

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **CARACTERIZACION GEOLOGICA DE PARAMETROS GEOLOGICOS, PETROGRAFICOS Y GEOMECHANICOS DE UNA LOCALIDAD AL SUR DE CAICARA DEL ORINOCO ESTADO BOLIVAR**

Trabajo Especial de Grado

Presentado ante la ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres

Luis A. Pérez

David Estraño

Para optar al Título de Ingeniero Geólogo.

Caracas, Octubre de 2011



# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **CARACTERIZACION GEOLOGICA DE PARAMETROS GEOLOGICOS, PETROGRAFICOS Y GEOMECHANICOS DE UNA LOCALIDAD AL SUR DE CAICARA DEL ORINOCO ESTADO BOLIVAR**

**Tutor académico:** Armando Diaz Quintero

**Co-Tutor académico:** Miguel Castillejo

Trabajo Especial de Grado

Presentado ante la ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres

Luis Pérez

David Estraño

Para optar al título de ingeniero geólogo.

Caracas, Octubre de 2011



**Estraño C. David R., Pérez B. Luis A.**

**CARACTERIZACION GEOLOGICA DE PARAMETROS GEOLOGICOS,  
PETROGRAFICOS Y GEOMECHANICOS DE UNA ZONA AL SUR DE CAICARA  
DEL ORINOCO, ESTADO BOLIVAR.**

**Tutor Académico:** Prof. Armando Díaz Q. **Co-tutor:** Prof. Miguel Castillejo

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y  
Geofísica. Año 2011, 232p.**

**Palabras Claves:** Geotecnia, Geomecánica, Caicara del Orinoco,  
Parámetros Geológicos, Parámetros Geomecánicos

## **RESUMEN**

Este trabajo especial de grado surge de la necesidad de elaborar un catálogo de parámetros geológicos y geomecánicos de las diversas regiones de Venezuela, aprovechando las muestras que se pueden adquirir de las grandes obras de construcción que se están realizando en el país.

Se recolectaron muestras de mano y núcleos de roca en una zona al sur de Caicara del Orinoco, se realizó la caracterización geológica-geomecánica mediante geología de superficie, ensayos geomecánicos en el laboratorio, ultrasónicos, petrografías y difracciones de rayos X.

Se pudo caracterizar el granito de Santa Rosalia, obteniéndose los siguientes petrográficos y geomecánicos: según las petrografías realizadas en la zona aunada a las difracciones de rayos x, se obtiene que el granito de Santa Rosalía es un granito biotítico con alto porcentaje de cuarzo (35%). En base a los resultados obtenidos en los ensayos geomecánicos se pudieron determinar los siguientes valores promedio: velocidad de propagación de ondas P y S (4458m/s y 1817ms respectivamente), modulo de Poisson (0.29), coeficiente de fricción máximo y residual (0,45 y 0,39 respectivamente), carga máxima soportada en un punto (28.9 kN), tiene una resistencia a la compresión de 378MPa con una presión de confinamiento de 50Mpa. Debido a estos valores podemos determinar y corroborar el comportamiento isotrópico y la cristalinidad del granito de Santa Rosalía.



## DEDICATORIAS

*“A Dios, a mi amada tía Duilian Isabel, a mis abuelas Félida y Humbelina, a mi primo Angel, a mi grandioso padre, a mi hermano, a toda mi familia y amigos, gracias por guiarme y apoyarme a lo largo mi carrera.*

*Y a mí adorada madre por darme amor, paciencia, apoyo, consejos y, por sobretodo, darme valor para seguir adelante. ¡Te amo!*

*Luis Pérez*

*“A Dios, a mis padres, mi hermana y demás familiares, amigos y conocidos que de alguna manera me ayudaron a lo largo de mi carrera para alcanzar este objetivo y a la Universidad Central de Venezuela y sus profesores”*

*David Estraño*



## AGRADECIMIENTOS

-Gracias a Dios.

-Gracias mis padres.

-Gracias a la Universidad Central de Venezuela.

-Gracias al Prof. Miguel Castillejo por darme la oportunidad de trabajar con él y por todo los conocimientos adquiridos en este trabajo.

-Gracias al Sr Antonio Gómez y la empresa Geohidra Consultores C.A. por su colaboración en este trabajo de grado.

-Gracias a mi compañero de tesis y amigo David Estraño por su apoyo a lo largo de la carrera.

-Gracias a Josse Cheik, Odra Bernal, Félix Anzola, Naiker Solórzano, Félix López, y Paúl Clavel, compañeros de estudio y de vida en la universidad, quienes prestaron una colaboración fundamental para la culminación de mi carrera como ingeniero.

En general a todas las personas que forman y han formado parte de mi vida, y han dejado una huella importante en mi corazón a ustedes por ayudarme a ser mejor persona.

*Luis Pérez*



- Gracias a mis padres por darme todo su apoyo durante este proceso de estudio.
- Gracias a la Universidad Central de Venezuela por brindarme sus aulas y profesores para formarme como profesional.
- Muchísimas gracias al Prof. Miguel Castillejo por darme la oportunidad de trabajar con él, por todo lo que me enseñó y por su excelente tutoría en este trabajo especial de grado. ¡GRACIAS PROFESOR!
- Gracias al Prof. Armando Díaz Quintero.
- Gracias a la empresa Geohidra Consultores C.A. por su colaboración en este trabajo de grado.
- Especiales agradecimientos a Luis Pérez mi compañero/hermano en este trabajo especial de grado.
- Gracias a Josse Cheik, Naiker Solórzano, Odra Bernal y Félix Anzola, compañeros de estudio y de vida en la universidad, quienes prestaron una colaboración fundamental para la culminación de este trabajo especial de grado. ¡GRACIAS MUCHACHOS!
- Finalmente gracias a todas esas personas que de alguna manera aportaron algo a este trabajo especial de grado.

*David Estraño*



# INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS .....	1
AGRADECIMIENTOS .....	1
INDICE DE CONTENIDO .....	3
INDICE DE TABLAS.....	7
INDICE DE FIGURAS .....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. MARCO METODOLÓGICO.....	1
1.1.2. <i>Etapa de recopilación bibliográfica</i> .....	1
1.1.3. <i>Etapa de recolección y selección de muestras de mano y núcleos</i> .....	1
1.1.4. <i>Etapa pre-campo:</i> .....	2
1.1.5. <i>Etapa de campo:</i> .....	2
1.2. ETAPA DE CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS Y NÚCLEOS SELECCIONADOS:.....	3
1.3. ETAPA DE ELABORACIÓN DE FICHAS Y MAPA CON LOS PARÁMETROS GEOLÓGICO GEOTÉCNICOS DE VENEZUELA POR LOCALIDADES .....	3
2. FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	8
2.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
2.3.1. <i>Objetivo General</i> .....	9
2.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	9
2.4. JUSTIFICACIÓN .....	9
2.5. DELIMITACIÓN .....	10
2.6. TRABAJOS PREVIOS.....	12
3. MARCO GEOLÓGICO.....	15
3.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	15
3.1.1 <i>Formación Caicara</i> .....	15
3.1.2 <i>Granito de Santa Rosalía:</i> .....	16
4. GEOGRAFIA FISICA .....	19
4.1. RELIEVE.....	19
4.2. CLIMA .....	20
4.3. PRECIPITACIONES .....	20

4.4.	EVAPORACION.....	20
4.5.	VIENTOS .....	20
4.6.	HUMEDAD.....	21
4.7.	HIDROGRAFIA.....	21
4.8.	VEGETACION.....	21
4.9.	SUELOS.....	22
5.	MARCO TEORICO .....	23
5.1.	MACIZOS ROCOSOS .....	23
5.1.2.	<i>Meteorización</i> .....	24
5.1.3.	<i>Descripción de las Discontinuidades</i> .....	24
5.1.4.	<i>Diaclasas o Juntas</i> .....	25
5.1.5.	<i>Estratificación o Planos de estratificación</i> .....	25
5.1.6.	<i>Superficies de laminación</i> .....	25
5.1.7.	<i>Foliación o esquistosidad</i> .....	26
5.1.8.	<i>Superficies de contacto litológico</i> .....	26
5.1.9.	<i>Fallas</i> 26	
5.1.10.	<i>Fractura</i> .....	26
5.1.11.	<i>Grieta</i> .....	26
5.1.12.	<i>Fisura (hair crack)</i> .....	26
5.2.	CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS.....	27
5.2.1.	<i>Clasificación de Bieniawski, 1980 (RMR – Rock Mass Rating)</i> .....	27
5.2.2.	<i>Índice GSI</i> .....	30
5.2.3.	<i>Índice RQD (Rock Quality Designation) (HOEK, 2000)</i> .....	31
5.3.	PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS MATERIALES ROCOSOS.....	32
5.4.	PROPIEDADES INDICES .....	34
5.4.1.	<i>Criterios Mecánicos De Resistencia Y Deformabilidad De Las Rocas</i> 34	
5.4.2.	<i>Criterios de rotura, resistencia y deformabilidad de los medios rocosos.</i> .....	41
5.4.3.	<i>Criterio de rotura de Hoek y Brown</i> .....	43
5.5.	ENSAYOS GEOMECANICOS PARA ROCAS.....	45
5.5.1.	<i>Resistencia a la compresión simple de núcleos de roca intacta Norma (ASTM D 2938 – 95R02).</i> .....	46

5.5.2. Método de ensayo para determinar el Índice de Resistencia de Carga Puntual en rocas (ASTM D 5731-02, 2002).....	47
5.5.3. Ensayo de Compresión Triaxial Norma (ASTM D 2664-86 ) .....	50
5.5.4. Método de ensayo para determinar la Velocidad de Pulso y Constantes Elásticas Ultrasónicas en rocas. (ASTM D 2845-00, 2000).56	
5.5.5. Ensayo de corte directo, Norma (ASTM D 5607-95, 1995 ISRM Suggested Method for In Situ Determination of Direct Shear Strength).....	59
5.5.6. Método de ensayo para descripción Petrográfica (ISRM, 1977).....	62
5.5.7. DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	63
6. LABORATORIO .....	67
6.1. INTRODUCCIÓN.....	67
6.2. CATS ULTRASONICO .....	68
6.2.1. Ejecución del ensayo.....	69
6.3. CATS TRIAXIAL .....	69
6.3.1. Sistema de presión de poros HPCV-210:.....	71
6.4. CATS CORTE DIRECTO/ANILLO DE CORTE .....	72
7. RESULTADOS.....	75
7.1. GEOLOGÍA DE SUPERFICIE.....	75
7.2. PETROGRAFÍA.....	78
7.3. DIFRACCION DE RAYOS X.....	86
7.5. ENSAYO DE CARGA PUNTUAL .....	95
7.6. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE .....	96
7.7. ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA (BRASILERO).....	96
7.8. ENSAYO DE CORTE DIRECTO. ....	97
7.9. ENSAYO TRIAXIAL.....	100
7.10. CRITERIO DE RESISTENCIA MOHR COULOMB.....	101
8. ANALISIS DE RESULTADOS .....	103
8.1 ANALISIS DE PETROGRAFIA Y RAYOS X.....	103
8.2 ANALISIS DE COMPRESIÓN SIMPLE.....	103
8.3 ANALISIS DE ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA (BRASILERO).....	110
8.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYO ULTRASONICO.....	113
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
9.1. CONCLUSIONES.....	115
9.2. RECOMENDACIONES .....	116
10. BIBLIOGRAFÍA.....	117

