422	3.033	135	9.2	Calcita
d=2,0925	43.2	2.0925	35	24	Calcita
d=7,076	125	7.076	105	7.1	Clinocloro
d=3,531	25.2	3.531	66	4.5	Clinocloro
d=2,0085	45.105	2.0085	59	4	Clinocloro
d=4,764	18.68	4.746	47	3.2	Clinocloro
d=14,530	6.078	14.53	25	1.7	Clinocloro
d=4,260	20.833	4.26	362	24.5	Cuarzo
d=1,8174	50.156	1.8174	169	11.5	Cuarzo
d=1,5424	59924	1.5424	118	8	Cuarzo
d=2,4556	36.564	2.4556	113	7.7	Cuarzo
d=1,3748	68.155	1.3748	108	7.3	Cuarzo
d=2,1270	42.466	2.127	78	5.3	Cuarzo
d=1,9834	45.707	1.9834	58	3.9	cuarzo
d=1,6735	54.811	1.6735	57	3.9	Cuarzo
d=2,2437	40.195	2.2417	56	3.8	Cuarzo
d=2,2796	39.5	2.2796	105	7.1	Cuarzo-calcita
d=1,2885	73.43	1.2885	42	2.8	Cuarzo-clinocloro
d=3,347	26.608	3.347	1475	100	Cuarzo-ilita
d=10,090	8.756	10.09	32	22	Ilita
d=4,468	19.857	4.468	25	1.7	Ilita

MUESTRA VE 55					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,783	23.495	3.783	230	28.5	Albita
d=2,9285	30.5	2.9285	216	26.8	Albita
d=4,046	21.951	4.046	157	19.5	Albita
d=3,673	24.215	3.673	125	15.5	Albita
d=2,5693	34.892	2.5693	77	9.6	Albita
d=6,409	13.806	6.409	73	9.1	Albita
d=3,865	22.991	3.865	67	8.3	Albita
d=1,7865	51.084	1.7865	64	7.9	Albita
d=2,3903	37.6	2.3903	61	7.6	Albita
d=1,8861	48.209	1.8861	51	6.3	Albita
d=2,3233	38.726	2.3233	47	5.8	Albita
d=3,353	26.563	3.353	569	70.6	Albita cuarzo
d=3,206	27.806	2.206	806	100	Albita muscovita
d=2,8608	31.24	2.8608	103	12.8	Albita muscovita
d=3,506	25.383	3.506	68	8.4	Albita muscovita
d=2,7927	32.023	2.7927	57	7.1	Albita muscovita
d=4,269	20.79	4.269	104	12.9	Cuarzo
d=1,8224	50.007	1.8224	77	9.6	Cuarzo Albita
d=2,1321	42.358	2.1321	73	9.1	Cuarzo Albita
d=1,8025	50.6	1.8025	54	6.7	Cuarzo Albita
d=2,4532	36.6	2.4532	48	6	Cuarzo Albita
d=3,300	27	3.3	256	31.8	Muscovita
d=9,47	8.883	9.947	154	19.1	Muscovita
d=1,9888	45.557	1.9888	124	15.4	Muscovita
d=4,981	17791	4.981	88	10.9	Muscovita
d=2,9908	29851	2.9908	75	9.3	Muscovita
d=4,518	19.631	4.518	49	6.1	Muscovita

MUESTRA VE 56/1					
Caption	Angle 2- theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=6,418	13.788	6.418	44	5.9	Albita
d=4,041	21.978	4.041	242	32.4	Albita
d=3,865	22.991	3.865	65	8.7	Albita
d=3,783	23.498	3.783	174	23.3	Albita
d=3,676	24.192	3.676	127	17	Albita
d=3,204	27.818	3.204	512	68.6	Albita
d=2,9656	30.11	2.9656	85	11.4	Albita
d=2,9674	30.405	2.9374	81	10.9	Albita
d=2,6453	33.859	2.6453	53	7.1	Albita
d=2,5616	35	2.5616	57	7.6	Albita
d=2,4066	37.336	2.4066	50	6.7	Albita
d=2,1875	41.237	2.1875	44	5.9	Albita
d=1,9321	46.992	1.9321	40	5.4	Albita
d=1,8936	48.006	1.8936	64	8.6	Albita
d=1,7850	51.13	1.785	74	9.9	Albita
d=3,513	25.331	3.513	69	9.2	Albita muscovita
d=2,8633	31.213	2.8633	77	10.3	Albita muscovita
d=4,261	20.832	4.261	172	23.1	Cuarzo
d=2,4559	36.558	2.4559	91	12.2	Cuarzo
d=2,2810	39.474	2.281	82	11	Cuarzo
d=2,2388	40.249	2.2388	34	4.6	Cuarzo
d=1,6712	54.895	1.6712	66	8.8	Cuarzo
d=1,5432	59.886	1.5432	85	11.4	Cuarzo
d=1,3818	67.759	1.3818	71	9.5	Cuarzo
d=1,3488	69.652	1.3488	50	6.7	Cuarzo
d=1,3458	69.834	1.3458	67	9	Cuarzo
d=2,1302	42.399	2.1302	75	10.1	Cuarzo albita
d=1,8187	50.116	1.8187	151	20.2	Cuarzo albita
d=3,352	26.572	3.352	746	100	Cuarzo albita muscovita
d=1,9811	45.762	1.9811	92	12.3	Cuarzo muscovita
d=10,053	8.789	10.053	64	8.6	Muscovita
d=4,965	17.852	4.965	51	6.8	Muscovita

MUESTRA VE 60					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,24	27.819	3.204	104	11.7	Albita muscovita
d=2,8796	31.031	2.8796	47	5.3	Albita muscovita
d=14,268	6.189	14.268	76	8.5	Clorita
d=7,148	12.373	7.148	57	6.4	Clorita
d=4,818	18.4	4.818	55	6.2	Clorita
d=4,476	19,819	4.476	41	4.6	Clorita
d=3,572	24.908	3.572	58	6.5	Clorita
d=2,8378	31.5	2.8378	44	4.9	Clorita
d=2,4247	37.046	2.4247	45	5.1	Clorita
d=2,003	45.3	2.0003	51	5.7	Clorita muscovita
d=2,5616	35	2.247	54	6.1	Clorita muscovita albita
d=4,4247	20.9	4.247	195	21.9	Cuarzo
d=2,4532	36.6	2.4532	83	9.3	Cuarzo
d=2,2796	39.55	2.2796	76	8.5	Cuarzo
d=1,5417	9.953	1.5417	62	7	Cuarzo
d=1,3824	67.728	1.3824	67	7.5	Cuarzo
d=1,3767	68.047	1.3767	76	8.5	Cuarzo
d=2,2336	40.348	2.2336	44	4.9	Cuarzo clorita
d=1,8181	50.135	1.8181	121	13.6	Cuarzo clorita
d=3,342	26.656	3.342	889	100	Cuarzo muscovita albita
d=10,042	8.799	10.042	98	11	Muacovita
d=9,605	9.2	9.605	72	8.1	Muscovita
d=4,968	17.839	4.968	48	5.4	Muscovita

Muestra TT-4

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Project: TESIS BERNAL & CHEIK

Customer: ODRA BERNAL

Sample: TT4

Test: Triaxial

Specimen: 3

Number: 3

Description: COMPRESIÓN SIMPLE

Container ID: -

Type: Rock Hard

Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:

Moist Mass of Specimen: 432.33 (gr)

Moist Density: 137143 (kg/m³)

Height of Platen(s): 0.000 (mm)

Diametral Membrane Thickness: 47.500 (mm)

Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)

Mass of Final Moist Apparatus: 0.0000 (gr)

Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)