ANEXOS .....	119
11.1. ENSAYO ULTRASONICO .....	119
11.2. ENSAYO DE COMPRESSION SIMPLE .....	139
11.3. ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA (BRASILERO).....	166
11.4. ENSAYO DE CORTE DIRECTO .....	208
11.5. ENSAYO TRIAXIAL .....	220
11.6. MAPA GEOLOGICO DE LA ZONA .....	232
11.7. FICHA DEL "CATALOGO DE PARAMENTROS GOMECANICOS DE VENEZUELA" ....	233

---

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. COORDENADAS DE LA ZONA, REFERIDAS A LA FIGURA 3	11
TABLA 5.1. DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE METEORIZACIÓN DE LA ROCA INTACTA	24
TABLA 5.2 TIPOS DE DISCONTINUIDADES	25
TABLA 5.3. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN SEGÚN BIENIAWSKI (1989).	29
TABLA 5.4. CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN RELACIÓN AL ÍNDICE RMR.	29
TABLA 5.5. ESTIMACIÓN DEL GSI.	30
TABLA 5.6. CLASIFICACIÓN CON RQD	32
TABLA 5.7. PROPIEDADES DE LA MATRIZ ROCOSA Y MÉTODOS PARA SU DETERMINACIÓN	33
TABLA 5.8. TABLA DE ESTIMACIÓN DE LA CONSTANTE MI DE ACUERDO AL TIPO DE ROCA.	45
TABLA 5.9. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA EN FUNCIÓN DE SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL. FUENTE: FRANKLIN J. (1989).	46



## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
FIGURA 2.	PRODUCTO ESPERADO.....	5
FIGURA 3.	IMAGEN TOMADA DE LA HOJA 6938 ESCALA 1:100.000 DE CARTOGRAFÍA NACIONAL DONDE SE OBSERVA EL ÁREA DE ESTUDIO. ....	10
FIGURA 4.	MAPA EN PROYECCIÓN ACOTADA CORRESPONDIENTE EL ÁREA DEL CERRO SALAO. GEOHIDRA CONSULTORES C.A. ....	12
FIGURA 5.	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL ÍNDICE RQD. FUENTE. ISRM (1981) .....	31
FIGURA 6.	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ESFUERZOS SOBRE UN PLANO .....	36
FIGURA 7.	TENSIONES EN TRES DIMENSIONES .....	36
FIGURA 8.	DIFERENTES ESTADOS DE TENSIONES APLICADOS A MUESTRAS DE LABORATORIO. ....	38
FIGURA 9.	CURVAS TENSIÓN-DEFORMACIÓN OBTENIDA MEDIANTE ENSAYOS DE COMPRESIÓN UNIAxIAL Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MÓDULO DE YOUNG Y EL COEFICIENTE DE POISSON. ....	40
FIGURA 10.	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. ....	41
FIGURA 11.	CRITERIO LINEAL DE ROTURA DE MOHR-COULOMB Y SU ENVOLVENTE EN TÉRMINOS DE ESFUERZOS NORMALES Y TANGENCIALES. ....	43
FIGURA 12.	ENVOLVENTES DE RUPTURA SEGÚN EL CRITERIO DE HOEK & BROWN EN FUNCIÓN DE: (A) ESFUERZOS PRINCIPALES Y (B) ESFUERZOS NORMALES Y TANGENCIALES. ....	44
FIGURA 13.	REQUERIMIENTOS GEOMÉTRICOS PARA EL ENSAYO DE CARGA PUNTUAL: A.-DIAMETRAL, B.- AXIAL, C.- BLOQUE.....	48
FIGURA 14.	REQUERIMIENTOS GEOMÉTRICOS PARA EL ENSAYO DE CARGA PUNTUAL: BLOQUE IRREGULAR FUENTE: DE MARCO, 1995.....	48
FIGURA 15.	EQUIPO PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE CARGA PUNTUAL, UBICADO EN EL LABORATORIO DE MECANICA DE ROCAS DEL DEPARTAMENTO DE MINAS, FACULTAD DE INGENIERIA, UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. ....	49

FIGURA 16.	EQUIPO DE CARGA PUNTUAL, DETALLE DE LAS PLACAS DE CARGA CÓNICAS. FUENTE: (DE MARCO, 1995).....	49
FIGURA 17	MODOS DE FALLA TÍPICOS: A.- ENSAYOS DIAMETRALES, B.- ENSAYOS AXIALES, C.-ENSAYOS EN BLOQUES. FUENTE (FUENMAYOR, 2001).....	50
FIGURA. 18.	DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN. DIÁMETRO 70 MM.....	51
FIGURA. 19.	CIRCULO DE MOHR PARA ESFUERZOS TOTALES DIÁMETRO DE 70 MM, Y ENVOLVENTE DE FALLA. ....	52
FIGURA. 20.-	CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA TRIAXIAL (1 PULG. = 25.4 MM) .....	52
FIGURA. 21.	ESQUEMA DEL APARATO PARA EL ENSAYO TRIAXIAL.....	54
FIGURA 22.	EQUIPOS USADOS EN EL ENSAYO PARA LA OBTENCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA P EN ROCA. MEDIDOR DE PULSO ULTRASÓNICO UPV-E48. FUENTE: ALVAREZ,(2007) .....	58
FIGURA.23.	OSCILOSCOPIO Y GENERADOR DE PULSO SÓNICO USADOS EN EL MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE PULSO Y CONSTANTES ELÁSTICAS ULTRASÓNICAS EN ROCAS. ....	59
FIGURA 24.-	ONDA VISUALIZADA EN EL OSCILOSCOPIO DE RAYOS CATÓDICOS MODELO MO-1225. ....	59
FIGURA 25.	EQUIPO DE CORTE DIRECTO, SBEL, RM-102. ANTIGUO LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS, U.C.V.....	60
FIGURA 26.	ESQUEMA DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO, SBEL, RM-101. FUENTE: DE MARCO, 1995. ....	61
FIGURA 27.	SECCIÓN FINA. FOTO: ALVAREZ, (2007) .....	62
FIGURA 28.	MICROSCOPIO PETROGRÁFICO. MOD. OLYMPUS CDX10. LABORATORIO DE PETROGRAFÍA ÍGNEO – METAMÓRFICA. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA, UCV. FOTO: ALVAREZ, (2007).....	63
FIGURA 29.	LEY DE BRAGG, MODIFICADO DE CAÑADA (2006).....	63
FIGURA 30.	ENERGÍAS CARACTERÍSTICAS Y NUMERO ATÓMICO. FUENTE: LABORATORIO DE RAYOS X DEL CITIUS.....	65
FIGURA.31.	MICROSCOPIO DE FLUORESCENCIA.....	65

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. MARCO METODOLÓGICO

Este proyecto “Catalogo de los parámetros geológicos-petrográficos-geomecánicos de Venezuela” se realizará bajo la modalidad de varios trabajos especiales de grado, cada uno en particular desarrollará 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. La metodología a desarrollar en cada trabajo especial de grado consiste en cuatro etapas básicamente:

#### 1.1.2. ETAPA DE RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa comprenderá todo lo referente a la búsqueda, revisión y recopilación bibliográfica como mapas, trabajos previos, normas para la realización de los ensayos geotécnicos, libros, revistas especializadas, tesis de grado, artículos científicos, etc., y todos los datos necesarios acerca de la zona de estudio; esto con la finalidad de obtener información sobre las características geológicas de la zona.

#### 1.1.3. ETAPA DE RECOLECCIÓN Y SELECCIÓN DE MUESTRAS DE MANO Y NÚCLEOS

Esta etapa comprende la fase de recolección en campo de las muestras de mano, también se realizara una selección de los núcleos apropiados para realizar los diferentes ensayos geotécnicos según la normativa utilizada. Dichos núcleos testigos, serán facilitados por la empresa Geohidra, la cual prestará colaboración en este proyecto.

---

La etapa de campo se realizó en una zona al sur de la localidad de Caicara del Orinoco, estado Bolívar, consiste en realizar geología de superficie en la zona, ubicación y recolección de muestras de mano.

#### **1.1.4. ETAPA PRE-CAMPO:**

En este punto se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Localización de las zonas con mayor interés geológico.
- Accesibilidad a la zona de estudio.
- Reconocimiento de la zona de estudio en cuanto a calidad de los afloramientos y accesibilidad de los mismos.
- Planificación de la exploración geológica y geomecánica superficial.

#### **1.1.5. ETAPA DE CAMPO:**

En esta etapa se realizó todas las actividades relacionadas con la recopilación de información en el área de estudio, las cuales se describen con detalle a continuación:

- Realizar un inventario detallado de todos los litotipos presentes en la zona, con énfasis particular en la ponderación de sus propiedades geomecánicas a fin de realizar las clasificaciones pertinentes.
- Descripción detallada de litología, discontinuidades y estructuras presentes.
- Amarre de todos los datos a los mapas pertinentes mediante el uso de GPS.
- Simultáneamente con el reconocimiento geológico de superficie, se procederá a tomar muestras de mano representativas de las litologías encontradas, para la elaboración de las secciones petrográficas, que permitan realizar su posterior análisis.

## **1.2. ETAPA DE CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS Y NÚCLEOS SELECCIONADOS:**

Esta etapa consistió en realizar la caracterización de los parámetros geológicos mediante la descripción de muestras de mano, análisis petrográfico, rayos X y Fluorescencia, a su vez, se caracterizaran los parámetros geotécnicos de las rocas mediante los ensayos de: compresión simple, triaxial, carga puntual, ultrasónico, brasilero, corte directo y permeabilidad aplicados a los núcleos suministrados por la empresa Geohidra Consultores C.A.

Esta serie de ensayos se realizara con el fin de obtener los diferentes parámetros geológicos-geotécnicos-petrográficos de los tipos de roca presentes en la zona de estudio.

## **1.3. ETAPA DE ELABORACIÓN DE FICHAS Y MAPA CON LOS PARÁMETROS GEOLÓGICO GEOTÉCNICOS DE VENEZUELA POR LOCALIDADES**

Esta etapa consistió en elaborar unas fichas y un mapa con los resultados obtenidos de los análisis y ensayos realizados con el fin de elaborar un archivo de referencia sobre los parámetros geológicos-geotécnicos-petrográficos de Venezuela, y establecer correlaciones entre ellos.

A continuación se presenta el análisis conceptual de la metodología utilizada para la realización del presente estudio:

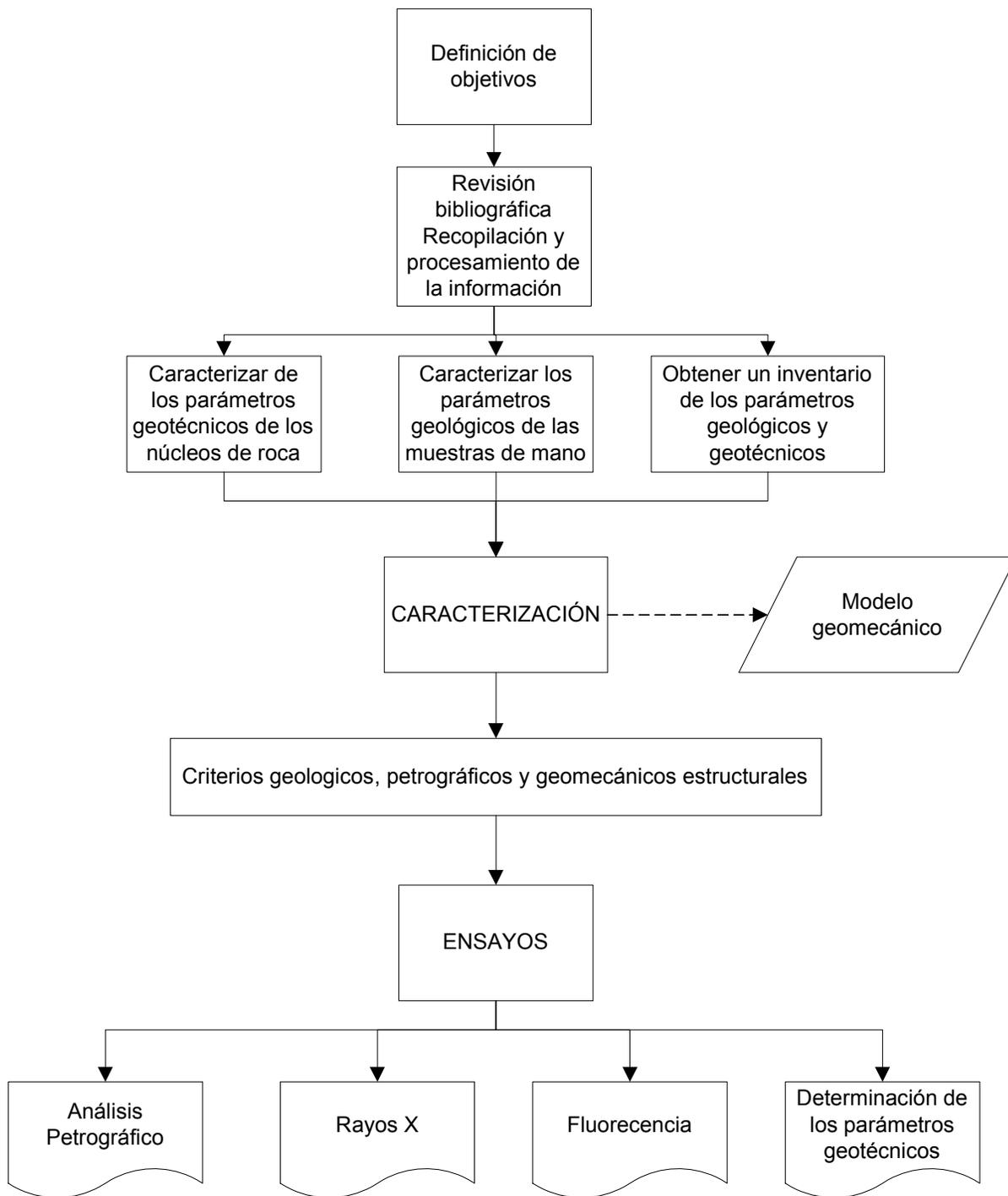
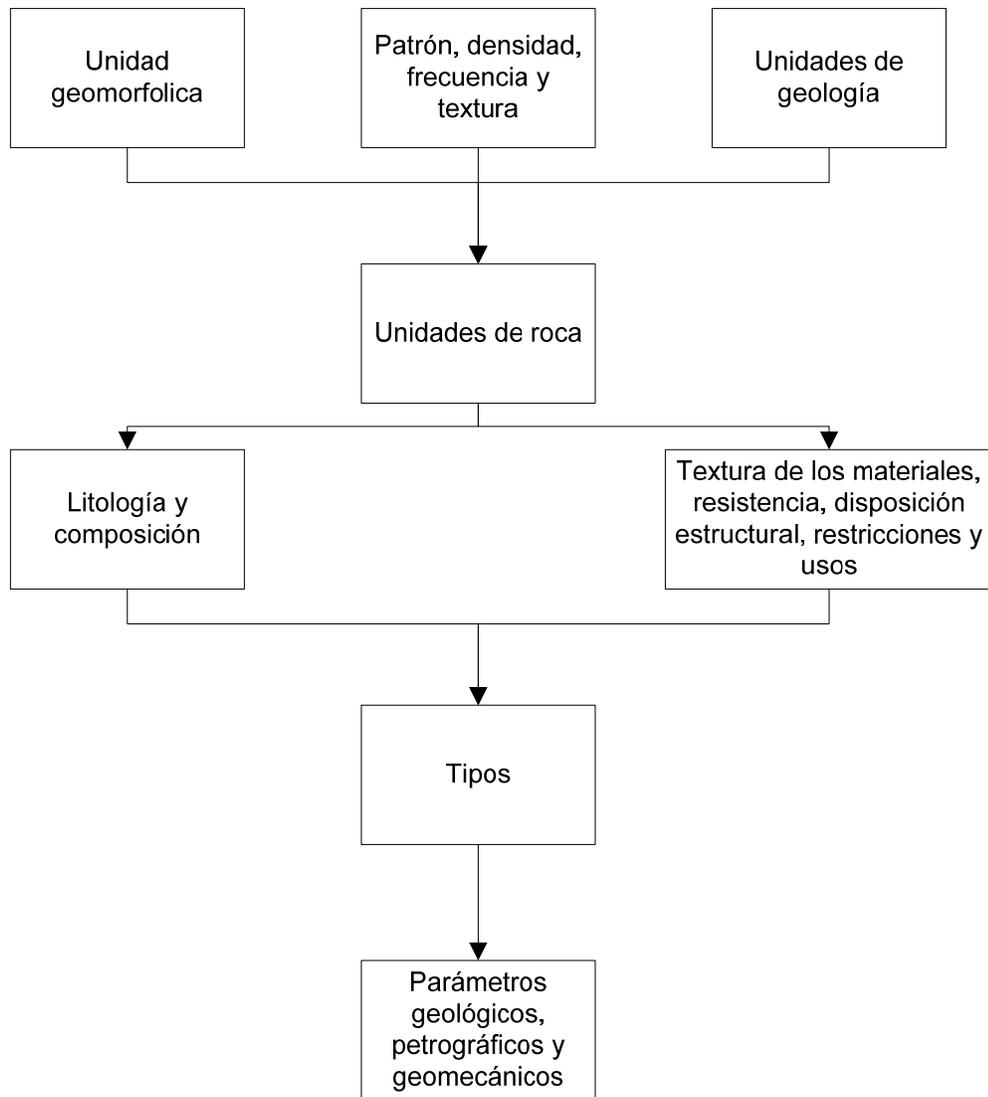


Figura 1. Metodología de la Investigación



**Figura 2. Producto Esperado**



## 2. FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para construir obras civiles se debe conocer las características de la formación sobre la cual se fundarán, esto con el objeto de evitar catástrofes. Es así como la geotecnia se convierte en una herramienta que permite la apropiada caracterización de las formaciones geológicas como los macizos rocosos, por ejemplo.

Desde la Primera Conferencia Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, celebrada en la Universidad de Harvard en junio de 1936 y presidida por Karl Terzaghi, la geotecnia se convirtió en una disciplina reconocida.

Es así como se llega a entender que *caracterizar geomecánicamente*, significa realizar un estudio exhaustivo que integra en sí y metodológicamente, una serie de investigaciones como por ejemplo, de la estructura de los suelos, de la litología, de contactos y distribución de litologías, de la geomorfología, de la cartografía geológica, procesos hidrogeológicos, el necesario levantamiento de discontinuidades, y la utilización de técnicas geofísicas, de sondeos, de ensayos in situ, de laboratorio, de clasificaciones geomecánicas, por nombrar de los más relevantes, con el fin de pronosticar comportamientos bajo ciertas condiciones.

También se presenta como parte de la *caracterización geomecánica de los macizos*, la diligencia de perpetrar ciertas clasificaciones geomecánicas, con el objeto de parametrizar observaciones y datos empíricos, de forma integrada, para evaluar aspectos como las medidas de sostenimiento, por ejemplo.

Es, en ese orden de ideas, que esta propuesta pretende colaborar en la sistematización de las características de la diversidad de rocas existentes en

---

Venezuela, para un mejor aprovechamiento de sus propiedades en las diversas tareas que le sean asignadas a la ingeniería para coadyuvar en el desarrollo nacional.

Más específicamente, este estudio procura hacer una *caracterización geomecánica* del macizo rocoso de Caicara del Orinoco, estado Bolívar en que se está construyendo el puente “Mercosur” que comunica con la Ciudad de Cabruta, Estado Guárico.

Este estudio de *geomecánica* del macizo rocoso de Caicara del Orinoco, estado Bolívar, será parte de un gran catálogo nacional de ingeniería geológica, que incluye los siguientes análisis y pruebas a los núcleos que se disponen para tal fin: análisis petrográfico y mineralógico, estudio de rayos X para análisis cualitativo de las muestras, pruebas de fluorescencia para conocer la composición centesimal según los elementos en la estructura mineral y distintos ensayos geotécnicos de rocas para determinar una serie de parámetros como por ejemplo: ensayos de compresión simple, ensayo triaxial, de carga puntual, ensayo ultrasónico, ensayo de corte directo de muestras en diaclasas y ensayo “brasileño”.