Starting Date: 07/13/11

Starting Time: 10:37:34

Controller ID: 1577 SCON-2000

Triaxial Inputs

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Static Loading

Specimen:

Height: 95.000 (mm)

Axial Gauge Length: 53.800 (mm)

Diameter: 6.500 (mm)

Area: 0.332 cm²

Volume: 3.15239cm³

Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 1353.7 (MPa)

Time: 13.6823(Seconds)

CP - Cell Pressure: 0.0 (MPa)

U - Pore Pressure: 0.0 (MPa)

Ea - Axial Strain: -0.003 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: -0.003 (%)

Sa - Axial Stress: 1353.7 (MPa)

Sa' - Axial Effective Stress: 1353.7 (MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.0 (MPa)

End (Residual) Sd - Deviator Stress: -11.9 (MPa)

Time: 14.3234(Seconds)

CP - Cell Pressure: 0.0 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.0 (MPa)

Ea - Axial Strain: -0.003 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: -0.003 (%)

Sa - Axial Stress: -11.9 (MPa)

Sa' - Axial Effective Stress: -11.9 (MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.0 (MPa)

Data Points (Rows): 3762

Muestra TT-5

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced **Version:** 1.89

Project: TESIS BERNAL & CHEIK

Customer: ODRA BERNAL

Sample: TT5

Test: Triaxial

Specimen: M1

Number: 3

Description: COMPRESION SIMPLE

Container ID: -

Type: Rock Medium

Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:

Moist Mass of Specimen: 580.94 (gr)

Moist Density: 2656.14 (kg/m³)

Height of Platen(s): 0.000 (mm)

Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)

Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)

Mass of Final Moist Apparatus: 0.0000 (gr)

Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)

Starting Date: 07/15/11

Starting Time: 12:53:42

Controller ID: 1577 SCON-2000

Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Static Loading

Specimen:

Height: 95.500 (mm)

Axial Gauge Length: 95.500 (mm)

Diameter: 54.000 (mm)

Area: 22.902 cm²

Volume: 218.716cm³

Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 27.661 (MPa)

Time: 13.6872 (Seconds)

CP - Cell Pressure: 0.000 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.007 (MPa)

Ea - Axial Strain: 0.960 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: 0.960 (%)

Sa - Axial Stress: 27.661 (MPa)

Sa' - Axial Effective Stress: 27.668 (MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.007 (MPa)

End (Residual) Sd - Deviator Stress: -4.480 (MPa)

Time: 15.8185 (Seconds)

CP - Cell Pressure: 0.000 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.007 (MPa)

Ea - Axial Strain: 1.385 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: 1.385 (%)
Sa - Axial Stress: -4.480 (MPa)
Sa' - Axial Effective Stress: -4.473 (MPa)
Sc' - Cell Effective Pressure: 0.007 (MPa)

Data Points (Rows): 63

MUESTRA TT 12

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: TT12
Test: Triaxial
Specimen: M1
Number: 1
Description: COMPRESION SIMPLE
Container ID: -
Type: Rock Soft
Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:
Moist Mass of Specimen: 334.2 (gr)
Moist Density: 2166.8 (kg/m³)
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)
Starting Date: 07/15/11
Starting Time: 12:44:30
Controller ID: 1577 SCON-2000

Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Static Loading

Specimen:

Height: 88.900 (mm)

Axial Gauge Length: 88.900 (mm)

Diameter: 47.000 (mm)

Area: 17.349 cm²

Volume: 154.237cm³

Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 15.551 (MPa)

Time: 4.45459(Seconds)

CP - Cell Pressure: 0.000 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.007 (MPa)

Ea - Axial Strain: 0.382 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: 0.382 (%)

Sa - Axial Stress: 15.551 (MPa)

Sa' - Axial Effective Stress: 15.558 (MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.007 (MPa)

End (Residual) Sd - Deviator Stress: -6.865 (MPa)

Time: 7.42138(Seconds)

CP - Cell Pressure: 0.000 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.013 (MPa)

Ea - Axial Strain: 0.862 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: 0.862 (%)

Sa - Axial Stress: -6.865 (MPa)

Sa' - Axial Effective Stress: -6.851 (MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.013 (MPa)

Data Points (Rows): 34

Muestra TT-37

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: TT-37
Test: Triaxial
Specimen: M1-1
Number: 2
Description: COMPRESION SIMPLE
Container ID:
Type: Rock Hard

Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:

Moist Mass of Specimen: 576.31 (gr)
Moist Density: 2950.99(kg/m³)
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)
Starting Date: 07/18/11
Starting Time: 10:26:08
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
Stage Index: 1

Type: Static Loading
Specimen:

Height: 82.500 (mm)
Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
Diameter: 54.900 (mm)
Area: 23.672 cm²
Volume: 195.294cm³

Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 109.737(MPa)

Time: 3586.35(Seconds) => 59:46

CP - Cell Pressure: 0.020 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.034 (MPa)

Ea - Axial Strain: 0.000 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: 0.000 (%)

Sa - Axial Stress: 109.757(MPa)

Sa' - Axial Effective Stress: 109.790(MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.053 (MPa)

End (Residual) Sd - Deviator Stress: -5.663 (MPa)

Time: 3600.54(Seconds) => 01:00:00

CP - Cell Pressure: 0.013 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.034 (MPa)

Ea - Axial Strain: 0.000 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)
Ev - Volumetric Strain: 0.000 (%)
Sa - Axial Stress: -5.650 (MPa)
Sa' - Axial Effective Stress: -5.616 (MPa)
Sc' - Cell Effective Pressure: 0.047 (MPa)

Data Points (Rows): 1820

Muestra VT-42

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: VT42
Test: Triaxial
Specimen: M1
Number: 3
Description: COMPRESION SIMPLE
Container ID: -
Type: Rock Soft
Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:
Moist Mass of Specimen: 289.34 (gr)
Moist Density: 2695.4 (kg/m³)
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)
Starting Date: 07/15/11
Starting Time: 12:30:44
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Static Loading

Specimen:

Height: 78.600 (mm)

Axial Gauge Length: 78.600 (mm)

Diameter: 41.700 (mm)

Area: 13.657 cm²

Volume: 107.346cm³

Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 37.062 (MPa)

Time: 11.6336(Seconds)

CP - Cell Pressure: 0.000 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.013 (MPa)

Ea - Axial Strain: 1.436 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: 1.436 (%)

Sa - Axial Stress: 37.062 (MPa)

Sa' - Axial Effective Stress: 37.075 (MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.013 (MPa)

End (Residual) Sd - Deviator Stress: -6.507 (MPa)

Time: 13.8216(Seconds)
CP - Cell Pressure: 0.000 (MPa)
U - Pore Pressure: -0.013 (MPa)
Ea - Axial Strain: 2.074 (%)
Er - Radial Strain: 0.000 (%)
Ev - Volumetric Strain: 2.074 (%)
Sa - Axial Stress: -6.507 (MPa)
Sa' - Axial Effective Stress: -6.493 (MPa)
Sc' - Cell Effective Pressure: 0.013 (MPa)

Data Points (Rows): 81

Muestra VT 44

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: Odra BERNAL
Sample: VT44
Test: Triaxial
Specimen: M1
Number: 1
Description: -
Container ID: -
Type: Rock Medium
Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:
Moist Mass of Specimen: 272.56 (gr)
Moist Density: 2573.85(kg/m³)
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)
Starting Date: 07/15/11
Starting Time: 12:25:19
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Static Loading

Specimen:

Height: 76.800 (mm)
Axial Gauge Length: 76.800 (mm)
Diameter: 41.900 (mm)
Area: 13.789 cm²
Volume: 105.896 cm³

Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 24.949 (MPa)

Time: 9.25363 (Seconds)