## **2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son los parámetros geotécnicos del macizo rocoso de Caicara del Orinoco, estado Bolívar?

¿Cuáles son los atributos petrográficos del macizo rocoso de Caicara del Orinoco, estado Bolívar?

¿Cómo se puede presentar la información recabada de los estudios geológicos-petrográficos-geomecánicos del macizo rocoso de Caicara del Orinoco, estado Bolívar para integrarlos a un catálogo geomecánico de las rocas en Venezuela, ordenado por localidades?

## **2.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar una caracterización geológica de parámetros geológicos-petrográficos-geomecánicos en el macizo rocoso de Caicara del Orinoco, estado Bolívar.

### **2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los parámetros geotécnicos de los núcleos de roca.
- Caracterizar los parámetros geológicos de las muestras de mano: colores de acuerdo a la norma ASTM, granulometría y tipo de roca.
- Obtener un inventario de los parámetros geológicos y geotécnicos de las rocas de la zona con el fin de correlacionarlos.
- Realizar el catálogo de los parámetros geológicos-petrográficos-geomecánicos de la zona de estudio.

## **2.4. JUSTIFICACIÓN**

El trabajo especial de grado que se presenta surge mediante la necesidad de realizar el proyecto denominado “Catalogo geológico-petrográfico-geomecánico de las distintas localidades de Venezuela”; a partir de la revisión de grandes obras de ingeniería realizadas en Venezuela recopilando información en torno a varias empresas que realizan perforaciones con fines geotécnicos; de las cuales se seleccionó a la empresa Geohidra Consultores C.A. la cual está ejecutando el proyecto de “Estudio geotécnico-geofísico para la planta de laminación y fundición de aluminio a construirse en Caicara del Orinoco”, y accedió a colaborar con el estudio proporcionando los núcleos de roca necesarios para realizar los ensayos geomecánicos, una vez conseguidos los núcleos se definió una zona de estudio en base a la ubicación de los mismos, de afloramientos y sitios de interés geológico en zonas accesibles. Los resultados obtenidos alimentaran la base de datos del catálogo geológico de la cual se harán publicaciones periódicas de su contenido y servirán de insumo a futuros proyectos de interés nacional.

Finalmente es importante mencionar que el estado Bolívar cuenta con una gran potencial de rocas ígneas y metamórficas que en la actualidad son sub-utilizadas o no utilizadas, principalmente por el desconocimiento existente acerca de las características geomecánicas de las mismas, sin embargo, existe una pequeña industria alrededor de la explotación de un pequeño porcentaje de las rocas existentes, aprovechamiento éste con fines ornamentales y con fines de agregados naturales de construcción, pero no existe clasificación alguna de rocas con otros fines tales como el de almacenamiento de sustancias peligrosas o generadoras de impactos ambientales severos ni con fines de refugios de seres humanos ni para instalaciones de seguridad y defensa nacional, entre otros; por lo cual la presente investigación representa un aporte significativo en este aspecto.

## 2.5. DELIMITACIÓN

La zona de estudio se ubica al sur de Caicara del Orinoco, municipio Cedeño, al norte del estado Bolívar. El área de estudio para este proyecto se extiende 65 km<sup>2</sup> y se encuentra definida en la hoja 6938 escala 1:100.000 de la Dirección de Cartografía nacional denominada “Caicara del Orinoco”.

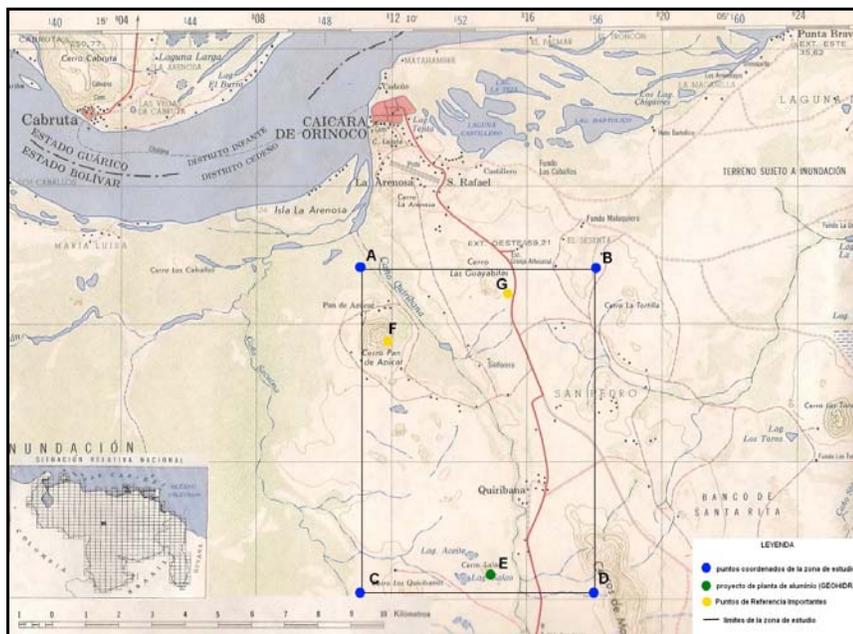


Figura 3. Imagen tomada de la hoja 6938 escala 1:100.000 de Cartografía Nacional donde se observa el área de estudio.

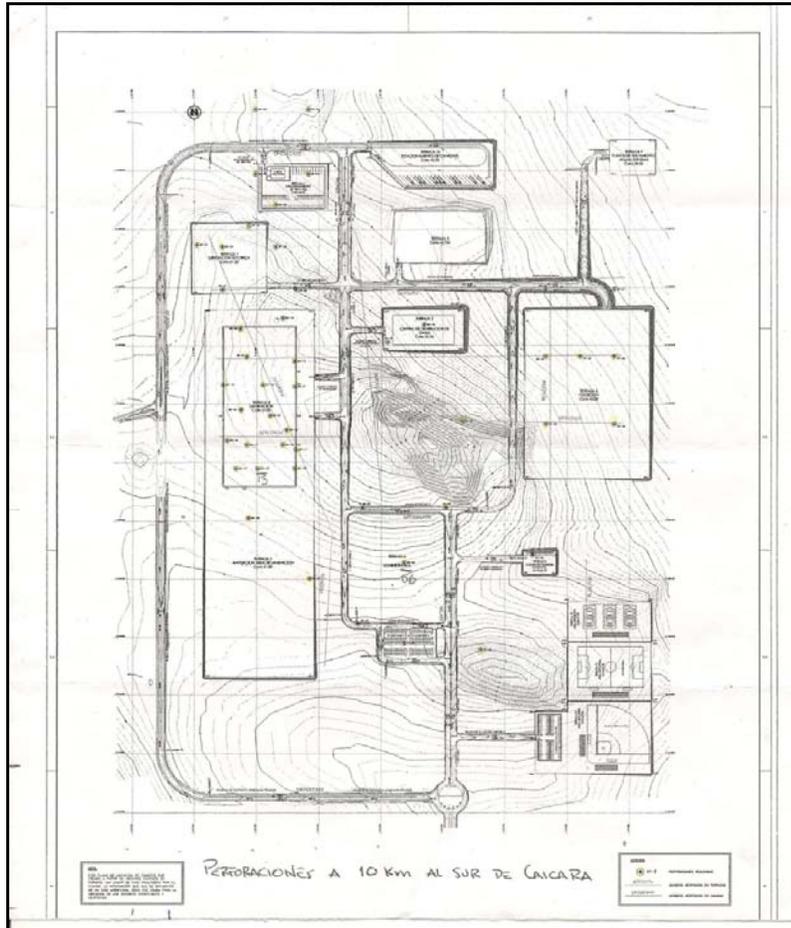
Tal y como lo evidencia la figura 4, la zona cuenta con vías de acceso terrestres, como las carreteras troncal 12 y troncal 19, a su vez existen varias rutas sin pavimentar en la zona. En la región existen varias referencias topográficas importantes como el cerro Pan de Azúcar (punto F en fig. 4), el cerro Los Guayabitos (punto G en fig. 4), el cerro Salao (punto E en fig. 4).

Esta zona de 65 km<sup>2</sup> se delimito en base a los proyectos que se están llevando a cabo por la empresa Geohidra Consultores C.A. que proporcionó las muestras de roca para los ensayos geomecánicos, también se tomó en cuenta los posibles afloramientos, y las vías de acceso disponibles para realizar la fase de geología de superficie y recolección de muestras de mano.

**Tabla 1.1.**  
**Coordenadas de la Zona, referidas a la figura 3**

Punto	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
A	841,200	810,750
B	841,200	816,900
C	832,300	810,750
D	832,300	816,900

A continuación se presenta un mapa detallado de las inmediaciones del Cerro Salao (punto E en la figura 4)



**Figura 4. Mapa en proyección acotada correspondiente el área del Cerro Salao. Geohidra Consultores C.A.**

## 2.6. TRABAJOS PREVIOS

Los trabajos previos que se presentan a continuación, corresponden a estudios realizados con unos objetivos y metodología similar a la de este proyecto. Es importante mencionar que referente a Caicara del Orinoco no existen más estudios publicados.

Matos, B (2006). Se levantaron aproximadamente 15 km de carreteras y un total de 25 km correspondientes a quebradas, en los cuales se tomaron muestras de rocas para su posterior estudio petrográfico y análisis de laboratorio. Luego de realizado el trabajo se logró concluir que estas rocas en su totalidad están afectadas por un metamorfismo de la facies de los esquistos verdes y algunas por un metamorfismo anterior de la facies de la anfibolita granatífera. También se realizó la identificación de procesos de geodinámica

superficial a partir de fotografías aéreas la cual está dominada por los procesos erosivos siendo las zonas de cárcavas y surcos los procesos más abundantes en la zona y están relacionados con la litología filíticas encontrada.

En cuanto a la geomecánica, la caracterización de los distintos macizos rocosos presentes en toda el área de estudio se realizó según Bieniawski y el criterio de resistencia de Hoek y Brown. Los macizos rocosos se comportan de manera uniforme a lo largo de la zona de estudio y las rocas son de calidad media.

Torres, S (2008). Se realizó un estudio de geología de superficie a lo largo de la actual Carretera Nacional tramo San Carlos-Boquerón, paralela al trazo de la autopista proyectada. Los datos obtenidos a través de los levantamientos geológicos (muestreos y descripciones de macizos rocosos y condiciones de sitio), así como, la información de perforaciones a percusión realizadas previamente por la empresa GEL C.A. fueron analizados de manera integral. Los resultados arrojados por estas interpretaciones se resumen a continuación.