CP - Cell Pressure: 0.000 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.013 (MPa)

Ea - Axial Strain: 0.913 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: 0.913 (%)

Sa - Axial Stress: 24.949 (MPa)

Sa' - Axial Effective Stress: 24.962 (MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.013 (MPa)

End (Residual) Sd - Deviator Stress: -5.526 (MPa)

Time: 14.3791 (Seconds)

CP - Cell Pressure: 0.007 (MPa)

U - Pore Pressure: -0.007 (MPa)

Ea - Axial Strain: 2.320 (%)

Er - Radial Strain: 0.000 (%)

Ev - Volumetric Strain: 2.320 (%)

Sa - Axial Stress: -5.519 (MPa)

Sa' - Axial Effective Stress: -5.512 (MPa)

Sc' - Cell Effective Pressure: 0.013 (MPa)

Data Points (Rows): 60

Muestra VE-60

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: VE60
Test: Triaxial
Specimen: 2
Number: 2
Description: COMPRESIÓN SIMPLE
Container ID: -
Type: Rock Hard
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)
Starting Date: 07/13/11
Starting Time: 10:16:08
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Completed - Input Limit Duration reached

Stages: 1
Stage Index: 1
Type: Static Loading
Specimen:
Height: 71.000 (mm)
Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
Diameter: 42.600 (mm)
Area: 14.253 cm²
Volume: 101.197 cm³
Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 63.335 (MPa)
Time: 15.1457 (Seconds)
CP - Cell Pressure: 0.085 (MPa)
U - Pore Pressure: 0.121 (MPa)
Ea - Axial Strain: 0.001 (%)
Er - Radial Strain: 0.000 (%)
Ev - Volumetric Strain: 0.001 (%)
Sa - Axial Stress: 63.421 (MPa)
Sa' - Axial Effective Stress: 63.300 (MPa)
Sc' - Cell Effective Pressure: -0.036 (MPa)
End (Residual) Sd - Deviator Stress: 63.335 (MPa)
Time: 15.1457 (Seconds)
CP - Cell Pressure: 0.085 (MPa)
U - Pore Pressure: 0.121 (MPa)

Ea - Axial Strain:	0.001 (%)
Er - Radial Strain:	0.000 (%)
Ev - Volumetric Strain:	0.001 (%)
Sa - Axial Stress:	63.421 (MPa)
Sa' - Axial Effective Stress:	63.300 (MPa)
Sc' - Cell Effective Pressure:	-0.036 (MPa)

Data Points (Rows): 67

Muestra TT4
 software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
 Project: TESIS BERNAL & CHEIK
 Customer: ODRA BERNAL
 Sample: TT4
 Test: Triaxial
 Specimen: 1
 Number: 1
 Description: **Traccion indirecta_**
 Container ID: _
 Type: Rock Soft
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)
 Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
 Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)
 Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)
 Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)
 Starting Date: 06/09/11
 Starting Time: 13:39:33
 Controller ID: 1577 SCON-2000
 Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Specimen:

Height: 135.000 (mm)

Axial Gauge Length: 50.000 (mm)

Diameter: 54.000 (mm)

Area: 22.902 cm²

Volume: 309.18 cm³

Phases: 1

Duration: 69.7 (sec) => 1.16 (min) => 01:09

Sd - Deviator Stress (MPa)

Max: 3.58

Min: 1.04

Range: 2.54

Initial: 1.05

End: 2.00

Cell Pressure (MPa)

Max: 0.22

Min: 0.18

Range: 0.03

Initial: 0.19

End: 0.20

Pore Pressure (MPa)

Max: 0.09

Min: 0.07

Range: 0.03

Initial: 0.08

End: 0.08

Axial Load (kN)

Max: 8.66

Min: 2.84

Range: 5.82

Initial: 2.84

End 5.04

Axial Displacement (mm)

Max: 0.72

Min: 0.14

Range: 0.58

Initial: 0.14

End 0.72

Data Points (Rows): 1676

Muestra TT-5

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: TT5
Test: Triaxial
Specimen: 1
Number: 1
Description: **Traccion indirecta_**
Container ID: -
Type: Rock Soft
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)
Starting Date: 06/09/11
Starting Time: 15:40:10
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
Stage Index: 1
Type: Universal
Specimen:
Height: 135.000 (mm)
Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
Diameter: 54.000 (mm)
Area: 22.902 cm²
Volume: 309.18 cm³
Phases: 1
Duration: 109.4 (sec) => 1.82 (min) => 01:49
Sd - Deviator Stress (MPa)
Max: 8.26
Min: 1.29
Range: 6.97
Initial: 1.29
End: 3.96
Cell Pressure (MPa)
Max: 0.20
Min: 0.18
Range: 0.02
Initial: 0.19
End: 0.20
Pore Pressure (MPa)
Max: 0.02
Min: 0.00
Range: 0.02

Initial: 0.01
End 0.01
Axial Load (kN)
Max: 19.38
Min: 3.39
Range: 15.99
Initial: 3.39
End 9.53
Axial Displacement (mm)
Max: 1.17
Min: 0.26
Range: 0.91
Initial: 0.26
End 1.17

Data Points (Rows): 1190

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
 Project: TESIS BERNAL & CHEIK
 Customer: ODRA BERNAL
 Sample: TT4
 Test: Triaxial
 Specimen: 2
 Number: 2
 Description: **_ Traccion indirecta_**
 Container ID: -
 Type: Rock Soft
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)
 Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
 Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)
 Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)
 Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)
 Starting Date: 06/09/11
 Starting Time: 15:28:22
 Controller ID: 1577 SCON-2000
 Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Specimen:

Height: 135.000 (mm)
 Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
 Diameter: 54.000 (mm)
 Area: 22.902 cm²
 Volume: 309.18 cm³
 Phases: 1
 Duration: 40.8 (sec)
 Sd - Deviator Stress (MPa)
 Max: 3.37
 Min: 1.22
 Range: 2.15
 Initial: 1.22
 End: 1.38
 Cell Pressure (MPa)
 Max: 0.20
 Min: 0.18
 Range: 0.02
 Initial: 0.20
 End: 0.20
 Pore Pressure (MPa)
 Max: 0.02
 Min: 0.00
 Range: 0.02
 Initial: 0.02
 End: 0.01
 Axial Load (kN)

	Max:	8.15
	Min:	3.25
	Range:	4.90
	Initial:	3.25
	End	3.62
Axial Displacement	(mm)	
	Max:	0.53
	Min:	0.19
	Range:	0.34
	Initial:	0.19
	End	0.53
Data Points (Rows):	264	

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
 Project: TESIS BERNAL & CHEIK
 Customer: ODRA BERNAL
 Sample: TT5
 Test: Triaxial
 Specimen: 2
 Number: 2
 Description: **Traccion indirecta_**
 Container ID: _
 Type: Rock Soft
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)
 Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
 Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)
 Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)
 Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)
 Starting Date: 06/09/11
 Starting Time: 15:47:33
 Controller ID: 1577 SCON-2000
 Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
 Stage Index: 1
 Type: Universal
 Specimen:
 Height: 135.000 (mm)
 Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
 Diameter: 54.000 (mm)
 Area: 22.902 cm²
 Volume: 309.18 cm³
 Phases: 1
 Duration: 100.2 (sec) => 1.67 (min) => 01:40
 Sd - Deviator Stress (MPa)
 Max: 7.53
 Min: 1.34
 Range: 6.19
 Initial: 1.34
 End: 7.25
 Cell Pressure (MPa)
 Max: 0.20
 Min: 0.18
 Range: 0.02
 Initial: 0.20
 End: 0.19
 Pore Pressure (MPa)
 Max: 0.03

Min: 0.00
Range: 0.03
Initial: 0.02
End 0.01
Axial Load (kN)
Max: 17.68
Min: 3.53
Range: 14.15
Initial: 3.53
End 17.04
Axial Displacement (mm)
Max: 1.02
Min: 0.18
Range: 0.84
Initial: 0.18
End 1.02

Data Points (Rows): 1168

Muetra VT-42

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: VT42
Test: Triaxial
Specimen: 2
Number: 2
Description: BRAZILIAN TEST_
Container ID: _
Type: Rock Soft
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)
Starting Date: 06/09/11
Starting Time: 16:19:52
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Universal

Specimen:

Height: 135.000(mm)

Axial Gauge Length: 50.000 (mm)

Diameter: 54.000 (mm)

Area: 22.902 cm²

Volume: 309.18 cm³

Phases: 1

Duration: 30.8(sec)

Sd - Deviator Stress (MPa)

Max: 2.43

Min: 0.27

Range: 2.16

Initial: 1.31

End 0.29

Cell Pressure (MPa)

Max: 0.20

Min: 0.18

Range: 0.02

Initial: 0.19

End 0.19

Pore Pressure (MPa)

Max: 0.02

Min: 0.00

Range: 0.02

Initial: 0.01

End 0.01

Axial Load (kN)

Max: 6.00

Min: 1.05

Range: 4.95

Initial: 3.44

End 1.10

Axial Displacement (mm)

Max: 0.47

Min: 0.22

Range: 0.26

Initial: 0.22

End 0.47

Data Points (Rows): 313

ULTRASONIDO

Muestra TT-6

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Ultrasonics Specimen

ID: **ESQUISTO TT6_32M**
Description: **CON MIEL 25 C**
Type: Shale
Height: 100.0000 mm
Density: 2.71e-006 kg/mm³
Mass: 0.46972 kg
Diameter: 47 mm
Volume: 173494 mm³
P Velocity: 5016 (m/s)
S Velocity: 2759 (m/s)
u - Poisson's Ratio: 0.28
Young's Modulus: 52893684 (kPa)
Bulk Modulus: 40650020 (kPa)
Shear (Rigidity) Modulus: 20611134 (kPa)

Ultrasonics Configuration

High Speed Input Board: GCTS Scope
Address: 0x330
Ultrasonic Pulser: GCTS Pulser
Trigger: Internal (Software)
Face To Face Arrival Times:

--- 1 *: Platen 1 -----
P Wave Platens: 0.01 (msec)
P Wave Platens: 0.01 (msec)
Number of Data Points in Waveform: 4096
Number of Waveforms to Stack: 2
Default Frequency Limit for FFT: 100 kHz

P WAVE

----- Setup -----
Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS

----- Methods Setup -----
Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)

Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: P Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
2 - Relative Threshold: 0.00 0
3 - Rel. of First Peak: 0.03 3903
4 - First Peak Time: 0.04 2910
5 - Tang. of First Peak: 0.03 3910

Average 0.04 3506

Typical 0.04 - 0.04 2250 - 2250

Results: 0.03 5016

Sampling Period: 0.00 (msec)

Total Waves: 2

Data Points (Rows): 4096

Muestra TT-4

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Ultrasonics Specimen

ID: **ESQUISTO GRAFITOSO TT-4**

Description: **CON MIEL 25 C**

Type: Other
Height: 87.0000 mm
Density: 2.64e-006 kg/mm³
Mass: 0.4kg
Diameter: 47.1 mm
Volume: 151583mm³
P Velocity: 5481 (m/s)
S Velocity: 3554 (m/s)
u - Poisson's Ratio: 0.14
Young's Modulus: 75804976 (kPa)
Bulk Modulus: 34841356 (kPa)
Shear (Rigidity) Modulus: 33324376(kPa)

Ultrasonics Configuration

=====
High Speed Input Board: GCTS Scope
Address: 0x330
Ultrasonic Pulser: GCTS Pulser
Trigger: Internal (Software)
Face To Face Arrival Times:
--- 1 *: Platen 1 -----
P Wave Platens: 0.01 (msec)
P Wave Platens: 0.01 (msec)
Number of Data Points in Waveform: 4096
Number of Waveforms to Stack: 2
Default Frequency Limit for FFT: 100 kHz

P wave

----- Setup -----
Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS
----- Methods Setup -----
Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

 Method Arrival Time: P Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
 2 - Relative Threshold: 0.00 0
 3 - Rel. of First Peak: 0.00 0
 4 - First Peak Time: 0.03 4749
 5 - Tang. of First Peak: -0.04 0

 Average 0.03 4749

Results: 0.02 5481

Sampling Period: 0.00 (msec)
 Total Waves: 6
 Data Points (Rows): 4096

S wave

----- Setup -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
 External Manual Gain: 5V (highest)
 Input Automatic Gain: 20 (db)
 Energy Output: 100 (%)
 Damping: 0.00 (msec)
 Delay: 0.00 (msec)
 Filter: NS

----- Methods Setup -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
 Relative Threshold: 3.0 (%)
 Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
 Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
 Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: S Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
 2 - Relative Threshold: 0.00 0
 3 - Rel. of First Peak: 0.00 0
 4 - First Peak Time: 0.00 0
 5 - Tang. of First Peak: 0.00 0

Average 0.00 0

Results: 0.03 3554

Sampling Period: 0.00 (msec)
 Total Waves: 4
 Data Points (Rows): 4096

Muestra VT44

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Ultrasonics Specimen

ID: **ESQUISTO VT44**
Description: **CON MIEL 25 C**
Type: Shale
Height: 78.0000 mm
Density: 2.59e-006 kg/mm³
Mass: 0.28 kg
Diameter: 42 mm
Volume: 108065 mm³
P Velocity: 3913 (m/s)
S Velocity: 1664 (m/s)
u - Poisson's Ratio: 0.39
Young's Modulus: 19942564 (kPa)
Bulk Modulus: 30102050 (kPa)
Shear (Rigidity) Modulus: 7175734 (kPa)

Ultrasonics Configuration

=====
High Speed Input Board: GCTS Scope
Address: 0x330
Ultrasonic Pulser: GCTS Pulser
Trigger: Internal (Software)
Face To Face Arrival Times:
--- 1 *: Platen 1 -----
P Wave Platens: 0.01 (msec)
P Wave Platens: 0.01 (msec)
Number of Data Points in Waveform: 4096
Number of Waveforms to Stack: 2
Default Frequency Limit for FFT: 100 kHz

P WAVE =====

----- **Setup** -----
Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS
----- Methods Setup -----
Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)

Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: P Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
2 - Relative Threshold: 0.00 0
3 - Rel. of First Peak: 0.05 2025
4 - First Peak Time: 0.05 1673
5 - Tang. of First Peak: 0.05 2038

Average 0.05 1896

Typical 0.03 - 0.03 2250 - 2250

Results: 0.03 3913

Sampling Period: 0.00 (msec)
Total Waves: 4
Data Points (Rows): 4096

S WAVE

Setup

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)

Filter

Data Window: Rectangular
Type: Butterworth
Order: 2
Mode: Bandpass
Frequencies (Hz)
High: 200000.0
Low: 5 0000.0

Methods Setup

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method	Arrival Time:	S Velocity (msec)	(m/s)
1 - Absolute Threshold:	0.00	0	
2 - Relative Threshold:	0.00	0	
3 - Rel. of First Peak:	0.00	0	
4 - First Peak Time:	0.00	0	
5 - Tang. of First Peak:	0.00	0	
Average	0.00	0	
Results:	0.05	1664	
Sampling Period:	0.00	(msec)	
Total Waves:	6		
Data Points (Rows):	4096		