La litología encontrada es de filitas micáceo-cuarzosas pertenecientes a la Formación Mucaria, en contacto tectónico con estas filitas se encontró un conjunto de metavolcánicas básicas con grado de metamorfismo bajo de la Formación Tiramuto.

También se infiere un contacto tectónico entre las formaciones Tiramuto y Guárico. Por otro lado, se hizo una caracterización de macizos rocosos a lo largo del transecto y análisis de estabilidad de taludes tomando seis taludes como representativos de la zona en función a la homogeneidad de la dirección del rumbo y la litología. Esto dio como resultado que los taludes proyectados en macizos rocosos constituidos por las formaciones Mucaria y Guárico son los más inestables con respecto a su configuración geométrica.

En general, a lo largo del tizado, los inconvenientes previstos y estudiados que pudiesen presentarse durante la ejecución del proyecto, así como, durante la vida útil del mismo una vez concluido, no serán de índole de estabilidad de taludes.

Ruiz (1993). Se realizó el reconocimiento geológico de una zona situada en la parte Noroccidental del Escudo de Guayana, Estado Bolívar, cubriendo un área aproximada de unos 5100 km<sup>2</sup> de extensión, ubicados en el Distrito Cedeño. Para este estudio geológico se utilizó como base la interpretación de las imágenes de slar y landsat a escala 1:250.000, así como también fotos aéreas a escala 1:50.000. Esta información fue complementada por la verificación de campo y por los análisis petrográficos realizados.

En el área de estudio afloran las rocas incluidas dentro de la Provincia Geológica de Cuchivero perteneciente al Grupo Cuchivero representados por rocas extrusivas ácidas de la Formación Caicara. Continuando la secuencia se encuentra el Granito de Guaniamito, posteriormente el Granito de Santa Rosalía, cubriendo mayor área respecto a las demás unidades. Este conjunto volcánico-granítico del Grupo Cuchivero se encuentra afectado por grandes fallas tales como: Falla de Cabruta, Falla de la Encaramada, sistema de Falla de Chaviripa y otros.

Velásquez (1997). Se realizó el reconocimiento geológico de un área de aproximadamente 15 Km<sup>2</sup>, situada a 98 Km al sur de Caicara del Orinoco, Estado Bolívar, cuyo objetivo principal era la elaboración de un mapa geológico estructural a escala 1:5000. Los afloramientos constituyen entre el 30 y 40% del área, y están constituidos por rocas ácidas y básicas afectadas en su mayoría por procesos metamórficos cataclásticos evidenciados por numerosas fallas y fracturas que cubren la zona. Geomorfológicamente el área está representada principalmente por relieves de lomerías, producto de la constante erosión diferencial que han sometido a estos cuerpos graníticos.

### 3. MARCO GEOLÓGICO

#### 3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Básicamente la zona de Caicara del Orinoco está conformada geológicamente por la Formación Caicara, que se encuentra en contacto abrupto intrusivo con los granitos de Santa Rosalía y Guaniamito, todo esto perteneciente a la unidad informal conocida como Grupo Cuchivero. La zona también está afectada estructuralmente por algunas fallas importantes como la falla de Cabruta.

##### 3.1.1 FORMACIÓN CAICARA

*Descripción litológica:* está constituida por un conjunto de rocas volcánicas predominantemente ácidas, tales como riolitas y riolitas porfídicas y porfiríticas con matriz de grano fino a medio, seguidas en orden de abundancias por riodacitas y dacitas porfídicas. Exhiben una alineación estructural N5°-10°W y buzamiento de muy alto a vertical. Se observa además intercalaciones de rocas de grano muy fino, afaníticas, muy ricas en cuarzo que probablemente representan tobas cristalinas silicificadas (ignimbritas). La composición mineralógica es muy similar en toda la región; cuarzo (30-60%), en cristales subhédricos a anhédricos y como relleno de espacios intercristalinos, con extinción ondulada en muchas de las muestras analizadas; feldespato (25-60%), como microclino perfitico y plagioclasa. La biotita es el principal constituyente ferromagnesiano (hasta un 5%). Como minerales accesorios se distinguen: epidoto, moscovita, pirita y óxidos de hierro.

**Extensión geográfica:** En la región de Caicara del Orinoco aflora en un área aproximada de 2000 km<sup>2</sup>. Rocas similares, han sido descritas en la región sur -

---

central del estado Bolívar, en el área del río Suapure y en la región sur - Central del estado Amazonas.

**Contactos:** la unidad está en contacto intrusivo con los granitos de Santa Rosalía, Guaniamito y San Pedro. Los contactos son nítidos, y se observa un marcado cizallamiento y efectos de metasomatismo (potásico principalmente) a lo largo de ellos en la secuencia volcánica intrusionada. Se encuentra localmente en contacto de falla con el Granito de Parguaza.

**Edad:** Precámbrico. Se determinó una edad K/Ar en roca total de 1346 Ma en riolita cerca de La Paragua; Moreno *et al.* (1977) determinaron una edad isócrona de 1736 m a por Rb/Sr en roca total en el área del río Suapure. Hurley *et al.* (1973, 1977) definieron una edad Rb/Sr en roca total de 1750 Ma a partir de tres muestras de la unidad.

### 3.1.2 GRANITO DE SANTA ROSALÍA:

**Descripción litológica:** es un granito biotítico, color rosado a gris, de grano fino a grueso, con predominio de la fracción de grano medio a grueso, macizo fanerocristalino, porfidico, que en zonas restringidas muestra débil foliación. Su composición mineralógica, bastante constante en todas las localidades donde se ha descrito, consiste de cuarzo (35%), biotita como principal componente máfico (5%) y cantidades menores de hornblenda, epidoto, clorita y opacos. Es hipidiomórfico granular, masivo a cataclástico. El cuarzo es anhedral y presenta extinción ondulada. El feldespato potásico ocurre en cristales subhedrales mayores a 1 cm, con buen desarrollo del enrejado microclínico. La plagioclasa varía de albita a oligoclasa, es anhédrica a subhédrica con inclusiones de sericita y epidoto. La biotita generalmente de color verde botella, se presenta en cristales euhedrales como hojuelas entre el feldespato. La hornblenda, de color verde, aparece en algunos casos alterada a biotita y clorita.

**Extensión geográfica:** el Granito de Santa Rosalía aflora extensamente en los valles de los ríos Cuchivero y Guaniamo y soporta las mayores elevaciones de la región. Mendoza (1985) lo describe en la cuenca del río Suapure. Se han descrito granitos tipo Santa Rosalía en diversas localidades de la parte norte central del estado Amazonas por Mendoza (1977), en el área de San Fernando de Atabapo por Rivas (1985), en la zona de San Carlos de Río Negro por Martínez (1985) y en el área del río Parupa, afluente del río Caroní, por Takeda (1989).

**Contactos:** el Granito de Santa Rosalía es intrusivo en las rocas volcánicas de la Formación Caicara. Mendoza (1985) menciona que en el área del río Suapure, el Granito de Parguaza es intrusivo en el Granito de Santa Rosalía.

**Edad:** en el área del río Cuchivero, Olmeta (1968), determinó una edad de  $1120 \pm 60$  Ma. por el método K/Ar; edad que pudiera corresponder al evento termal Orinoquense o Nickerian. En muestras provenientes del área del río Suapure se obtuvo una edad, por isocrona de Rb/Sr en roca total, de 1.875 Ma. (Hurley *et al.*, 1977). Gaudette *et al.* (1977) utilizando el mismo método obtuvo una edad de  $1.952 \pm 71$  Ma. Mendoza (1985) considera que el granito de Santa Rosalía en la región del río Suapure, pertenece a los granitos ricos en potasio del evento Transamazónico, el cual ocurrió hace  $1.900 \pm 200$  Ma.



## 4. GEOGRAFIA FISICA

### 4.1. RELIEVE

El sector se caracteriza por poseer extensas zonas planas constituidas por sedimentos jóvenes del terciario tardío y el cuaternario, los cuales se corresponden con la planicie aluvial del río Orinoco en su margen derecha. Dentro del relieve del sector se observa:

**Colinas y Cerros:** son de forma y estructura variable, constituido por rocas intrusivas y extrusivas con crestas redondeadas que alcanzan desde 60 hasta 300 m.s.n.m., y pendientes entre el 15% y 60%.

**Glacis:** areas de topografía plana inclinada, con pendientes longitudinales constantes o ligeramente cóncavas que varían entre el 1 a 0%. En sentido transversal, la pendiente es casi nula, limitada por cerros y colinas abruptas. Por efectos de escurrimientos difusos soportan una cobertura apreciable de material detrítico de origen coluvial y aluvial. En términos litológicos, los suelos de los glacis varían de acuerdo al material constituyente y por consiguiente pueden distinguirse los arenosos, que son los excesivamente drenados sobre pendientes entre 2% y 8% y los parcialmente arenosos, con incrementos significativos del contenido de arcilla (franco-arcillo-arenosos).

**Planicies de erosión:** superficies originalmente ocupadas por glacis, disectados hasta formar planicies de erosión con pendientes inferiores al 0.5%. Sus características varían en fusión constituyente de los glacis y de la intensidad de los procesos de degradación.

**Lomeríos:** conjunto de pequeñas lomas, cuyas pendientes no exceden del 10% y elevaciones entre 5 y 10 metros sobre pequeños y estrechos valles, los cuales forman vías de drenajes y pequeñas lagunas. son producto de la disgregación y resaltamiento de las colinas y cerros que originaron los glacis.

**Valles coluvio-aluviales:** tipos de relieves moldeados por glacis y superficies de erosión onduladas de forma alargada y cóncava, generalmente estrechos con pendientes longitudinales inferiores a 0.5%.

**Planicie aluvial del Orinoco:** En la margen derecha del río Orinoco, se distinguen las siguientes formas:

**Complejo orillar:** Localizado en el lecho del río, formado por aluviones recientes, afectado periódicamente por inundaciones y caracterizados por montículos, depresiones y zonas alargadas.

Antigua planicie aluvial poco inundable, donde se han formado algunas lagunas.

Antigua planicie aluvial inundable con numerosas lagunas.

## 4.2. CLIMA

Las características climáticas de Caicara están influenciadas por la presencia del río, en el caso de la misma el clima de la zona es tropical de sabana, donde se dan temperaturas altas todo el año, con una estación lluviosa desde abril hasta finales de octubre, y un período seco desde noviembre hasta marzo.

En el centro poblado de Caicara las temperaturas son altas todo el año, con un promedio anual de 28.2 ° C., con temperaturas menores en los meses de enero, junio, julio y agosto (inferiores a los 27.5°C.), y mayores en los meses de marzo y abril (superiores a los 29 °C.)

## 4.3. PRECIPITACIONES

En Caicara, se alcanza un valor promedio de 1536 mm/año, una precipitación promedio mensual cercana a los 100 mm, un valor máximo de 715.2 mm en agosto y una mínima de 0 mm, en marzo. La estación lluviosa se extiende desde mayo hasta octubre, y en ella se concentra el 84% de la pluviosidad anual, alcanzando la mínima intensidad en agosto. La estación seca corresponde al resto de los meses, desde noviembre hasta abril y en ella se registran aproximadamente el 16% de la precipitación restante, siendo enero y febrero los meses más secos con 5 mm de precipitación promedio mensual.

## 4.4. EVAPORACION

Es relativamente alta en toda la zona, con un promedio anual superior a los 2000 mm.

## 4.5. VIENTOS

Los vientos predominantes son los alisios del noreste, con una dirección frecuente norte-este; mientras que en la estación de lluvia son predominantes los vientos de la masa continental del frente intertropical con una dirección sureste. La velocidad de los vientos es relativamente baja y oscila alrededor de 2.5 km/h., siendo los meses de diciembre a abril cuando presentan mayor velocidad llegando a 5 km/h.

## **4.6. HUMEDAD**

La humedad es alta en toda la zona debido a la baja altitud y a la presencia de un cuerpo de agua como lo es el Orinoco, y se ubica por encima del 75%. La presencia del Orinoco sumada a los factores humedad, vientos, altitud, latitud y microrelieve configuran un clima cálido a húmedo.

## **4.7. HIDROGRAFIA**

La red hidrográfica está definida por dos tipos de régimen: cursos permanentes y cursos intermitentes. En el área inmediata de Caicara, el único curso de agua de escorrentía permanente lo constituye el río Orinoco; los demás cursos de agua son intermitentes, aparecen en la época de lluvia y se generan en las colinas que los circundan cuando caen las precipitaciones. Sin embargo, debido a las deficiencias que presenta el drenaje superficial, a la poca profundidad de los cauces y a los caudales irregulares, las escorrentías intermitentes generan frecuentemente problemas de erosión laminar local e inundaciones estacionales.

Caicara presenta numerosas lagunas en la parte noroeste, este y suroeste, la mayoría producto de inundaciones estacionales, que como su nombre lo dice, se forman en la estación lluviosa alcanzando el máximo nivel de las aguas durante los meses de agosto, septiembre y octubre.

## **4.8. VEGETACION**

El manto vegetal de Caicara, está representado por un bosque seco tropical, que se presenta como: bosque clímax o virgen, bosques secundarios o sabanas. El bosque secundario y la sabana como característicos del sur de Caicara, no representan restricciones para el desarrollo urbano. Se puede observar con claridad que la vegetación en las zonas más bajas de estas tierras es más vigorosa aunque de relativa baja altura (hasta 5 metros) y durante la época lluviosa tiene carácter exuberante. La sabana se localiza en los espacios de menor pendiente con vegetación dominante de gramíneas.

Entre las variables naturales que han influido en la conformación de este tipo de suelos se encuentra la alta temperatura dominante en período de insolación a la que se han visto sometidas y las precipitaciones. La vegetación característica es de árboles espaciados en grandes extensiones cubiertas de gramíneas con escasas zonas boscosas. Están dadas una serie de condiciones, humedad, nivel freático alto, altitud sobre el nivel del mar, que favorece cierto tipo de vegetación, la cual debe tomarse en cuenta para el diseño paisajístico de la ciudad. Entre las especies recomendables están: bucare piñón, bucare Anauco, bucare peonía, bucare velludo, el matarratón, el roble, el drago, etc.

## **4.9. SUELOS**

Los suelos varían de acuerdo al material constituyente y por consiguiente pueden distinguirse los arenosos que son excesivamente drenados sobre pendientes entre 2-8% y los parciales arenosos con incremento significativo de contenido de arcillas (franco-arcillo-arenoso).

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1. MACIZOS ROCOSOS

En primera instancia se debe definir que es una matriz rocosa y discontinuidad de acuerdo a González de Vallejo (2002):

“La matriz rocosa es el material rocoso exento de discontinuidades, o bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad.”

Una discontinuidad es cualquier plano de origen estructural o sedimentario que separa los bloques sólidos de un macizo rocoso, tales como diaclasas, fallas, foliación y estratificación. Estas estructuras tienen una resistencia al corte menor que la roca intacta, y constituyen superficies débiles a lo largo de las cuales es más factible que se produzca una rotura.

Entonces, se tiene que un macizo rocoso es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diversos tipos que afectan al medio rocoso. Los factores geológicos que dominan el comportamiento o las propiedades mecánicas de los macizos rocosos son:

La Litología y propiedades de la matriz rocosa.

La estructura geológica y las discontinuidades.

El estado de esfuerzos a que está sometido el material.

El grado de alteración o meteorización.

Las condiciones Hidrogeológicas.

Para fines de esta investigación se explicará la meteorización de las discontinuidades.

### 5.1.2. METEORIZACIÓN

Indicar el grado de meteorización de la roca es muy importante en una descripción en campo, ya que éste afecta las propiedades físico-químicas de las rocas y por tanto su comportamiento geomecánico. Para identificar el grado de meteorización de una roca, se puede usar la tabla 5.1.

**Tabla 5.1.**  
**Descripción del grado de meteorización de la roca intacta**

Término	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la roca intacta
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la roca intacta. Es conveniente indicar el grado del cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a unos minerales se debe mencionar.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos.

### 5.1.3. DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Definir las características y las propiedades de los planos de discontinuidad es necesario para poder determinar uno de los parámetros más importantes en la determinación de la resistencia de la zona de estudio, que es su resistencia al corte; esto es debido a que las discontinuidades presentes la zona de estudio influyen en gran medida en las propiedades y el comportamiento geomecánico del mismo.

Las discontinuidades se pueden agrupar en: sistemáticas, cuando aparecen en familias; y singulares, cuando aparecen en un único plano que atraviesa el macizo rocoso; los tipos de discontinuidades se pueden ver en la tabla 5.2

**Tabla 5.2**  
**Tipos de discontinuidades**

Discontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	Planos de estratificación Planos de laminación Diaclasas o juntas Planos de esquistosidad	Fallas Diques Discordancias
Lineales	Intersección de discontinuidades planares Lineaciones	Ejes de pliegues

Bien vale la pena, debido a la importancia de la presencia de discontinuidades en un macizo rocoso, complementar la información mostrada en la tabla anterior; para esto se presentan a continuación las siguientes definiciones de acuerdo con De Marco (2003), Salcedo (1983) y González de Vallejo (2002).

#### **5.1.4. DIACLASAS O JUNTAS**

Son quiebres o fracturas en la continuidad de la roca, de origen geológico y a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento o éste fue muy pequeño para ser visible. Pueden ser de origen tectónico, ígneo, o por relajación. Si las diaclasas cortan a través de varias capas de roca, y tienen longitudes de decenas o cientos de metros se les denominan “diaclasas maestras”, aquellas de menor magnitud pero que están bien definidas se denominan “diaclasas mayores”, y a las de menor importancia o fracturas más pequeñas se les denomina “diaclasas menores”.

#### **5.1.5. ESTRATIFICACIÓN O PLANOS DE ESTRATIFICACIÓN**

Son superficies características de las rocas sedimentarias que separan los estratos o capas de igual o diferente litología. Se pueden presentar también en rocas metamórficas que se hayan originado a partir de rocas sedimentarias.

#### **5.1.6. SUPERFICIES DE LAMINACIÓN**

Se presentan en las rocas sedimentarias en los planos de estratificación limitando las láminas de una secuencia sedimentaria.

**5.1.7. FOLIACIÓN O ESQUISTOSIDAD**

Son superficies penetrativas, de origen tectónico desarrolladas por la orientación de los minerales durante el metamorfismo, con una disposición perpendicular a la dirección del esfuerzo compresivo máximo. Se usa el término esquistosidad para referirse a superficies paralelas individuales que constituyen las rocas, y que son apreciables a simple vista; el término foliación, se usa para aquellas rocas de un grano más fino.

**5.1.8. SUPERFICIES DE CONTACTO LITOLÓGICO**

Son planos que separan las diferentes litologías que puedan presentarse en un macizo rocoso. En las rocas sedimentarias se incluyen en las superficies de estratificación, y en las rocas ígneas se pueden presentar, por ejemplo, como diques o mantos.

**5.1.9. FALLAS**

Son planos de rotura o fracturación a lo largo los cuales ha ocurrido un desplazamiento relativo de un lado con respecto al otro. En ocasiones, pueden llevar asociadas zonas de debilidad denominadas “brechas o zonas de falla” en las que la roca se puede encontrar triturada y no se puede distinguir bien el plano de rotura, esta brecha puede tener espesores de unos pocos centímetros o de algunos metros.

**5.1.10. FRACTURA**

Es un término general para indicar cualquier discontinuidad mecánica en la roca, como diaclasas, fallas, grietas o fisuras.

**5.1.11. GRIETA**

Se usa para definir una fractura pequeña.

**5.1.12. FISURA (HAIR CRACK)**

Son grietas pequeñas planares y originan respuestas no lineales en el proceso de carga-deformación a niveles bajos de esfuerzos, es decir ocasionan variabilidad y dispersión en los resultados de los ensayos.

## 5.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Las clasificaciones geomecánicas constituyen actualmente un método fundamental para la caracterización de los macizos rocosos a ser intervenidos, ya que aportan mediante la observación directa de las características de los macizos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del mismo. Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos que a continuación se presentan, están basados principalmente en las propiedades geomecánicas del medio; estos sistemas de clasificación han sido denominados “**Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos**” y permiten obtener los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo:

Índice de resistencia geológica

Propiedades de la matriz rocosa.

Frecuencia y tipo de las discontinuidades que definen:

El grado de fracturación (índice RQD)

El tamaño y la forma del macizo.

Sus propiedades hidrogeológicas.

Grado de meteorización o alteración.