Muestra VE- 55

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Ultrasonics Specimen

ID: **ESQUISTO VE-55_20m**

Description: **CON MIEL 25 C**

Type: Other

Height: 102.0000 mm

Density: 2.61e-006 kg/mm³

Mass: 0.46225 kg

Diameter: 47 mm

Volume: 176964 mm³

P Velocity: 1565 (m/s)

S Velocity: 691 (m/s)

u - Poisson's Ratio: 0.38

Young's Modulus: 3435510 (kPa)

Bulk Modulus: 4737322 (kPa)

Shear (Rigidity) Modulus: 1245532 (kPa)

Ultrasonics Configuration

High Speed Input Board: GCTS Scope

Address: 0x330

Ultrasonic Pulser: GCTS Pulser

Trigger: Internal (Software)

Face To Face Arrival Times:

--- 1 *: Platen 1 -----

P Wave Platens: 0.01 (msec)

P Wave Platens: 0.01 (msec)

Number of Data Points in Waveform: 4096

Number of Waveforms to Stack: 2

Default Frequency Limit for FFT: 100 kHz

P WAVE

----- Setup -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)

External Manual Gain: 5V (highest)

Input Automatic Gain: 20 (db)

Energy Output: 100 (%)

Damping: 0.00 (msec)

Delay: 0.00 (msec)

----- Filter -----

Data Window: Rectangular

Type: Butterworth

Order: 2

Mode: Bandpass

Frequencies (Hz)

High: 50.0

Low: 10.0

----- Methods Setup -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Thresh old: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method	Arrival Time:	P Velocity (msec)	(m/s)
--------	---------------	-------------------	-------

1 - Absolute Threshold: 0.04 2946
2 - Relative Threshold: 0.11 1030
3 - Rel. of First Peak: 0.10 1121
4 - First Peak Time: 0.10 1063
5 - Tang. of First Peak: 0.10 1122

Average	0.09	1239
---------	------	------

Results:	0.07	1565
----------	------	------

Sampling Period: 0.00 (msec)
Total Waves: 10
Data Points (Rows): 4096

S WAVE

----- Setup -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS

----- Methods Setup -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method	Arrival Time:	S Velocity (msec)	(m/s)
--------	---------------	-------------------	-------

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
2 - Relative Threshold: 0.00 0
3 - Rel. of First Peak: 0.00 0
4 - First Peak Time: 0.00 0

5 - Tang. of First Peak: 0.00 0

Average 0.00 0

Results: 0.16 691

Sampling Period: 0.00 (msec)

Total Waves: 2

Data Points (Rows): 4096

Muestra VE- 56

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Ultrasonics Specimen

ID: VE 56_4_41m
Description: CON MIEL
Type: Other
Height: 80.0000 mm
Density: 2.66e-003 kg/mm³
Mass: 369.8 kg
Diameter: 47mm
Volume: 138796 mm³
P Velocity: 1854 (m/s)
S Velocity: 694 (m/s)
u - Poisson's Ratio: 0.42
Young's Modulus: 3643155968 (kPa)
Bulk Modulus: 7446046208 (kPa)
Shear (Rigidity) Modulus: 1284199296 (kPa)

Ultrasonics Configuration

High Speed Input Board: GCTS Scope
Address: 0x330
Ultrasonic Pulser: GCTS Pulser
Trigger: Internal (Software)

Face To Face Arrival Times:

--- 1 *: Platen 1 -----

P Wave Platens: 0.01 (msec)

P Wave Platens: 0.01 (msec)

Number of Data Points in Waveform: 4096

Number of Waveforms to Stack: 2

Default Frequency Limit for FFT: 100 kHz

P WAVE

----- Setup -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)

External Manual Gain: 5V (highest)

Input Automatic Gain: 20 (db)

Energy Output: 100 (%)

Damping: 0.00 (msec)

Delay: 0.00 (msec)

Filter: NS

----- Methods Setup -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)

Relative Threshold: 3.0 (%)

Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)

Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)

Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: P Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
2 - Relative Threshold: 0.00 0
3 - Rel. of First Peak: 0.00 0
4 - First Peak Time: 0.00 0
5 - Tang. of First Peak: 0.00 0

Average 0.00 0

Results: 0.05 1854

Sampling Period: 0.00 (msec)
Total Waves: 10
Data Points (Rows): 4096

S WAVE

----- **Setup** -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS

----- **Methods Setup** -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: S Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
2 - Relative Threshold: 0.00 0
3 - Rel. of First Peak: 0.00 0
4 - First Peak Time: 0.00 0
5 - Tang. of First Peak: 0.00 0

Average 0.00 0

Results: 0.12 694

Sampling Period: 0.00 (msec)
Total Waves: 6
Data Points (Rows): 4096

Muestra VE-60

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Ultrasonics Specimen

ID: ESQUISTO VE60_24m
Description: CON MIEL 25 C
Type: Other
Height: 71.0000 mm
Density: 2.68e-006 kg/mm³
Mass: 0.33 kg
Diameter: 47 mm
Volume: 123181 mm³
P Velocity: 4374 (m/s)
S Velocity: 782 (m/s)
u - Poisson's Ratio: 0.48
Young's Modulus: 4858821 (kPa)
Bulk Modulus: 49065056 (kPa)
Shear (Rigidity) Modulus: 1637626 (kPa)

Ultrasonics Configuration

High Speed Input Board: GCTS Scope
Address: 0x330
Ultrasonic Pulser: GCTS Pulser
Trigger: Internal (Software)

Face To Face Arrival Times:

--- 1 *: Platen 1 -----

 P Wave Platens: 0.01 (msec)

 P Wave Platens: 0.01 (msec)

Number of Data Points in Waveform: 4096

Number of Waveforms to Stack: 2

Default Frequency Limit for FFT: 100 kHz

P WAVE

----- **Setup** -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)

External Manual Gain: 5V (highest)

Input Automatic Gain: 20 (db)

Energy Output: 100 (%)

Damping: 0.00 (msec)

Delay: 0.00 (msec)

Filter: NS

----- **Methods Setup** -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)

Relative Threshold: 3.0 (%)

Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)

Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: P Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
2 - Relative Threshold: 0.00 0
3 - Rel. of First Peak: 0.04 2150
4 - First Peak Time: 0.04 2042
5 - Tang. of First Peak: 0.04 2164

Average 0.04 2117

Results: 0.02 4374

Sampling Period: 0.00 (msec)
Total Waves: 4
Data Points (Rows): 4096

S WAVE

=====
----- **Setup** -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS

----- **Methods Setup** -----

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
Relative Threshold: 3.0 (%)
Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: S Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
2 - Relative Threshold: 0.00 0
3 - Rel. of First Peak: 0.00 0
4 - First Peak Time: 0.00 0
5 - Tang. of First Peak: 0.00 0

Average 0.00 0

Results: 0.10 782

Sampling Period: 0.00 (msec)
Total Waves: 2
Data Points (Rows): 4096

Difraccion de rayos X

MUESTRA TT 24					
Caption	Angle 2-theta	d Value Angstrom	Intensity Count	Intensity %	
d=3,009	29.668	3.009	686	76	Calcita
d=1,9031	47.753	1.9031	62	6.9	Calcita
d=1,8681	48.704	1.8681	62	6.9	Calcita
d=2,0852	43.358	2.0852	48	5.3	Calcita
d=3,819	23.271	3.819	33	3.7	Calcita
d=3,516	25.309	3.516	59	6.5	Caolinita
d=6,987	12.658	6.987	56	6.2	Caolinita
d=2,4820	36.161	2.482	41	4.5	Caolinita
d=4,236	20.956	4.236	209	23.1	Cuarzo
d=1,8135	50.272	1.8135	94	10.4	Cuarzo
d=2,4505	36.642	2.4505	76	8.4	Cuarzo
d=1,3721	68.303	1.3721	58	6.4	Cuarzo
d=2,1191	42.632	2.1191	57	6.3	Cuarzo
d=1,3794	67.894	1.3794	47	5.2	Cuarzo
d=2,2279	40.455	2.2279	43	4.8	Cuarzo
d=2,2694	39.648	2.2694	84	9.3	Cuarzo calcita caolinita
d=1,5397	60.038	1.5397	75	8.3	Cuarzo caolinita
d=1,6665	55.063	1.6665	39	4.3	Cuarzo caolinita
d=3,331	26.74	3.331	903	100	Cuarzomuscovita
d=4,997	17.806	4.977	22	2.4	muscovita
d=9,818	9	9.818	20	2.2	muscovita
d=1,9714	46	1.9714	50	5.5	Muscovita caolinita
d=1,9966	45.391	1.9964	42	4.7	Muscovita caolinita