Estado de tensiones *in situ*

Presencia de agua

### 5.2.1. 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.

La tabla 5.3 muestra la valoración de los parámetros geomecánicos usados en la clasificación RMR y La tabla 5.4 clasifica los macizos en base al puntaje RMR

**Tabla 5.3. Parámetros de Clasificación según Bieniawski (1989).**

	Resistencia de la roca intacta a la Compresión Simple (MPa)	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
1	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
	RQD	90% 100%	75% 90%	50% 75%	25% 50%	< 25%		
2	Puntuación	20	17	13	6	3		
	Separación de diaclasas	> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
3	Puntuación	20	15	10	8	6		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m	
		Puntuación	6	4	2	1	0	
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm	
		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		

**Tabla 5.4. Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR.**

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	> 4 Kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80-61	3-4 Kg/cm <sup>2</sup>	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 Kg/cm <sup>2</sup>	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 Kg/cm <sup>2</sup>	15°-25°
V	Muy Mala	< 20	< 1 Kg/cm <sup>2</sup>	< 15°

Creado por Evert Hoek en 1994 el Índice de Resistencia Geológica (GSI por sus siglas en inglés) se basa en la identificación y clasificación en campo de dos de las características físico mecánicas de un macizo rocoso:

La macro estructura, y la condición de las superficies de las discontinuidades.

**5.2.2. ÍNDICE GSI**

El GSI no depende de factores intrínsecos como por ejemplo: la orientación, la pretensión, la humedad, etc., así como en cambio sucede para la mayor parte de los otros índices de calidad propuestos y utilizados, como por ejemplo el RMR de Bieniawski, el RSR de Wickham y el Q de Barton, ni se reduce a la caracterización casi únicamente geométrica del macizo, como por ejemplo ocurre para el RQD de Deere. Quizás el único índice de calidad que posee carácter igualmente intrínseco es el también interesante RMI de Palmström; todos mencionados anteriormente.

**Tabla 5.5. Estimación del GSI.**

<b>CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR EL ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)</b>  A partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionar el intervalo apropiado de esta gráfica. Estimar el valor promedio del Índice de Resistencia Geológica (GSI) de dicho intervalo. No intentar ser tan preciso. Escoger un rango de GSI de 36 a 42 es más aceptable que fijar un GSI = 38. También es importante reconocer que el criterio de Hoek-Brown debería ser aplicado solamente en macizos rocosos donde el tamaño de los bloques o fragmentos es pequeño comparado con el tamaño de la excavación a ser evaluada. Cuando el tamaño de los bloques individuales es aproximadamente mayor a un cuarto de la dimensión de la excavación,		CONDICION SUPERFICIE DE DISCONTINUIDAD				
ESTRUCTURA		MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
		Muy rugosa, bordes sanos, superficies cerradas, sin rellenos	Rugosa, ligeramente meteorizada, abertura menor a 0,1 mm, predominan los rellenos	Ligeramente rugosa, moderadamente meteorizada, abertura entre 0,1-1,0 mm, rellenos duros y blandos	Lisa, muy meteorizada, abertura entre 1,0-5,0 mm, predominan los rellenos blandos	Espejos de falla, superficies descompuestas, abertura mayor a 5,0 mm, rellenos blandos
		DISMINUCION EN CALIDAD DE SUPERFICIE →				
	<b>INTACTA O MASIVA</b> macizo rocoso con pocas discontinuidades, carentes de planos de foliación	90			N/A	N/A
	<b>NO FOLIADA/FRACTURADA</b> macizo rocoso poco perturbado consistente de bloques cúbicos formados por tres sistemas ortogonales de discontinuidades, muy bien unidos entre sí	80	70			
	<b>NO FOLIADA/MUY FRACTURADA</b> macizo rocoso parcialmente perturbado consistente de bloques angulares unidos entre sí, formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades.		60	50		
	<b>NO FOLIADA/PERTURBADA</b> macizo rocoso plegado y/o fallado con bloques angulares formados por la intersección de varios sistemas de discontinuidades.			40	30	
	<b>NO FOLIADA/DESINTEGRADA</b> macizo rocoso altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados, pobremente unidos entre sí.				20	
	<b>BRECHADA/CIZALLADA</b> macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoide.	N/A	N/A			10

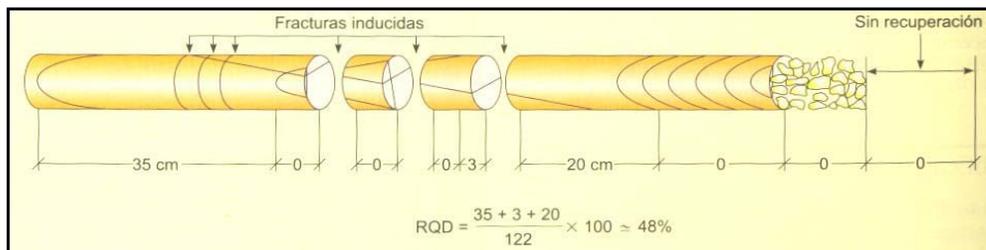
Es en efecto tal carácter intrínseco del GSI, que permitió a su autor proponerlo para que fuera utilizado esencialmente para el importante objetivo de estimar y cuantificar numéricamente las principales características geomecánicas de los macizos rocosos, marcando de tal manera un paso gigantesco hacia la resolución de uno de los más álgidos problemas de la mecánica e ingeniería de rocas: el GSI provee un sistema para estimar la reducción de la resistencia y aumento de la deformabilidad de las rocas que se producen al pasar de los materiales a los macizos. La caracterización de laboratorio sobre muestras de dimensiones necesariamente muy limitadas a las formaciones naturales dentro de las cuales se realizan las obras de ingeniería que requieren ser numéricamente analizadas diseñadas o verificadas.

### 5.2.3. ÍNDICE RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION) (HOEK, 2000)

El Índice de Designación de la Calidad de la Roca (RQD, por sus siglas en inglés), fue desarrollado por Deere en 1967 para proporcionar una estimación cuantitativa de la calidad del macizo rocoso a partir de núcleos de perforación. El RQD es definido como el porcentaje de núcleos intactos mayores de 100 mm (4 pulgadas) de largo, medido en el eje central. El núcleo debe tener un diámetro mínimo NW (54.7 mm ó 2.15 pulgadas de diámetro) y debe ser obtenido con perforadora utilizando un muestreador o porta-testigos tipo tubo doble. El índice RQD viene dado por la siguiente fórmula:

$$\text{RQD (\%)} = \Sigma \text{ longitud de los trozos de testigo } > 100 \text{ mm} * 100$$

Longitud total



**Figura 5. Representación gráfica de la medición y cálculo del índice RQD. Fuente. ISRM (1981)**

De Marco (1995), muestra, en su Trabajo, “Exploración y Caracterización de Rocas Discontinuas mediante el uso de técnicas de Perforación”, una clasificación basado en el valor RQD, clasificación que se puede apreciar en la Tabla 5.6.

**Tabla 5.6. Clasificación con RQD**

RQD (%)	Clasificación
> 90	Muy Buena
75-90	Buena
50-75	Regular
25-50	Mala
< 25	Muy Mala

### **5.3. PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS MATERIALES ROCOSOS**

Las propiedades físicas controlan las características resistentes y deformacionales de la matriz rocosa, y son el resultado de la génesis, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por las rocas a lo largo de su historia.

Estas propiedades son denominadas propiedades índice, son las que determinan en primera instancia, junto con la composición mineralógica y la fábrica, las propiedades y el comportamiento mecánico. En la tabla 5.7 se incluyen una lista de todas ellas y su método de determinación.

**Tabla 5.7. Propiedades de la matriz rocosa y métodos para su determinación**

	<b>PROPIEDADES</b>	<b>MÉTODOS DE DETERMINACION</b>
<b>Propiedades de identificación y clasificación.</b>	Composición mineralógica. Fábrica y textura. Tamaño de grano. Color.	Descripción visual. Microscopía óptica y electrónica. Difracción de rayos X.
	Porosidad ( $n$ ).	Técnicas de laboratorio.
	Peso específico o unitario ( $\gamma$ ).	
	Contenido en humedad.	
	Permeabilidad (coeficiente de permeabilidad, $k$ ).	Ensayo de permeabilidad.
	Durabilidad. Alterabilidad (índice de alterabilidad).	Ensayos de alterabilidad.
<b>Propiedades mecánicas.</b>	Resistencia a la compresión simple ( $\sigma_c$ ).	Ensayo de compresión. Ensayo de carga puntual. Martillo Schmidt.
	Resistencia a la tracción ( $\sigma_t$ ).	Ensayo de tracción directa. Ensayo de tracción indirecta.
	Velocidad de ondas sísmicas ( $V_p, V_s$ ).	Medida de velocidad de ondas elásticas en laboratorio.
	Resistencia (parámetros $c$ y $\phi$ ).	Ensayo de compresión triaxial.
	Deformabilidad (módulos de deformación elástica estáticos: $\epsilon$ o dinámicos : $\nu$ ).	Ensayo de compresión uniaxial Ensayo de velocidad sísmica.

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 ve sometido en su medio natural.

La descripción geológica de la roca incluye nombre, mineralogía, textura, tipo de cementación y grado de alteración.

La descripción petrográfica se realiza mediante la observación macroscópica de las muestras y el análisis microscópico, necesario para conocer la textura, composición, fábrica, grado de alteración, microfracturación, porosidad, etc. Este último se obtiene

mediante el análisis de láminas delgadas, microscopía óptica y electrónica y el empleo de técnicas de difracción de rayos X.

## **5.4. PROPIEDADES INDICES**

### **5.4.1. CRITERIOS MECÁNICOS DE RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DE LAS ROCAS**

El comportamiento de los macizos rocosos frente a una intervención humana 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 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.

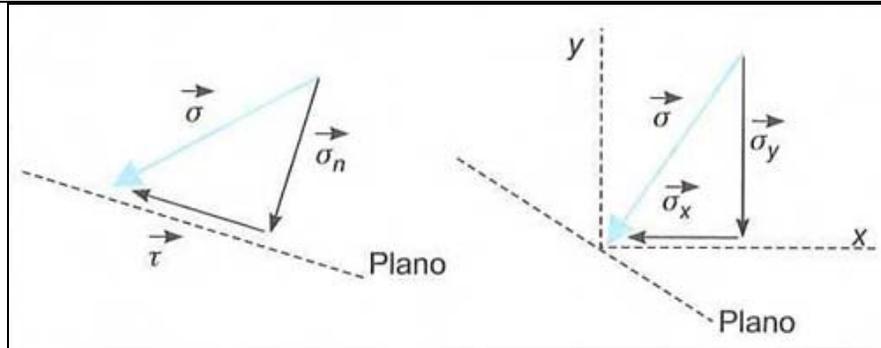
#### Fuerzas (P)

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.