COMPRESION SIMPLE

Muestra TT-24

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: TT24
Test: Triaxial
Specimen: M1
Number: 3
Description: COMPRESION SIMPLE
Container ID: _
Type: Rock Soft
Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:
Moist Mass of Specimen: 306.22 (gr)
Moist Density: 2616.1 (kg/m³)
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.0000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus : 0.0000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.0000 (gr)
Starting Date: 07/15/11
Starting Time: 12:37:23
Controller ID: 1577 SCON-2000

Triaxial Setup: (configuración utilizada para todos los ensayos de compresión simple)

Stages: 1

01:00 Static: uniaxial

Axial Actuator

Control Feedback: UFI-3:

ave. LVDT1_2

Mode: Ramp

Initial Value: Relative

Ramp Rate: 0.02 (mm)/(Minute(s))

Final Value: 3(mm)

Cell Pressure

Control Feedback: None Control Undefined

Pore Pressure

Control Feedback: None Control Undefined

Stage End

Maximum Axial Strain: NS

Maximum Time for Static Loading Stage: NS

Input Limit:

Input: AI-2: Axial Displacement

Check Type: > =

Check Value: 3 (mm)
 Peak Reversal: NS
 Data Acquisition: Automatic
 Type: Drained
 Beginning of Stage – Handling Strains: Zero Deformations
 Save Objects – Save @ each Recording: Time

Inputs: 12

AI-1: Axial Load
 AI-2: Axial Displacement
 AI-3: Cell Pressure
 AI-5: Pore Pressure
 AI-6: Internal LVDT 1
 AI-7: Internal LVDT 2
 AI-8: Internal LVDT 3
 UFI-3: ave. LVDT1_2
 TI-1: Ea - Axial Strain
 TI-2: Er - Radial Strain
 TI-3: Ev - Volumetric Strain
 TI-7: Sd - Deviator Stress
 Analog Outputs: 0

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
 Stage Index: 1
 Type: Static Loading
 Specimen:
 Height: 87.800 (mm)
 Axial Gauge Length: 87.800 (mm)
 Diameter: 41.200 (mm)
 Area: 13.332 cm²
 Volume: 117.052 cm³
 Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 9.918 (MPa)
 Time: 5.31746 (Seconds)
 CP - Cell Pressure: -0.013 (MPa)
 U - Pore Pressure: -0.007 (MPa)
 Ea - Axial Strain: 0.249 (%)
 Er - Radial Strain: 0.000 (%)
 Ev - Volumetric Strain: 0.249 (%)
 Sa - Axial Stress: 9.905 (MPa)
 Sa' - Axial Effective Stress: 9.912 (MPa)
 Sc' - Cell Effective Pressure: -0.006 (MPa)
 End (Residual) Sd - Deviator Stress: -7.983 (MPa)
 Time: 9.76716 (Seconds)
 CP - Cell Pressure: 0.007 (MPa)
 U - Pore Pressure: -0.007 (MPa)

Ea - Axial Strain: 0.915 (%)
Er - Radial Strain: 0.000 (%)
Ev - Volumetric Strain: 0.915 (%)
Sa - Axial Stress: -7.976 (MPa)
Sa' - Axial Effective Stress: -7.969 (MPa)
Sc' - Cell Effective Pressure: 0.013 (MPa)

Data Points (Rows): 27

ENSAYO DE TRACCION (BRASILERO)

Muestra TT-24

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: TT24
Test: Triaxial
Specimen: 1
Number: 1
Description: **Traccion indirecta_**
Container ID: -
Type: Rock Soft
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)
Starting Date: 06/09/11
Starting Time: 12:50:48
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Inputs

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
Stage Index: 1
Type: Universal
Specimen:
Height: 135.000 (mm)
Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
Diameter: 54.000 (mm)
Area: 22.902 cm²
Volume: 309.18 cm³
Phases: 1
Duration: 60.2 (sec) => 1.00 (min) => 01:00
Sd - Deviator Stress (MPa)
Max: 4.56
Min: 1.06
Range: 3.50
Initial: 1.10
End: 1.31
Cell Pressure (MPa)
Max: 0.22
Min: 0.19
Range: 0.03
Initial: 0.20
End: 0.21
Pore Pressure (MPa)
Max: 0.12

Min: 0.10
Range: 0.02
Initial: 0.11
End 0.11
Axial Load (kN)
Max: 10.90
Min: 2.89
Range: 8.02
Initial: 2.98
End 3.48
Axial Displacement (mm)
Max: 0.74
Min: 0.24
Range: 0.50
Initial: 0.24
End 0.74

Data Points (Rows): 1571

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
 Project: BERNAL & CHEIK
 Customer: ODRA BERNAL
 Sample: TT24
 Test: Triaxial
 Specimen: 2
 Number: 2
 Description: **Traccion indirecta**
 Container ID: -
 Type: Rock Soft
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)
 Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
 Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)
 Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)
 Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)
 Starting Date: 06/09/11
 Starting Time: 12:59:39
 Controller ID: 1577 CON-2000
 Triaxial Inputs

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
 Stage Index: 1
 Type: Universal
 Specimen:
 Height: 135.000(mm)
 Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
 Diameter: 54.000 (mm)
 Area: 22.902 cm²
 Volume: 309.18 cm³
 Phases: 1
 Duration: 9.5 (sec)
 Sd - Deviator Stress (MPa)
 Max: 1.76
 Min: 1.20
 Range: 0.56
 Initial: 1.37
 End 1.28
 Cell Pressure (MPa)
 Max: 0.22
 Min: 0.19
 Range: 0.03
 Initial: 0.21
 End 0.20
 Pore Pressure (MPa)
 Max: 0.11
 Min: 0.09
 Range: 0.02
 Initial: 0.11
 End 0.11

Axial Load (kN)

Max: 4.49

Min: 3.21

Range: 1.28

Initial: 3.62

End 3.39

Axial Displacement (mm)

Max: 0.68

Min: 0.59

Range: 0.09

Initial: 0.59

End 0.68

Data Points (Rows): 170

Muestra VE-60

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89
Project: TESIS BERNAL & CHEIK
Customer: ODRA BERNAL
Sample: VE60
Test: Triaxial
Specimen: 1
Number: 1
Description: _traccion indirecta
Container ID: -
Type: Rock Soft
Height of Platen(s): 0.000 (mm)
Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)
Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)
Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)
Starting Date: 06/09/11
Starting Time: 16:10:41
Controller ID: 1577 SCON-2000
Triaxial Setup

Test Results: Stopped by User

Stages: 1
Stage Index: 1
Type: Universal
Specimen:
Height: 135.000(mm)
Axial Gauge Length: 50.000 (mm)
Diameter: 54.000 (mm)
Area: 22.902 cm²
Volume: 309.18 cm³
Phases: 1
Duration: 12.6 (sec)
Sd - Deviator Stress (MPa)
Max: 1.69
Min: 1.37
Range: 0.32
Initial: 1.40
End 1.65
Cell Pressure (MPa)
Max: 0.20
Min: 0.18
Range: 0.01
Initial: 0.20
End 0.19

Pore Pressure (MPa)

Max: 0.02

Min: 0.00

Range: 0.02

Initial: 0.01

End 0.01

Axial Load (kN)

Max: 4.31

Min: 3.57

Range: 0.73

Initial: 3.66

End 4.21

Axial Displacement (mm)

Max: 1.33

Min: 1.22

Range: 0.11

Initial: 1.22

End 1.33

Data Points (Rows): 103

ULTRASONIDO

Muestra TT-24

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89

Ultrasonics Specimen

ID: **ESQUISTO TT24_28m**
Description: **CON MIEL 25 C**
Type: Shale
Height: 87.0000 mm
Density: 2.84e-006 kg/mm³
Mass: 0.31 kg
Diameter: 40 mm
Volume: 109327 mm³
P Velocity: 4406 (m/s)
S Velocity: 1935 (m/s)
u - Poisson's Ratio: 0.38
Young's Modulus: 29302454 (kPa)
Bulk Modulus: 40906004 (kPa)
Shear (Rigidity) Modulus: 10612136 (kPa)

Ultrasonics Configuration

=====
High Speed Input Board: GCTS Scope
Address: 0x330
Ultrasonic Pulser: GCTS Pulser
Trigger: Internal (Software)
Face To Face Arrival Times:
--- 1 *: Platen 1 -----
P Wave Platens: 0.01 (msec)
P Wave Platens: 0.01 (msec)
Number of Data Points in Waveform: 4096
Number of Waveforms to Stack: 2
Default Frequency Limit for FFT: 100 kHz

P WAVE

=====
----- **Setup** -----
Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20 (db)
Energy Output: 100 (%)
Damping: 0.00 (msec)
Delay: 0.00 (msec)
Filter: NS
----- Methods Setup -----
Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)

Relative Threshold: 3.0 (%)
 Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
 Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
 Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: P Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
 2 - Relative Threshold: 0.00 0
 3 - Rel. of First Peak: 0.05 2235
 4 - First Peak Time: 0.05 2085
 5 - Tang. of First Peak: 0.05 2256

Average 0.05 2189

Typical 0.04 - 0.04 2250 - 2250

Results: 0.03 4406

Sampling Period: 0.00 (msec)
 Total Waves: 4
 Data Points (Rows): 4096

S WAVE

Setup

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)
 External Manual Gain: 5V (highest)
 Input Automatic Gain: 20 (db)
 Energy Output: 100 (%)
 Damping: 0.00 (msec)
 Delay: 0.00 (msec)
 Filter: NS

Methods Setup

Absolute Threshold: 10.0 (mVolts)
 Relative Threshold: 3.0 (%)
 Method 3 - First Peak Amplitude Threshold: 10.0 (%)
 Method 5 - First Peak Amplitude Upper Threshold: 85.0 (%)
 Method 5 - First Peak Amplitude Lower Threshold: 15.0 (%)

Method Arrival Time: S Velocity (msec) (m/s)

1 - Absolute Threshold: 0.00 0
 2 - Relative Threshold: 0.00 0
 3 - Rel. of First Peak: 0.00 0

4 - First Peak Time: 0.00 0
5 - Tang. of First Peak: 0.00 0

Average 0.00 0

Results: 0.05 1935

Sampling Period: 0.00 (msec)

Total Waves: 2

Data Points (Rows): 4096

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. CONCLUSIONES

- En función de los objetivos generales y específicos planteados para la realización de este trabajo especial de grado, se concluye lo siguiente.
- En cuanto a la caracterización del área de estudio, desde el punto de vista geológico, determinando composición, estructura y evolución, se dividió el área de estudio en cuatro tramos a manera de poder determinar mediante análisis petrográficos y difracción de rayos X, las formaciones correspondientes a cada una de las perforaciones por nosotros trabajadas.
- Desde el punto de vista de composición, se pudo observar, que las muestras estudiadas correspondían a las formaciones Chuspita, Tucutunemo, Las Mercedes y Tinapú. Encontrando una gran variedad litológica, que van desde filitas, esquistos cuarzosos, plagioclásicos, micáceos, metareniscas y abundantes mármoles.
- En cuanto a la estructura y evolución de la zona de estudio, se tomó en cuenta que toda el área está severamente afectada por el sistema de fallas Tácata, La Victoria y Curucutí.
- Este factor es de suma importancia a la hora de interpretar el mapa del comportamiento geomecánico de la zona, ya que este comportamiento pudiera cambiar o variar en función del grado de afectación de influencia de estos sistemas de fallas sobre las rocas, o la cercanía de los sistemas de fallas a las perforaciones. Adicionalmente a esto, la evolución de la cordillera de la costa ubica la zona de estudio como una zona de metamorfismo de grado medio a bajo correspondiente a la facie de los esquistos verdes, zona de la clorita con una P/T intermedia, por lo

tanto, a lo largo de toda la zona de estudio se encontrarán gran variedad de rocas metamórficas.

- La caracterización desde el punto de vista geomecánico mediante la determinación de sus parámetros físicos se realizó tomando en cuenta cada uno de los cuatro transectos del tramo ferroviario Cua – La Encrucijada.
- En general, rocas metamórficas blandas, en algunos casos muy meteorizadas, de las cuales se obtuvieron (de acuerdo al ensayo realizado a cada una) resultados cónsonos de acuerdo a litología, mineralogía, estructura de la muestra (foliaciones, cantidad, orientación de la misma, etc).
- Todos los datos obtenidos de cada uno de los ensayos realizados se encuentran disponibles para complementar la información del léxico estratigráfico de Venezuela para que sirvan como valores de referencia a futuras investigaciones en áreas circundantes.
- Los valores obtenidos de los estudios a las diferentes muestras de roca de la región de estudio de la investigación geológico – geotécnica, se han integrado una base de datos instaurada al mapa generado mediante hipervínculos.
- En el tramo Cúa–Tácata no se ha estudiado las características geomecánicas, ya que este transecto del tramo ferroviario se ha diseñado sobre suelo; las profundidades de perforación no llegaron hasta la roca y en los puntos o perforaciones donde se alcanzó la roca la recuperación fue prácticamente nula, ya que el estado de descomposición, disgregación o fractura no permitió obtener muestras con las especificaciones técnicas requeridas para los ensayos.
- Las anisotropías estructurales de los materiales, tales como superficies de estratificación o foliación, introducen lógicamente anisotropías mecánicas. Dado que estas superficies introducen debilidades mecánicas (los materiales se fracturan por extensión y cizalla más fácilmente a favor de las mismas), la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad disminuyen si el esfuerzo principal mayor es paralelo u oblicuo (cercano a 45°) a tales superficies, por lo tanto, los resultados obtenidos son cónsonos con la anisotropía de los materiales ensayados.
- Los contenidos de grafito presentes en la mayoría de las muestras no fueron reportados por el ensayo de difracción de rayos X, esto por dos motivos, el primero

que la banda de difracción utilizada está fuera del rango del grafito y el cuarzo enmascara los picos difractados por el grafito.

- El segundo motivo se puede atribuir a que el carbono presente en la muestra no alcanza la fase de cristalinidad necesaria para que se evidencie como grafito, ya que la temperatura alcanzada durante el metamorfismo no fue suficientemente alto como para que este cristalizara. (*IX Congreso Geológico Venezolano, Comparación de dos técnicas instrumentales (DRX y Raman), en el estudio de parámetros cristalográficos de manifestaciones grafitosas.*)
- La automatización, o los sistemas servo-controlados de los ensayos permiten dedicar mucho más tiempo al diseño particular del ensayo, en vez de utilizarlo durante la ejecución del mismo.
- Los ensayos dinámicos permiten obtener valores de las constantes elásticas de las rocas las cuales son relacionables o correlacionables a los ensayos geofísicos, permitiendo así abarcar mayores extensiones de área de estudio y muestreo.
- En general.
- Los materiales pueden clasificarse como frágiles y dúctiles Los materiales frágiles se rompen cuando se supera el límite elástico, mientras que los materiales dúctiles presentan un tramo de comportamiento plástico amplio.
- Las rocas pueden caracterizarse, en general, como frágiles bajo condiciones de temperatura ambiental
- El grado de microfracturación, que es controlado por las características texturales y estructurales de los materiales respecto de la porosidad, de los materiales compactos y poco porosos tenderán a un comportamiento casi-elástico o semi-elástico, mientras los materiales muy porosos y poco o moderadamente coherentes tienden a un comportamiento semi-elástico o plástico

10.2. RECOMENDACIONES

Continuar el estudio para aumentar la cantidad de datos geomecánicos que permitan enriquecer las bases de datos creadas.

A fin de obtener mayor cantidad de muestras y mejor recuperación de núcleos, se recomienda perforar a velocidades adecuadas para obtener una mejor recuperación que en el caso de las muestras objeto del presente estudio.

En las áreas donde se presenten marcados contrastes litológicos se recomienda realizar una petrografía para cada ensayo a realizar ya que los patrones asociados a las anisotropías influyen sustancialmente en los resultados obtenidos.

En futuros estudios realizar los ensayos triaxiales para complementar la información a fin de obtener rangos de valores para los distintos tipos de roca estudiadas en vez de valores puntuales. Ya que estos rangos servirían para realizar estudios de factibilidad en las construcciones de infraestructuras o cualquier tipo de obra.

Se recomienda conocer el uso final de la obra para poder diseñar mejor la cantidad y tipo de ensayo a realizar.

10.3. LIMITACIONES

Los ensayos de fluorescencias planteados para este trabajo no se pudieron realizar, ya que el mismo tenía un costo muy elevado y tomando en cuenta que una o dos muestras no eran representativa del área de estudio se tomó la decisión de no realizarlo.

El ensayo triaxial no se realizó ya que a pesar de cumplir con los especificaciones requeridas de acuerdo a la norma, los requerimientos adicionales del equipo con el cual se dispone implica la necesidad de un mayor tamaño de la muestra.

11. BIBLIOGRAFÍA

AUDEMARD, F. (1984). *Evaluación geológica de la cuenca del Tuy para fines de investigaciones neotectónicas*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito.

AUDEMARD, F. et al. (2000). Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and its Offshore Regions. U.S.G.S. y FUNVISIS. Caracas.

AUDEMARD, F. DE SANTIS, F. y SINGER, A. (1995). Sistema de falla de La Victoria, Venezuela norcentral: Trazas activas, complejidades estructurales, cinemática y sismicidad asociada. IX Congreso Latinoamericano de Geología, FUNVISIS. Caracas.

BECHARA, L. y MATOS, H. (2006). Estudio geológico y caracterización geomecánica de la zona comprendida entre Charallave y Paracotos, estado. Miranda. U.C.V., Caracas.

BICKEL, J. y KUESSEL, T. (1982). Tunnel engineering handbook. Van Nostrand Reinhold, New York. 670p.

BIENAWSKI, F. (1989). Engineering Rock Mass Classification. Wiley. Springer. Austria.

CELADA, T. (2003). Guía de estudios de la cátedra de Obras Subterráneas. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Inédito. Madrid.

CARRANZA., TORRES, C. y FAIRHURST, C. (2000). Application of the convergente-confinement method of tunnel desing to rock masses that satisfy the Koek-Brown failure criterion. Tunneling and underground Space Technology. Vol.15. Ed. Elsevier Science.

- DE MARCO, P. (1995). Determinación de la Resistencia mecánica de las rocas mediante ensayos de laboratorio. Trabajo de ascenso. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 37p.
- DE MARCO, P. (2004). Guía de estudios de la cátedra de mecánica de rocas. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Minas. Inédito. Caracas.
- DE MARCO, P. y PERRI, G (2006). Análisis y Proyectos de Túneles. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Minas. Inédito. Caracas.
- DIMITRIOS K. (2005). Tunelling and Tunnel Mechanics, A Rational Approach to Tunnelling. Springer. Austria.
- GRASES, J., ALTEZ, R. y LUGO, M. 1999. Catálogos de sismos sentidos o destructores 1530/1998. Academia de ciencias físicas, matemáticas y naturales, vol. XXXVII. Facultad de Ingeniería. UCV. Caracas.
- GONZÁLEZ, L. FERRER, M. ORTUÑO., L. OTERO, C. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación. Madrid. 774p.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE, J.M. y PICARD, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones FONINVES, Tomos I y II.
- HERNÁNDEZ, M. y MARTÍNEZ, R. (2008). Análisis de los Tucutunemo, edo. Aragua progresivas 0+000 – 0+200. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito
- HOEK, E. (2006). Practical Rock Engineering. Toronto – Canadá.
- KAYE, M. (1947). Fisiografía y geología del área Qda. "Las Minas", región de Los Teques. Acta Venezolana. 2(1-4): 47-82.
- LOYO, B. (1983). La evolución geomorfológica de la Cordillera de la Costa al sur de la Falla de la Victoria. Seminario de Investigación Aplicada I, Cátedra de Geomorfología, Departamento de Geología, U.C.V. Inédito.

LOYO, B. (1986). Estudio tecto-estratigráfico de la cuenca del Tuy, edo. Miranda, Venezuela. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado, para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito.

PERRI, G. (1990). Diseño geotécnico de túneles. U.C.V. Caracas.

PERRI, G. (1979). Apuntes para el Curso de Mecánica de Rocas. Tomo II. Inédito. Universidad Central de Venezuela.

SINGER, A. (1977). Síntesis Regional de la Evolución Geomorfológica de la cordillera de la Costa, en el área de Caracas. V Cong. Geol. Venezolano, Caracas, 5:55-62.

SALCEDO, D (1983). Macizos Rocosos: Caracterización, resistencia al corte y mecanismos de rotura. Conferencia 25 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones, Caracas, pp. 143-215.

UCAR, R. (2002). Manual de anclajes en obras de tierra. Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería. Mérida – Venezuela.

URBANI, F. y RODRÍGUEZ, J. (2004). Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa Venezuela. U.C.V., Caracas.

VÁZQUEZ, R. y GONZÁLEZ, H. (2007). Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. Ed. Limusa. Pp.256.

VAN BERKEL, D. (1988). Estudio geológico del área Tácata – Altagracia de la Montaña, estado. Miranda. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito.

VARELA, P. (2007). Caracterización geotécnica y estudio geológico de un área ubicada entre los sectores Aragüita y una zona cercana a la quebrada Obispo a lo largo de la autopista de Oriente "Gran Mariscal de Ayacucho", estado. Miranda. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito

ZAMBRANO, A. (1970). Estudio fisiográfico de la cuenca del río Tuy. Bol. Geol. Caracas, 11(21): 3-206.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

CÁCERES, V. (S/F). Aplicación de la Mecánica de Rocas en el Diseño de Túneles (según Barton y Bieniawski). Consultada el 26 de octubre www.arqhys.com/contenidos/mecanica-tuneles.html.

Código Geológico de Venezuela. Consultada el 23 de Marzo de 2009, <http://www.pdvsa.com/lexico/>.

HOEK, E. (2004). Practical Rock Engineering. Consultada el 14 de Junio de 2009, <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>