#### Esfuerzo ó tensión, ( $\sigma$ )

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.

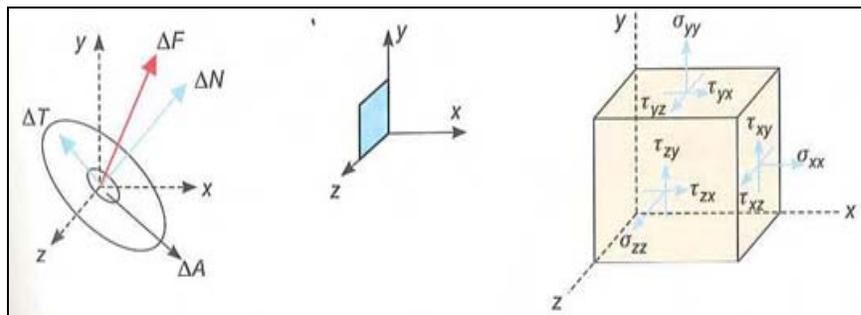
El esfuerzo se puede representar como un vector  $\sigma$ , y como tal puede descomponerse en sus componentes normal  $\sigma_n$  y tangencial  $\tau$  o  $\sigma_t$ , tal como se aprecia en la figura 6.



**Figura 6. Representación gráfica de los esfuerzos sobre un plano**

Estado tensional o 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. 7)



**Figura 7. Tensiones en tres dimensiones**

Deformación,  $\epsilon$

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.

Resistencia,  $\Sigma$

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* ( $\sigma_p$ ), 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* ( $\sigma_r$ ).

#### 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 un 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.

#### 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 friccionantes. 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.

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.

Angulo de fricción interna,  $\Phi$

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.

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 8 donde  $\sigma_1$  es el esfuerzo principal mayor y  $\sigma_3$  es el esfuerzo principal menor ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ). Adicionalmente, también se encuentran sometidas a esfuerzos tangenciales  $\tau$ , 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 a los que se ve sometido y las leyes que rigen su rotura y deformación.

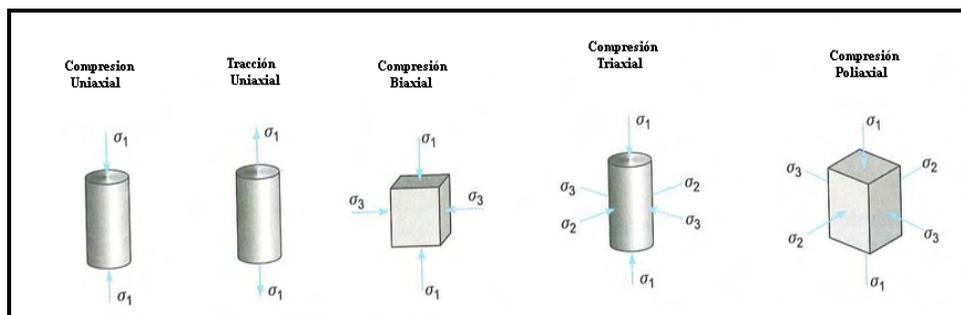


Figura 8. Diferentes estados de tensiones aplicados a muestras de laboratorio.

En este sentido, surgieron los llamados 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 las rocas. 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 los de Hoek y Brown y los de Mohr-Coulomb.

Si 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:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon * a * x} \quad (1)$$

Donde

$E$  es la constante de proporcionalidad conocida como Módulo de Young o Módulo de Elasticidad,  $\sigma$  es el esfuerzo generado y

$\varepsilon * a * x$  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 ( $\nu$ ), y está definido por la siguiente relación:

$$\nu = \frac{\varepsilon * t}{\varepsilon * a * x} \quad (2)$$

Donde:

$\varepsilon * t$  : es la deformación transversal o diametral de la muestra ensayada, figura 5.3.3.

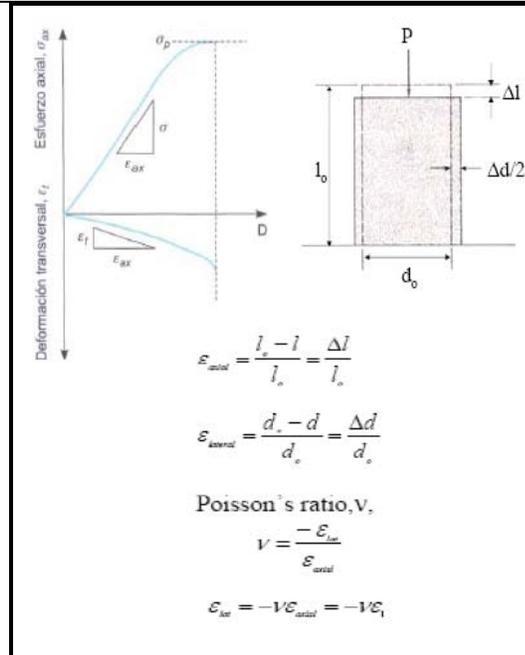


Figura 9. **Curvas tensión-deformación obtenida mediante ensayos de compresión uniaxial y representación gráfica del módulo de Young y el coeficiente de Poisson.**

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.

#### 5.4.2. CRITERIOS DE ROTURA, RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DE LOS MEDIOS ROCOSOS.

Criterios de Mohr-Coulomb

De acuerdo con González de Vallejo (2002), 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.

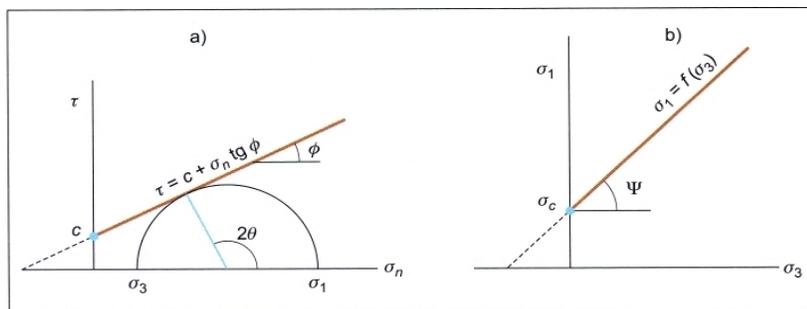


Figura 10. **Envolventes de Mohr-Coulomb en términos de (a) esfuerzos tangenciales y normales y (b) esfuerzos principales. Para un estado tensional situado por debajo de las envolventes, no se producirá rotura.**

Expresión matemática:

$$t = C + \sigma_n * \varphi \quad (3)$$

Donde:

$\tau$  y  $\sigma_n$  son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura; y

$c$  y  $\varphi$  son la cohesión y el ángulo de fricción de la roca intacta.

Este criterio también se puede expresar en función de los esfuerzos principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$

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

En condiciones de compresión sin confinar, es decir donde  $\sigma_1$  será la resistencia a la compresión simple de la roca  $\sigma_1 = \sigma_c$ , de la siguiente manera:

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

Para condiciones en que la roca es sometida a tracción, esto es  $\sigma_1 = 0$ ,  $\sigma_3$  será igual a la resistencia a la tracción  $\sigma_t$  (negativo), y el criterio define para esto la siguiente expresión:

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

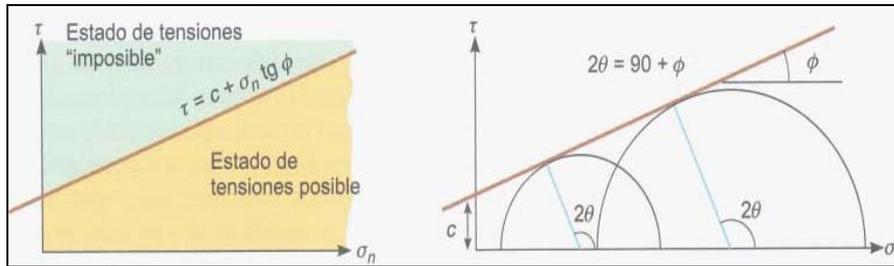
La representación gráfica de los estados de esfuerzos en un punto recibe el nombre de círculo de Mohr; las intersecciones del círculo con el eje  $\sigma_n$  son los esfuerzos principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ , el radio del círculo representa el máximo esfuerzo tangencial  $\tau$ . Cualquier punto del círculo representa el estado de esfuerzos sobre un plano cuya normal forma un ángulo  $\theta$  con la dirección del esfuerzo principal  $\sigma_1$  aunque para las aplicaciones de la mecánica de rocas, el criterio de Mohr-Coulomb para roca intacta queda representado como lo muestra la figura 8.

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  $\varphi$ , en la siguiente expresión:

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

Donde

$\sigma^*cm$  es la resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso, y  $k$  es la pendiente de la relación lineal entre  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ .



**Figura 11. 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 aumenta 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.

#### 5.4.3. 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:

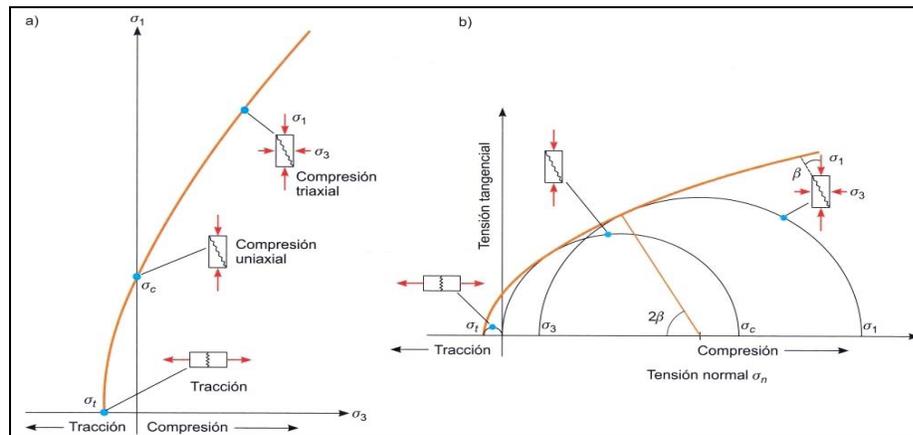
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{(m_i * \sigma_{ci} * \sigma_3) + (\sigma_{ci})^2} \quad (8)$$

Donde

$\sigma_1$  y  $\sigma_3$  son los esfuerzos principales mayor y menor en la ruptura,

$\sigma_{ci}$  es la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa y

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



**Figura 12. Envolturas de ruptura según el criterio de Hoek & Brown en función de: (a) esfuerzos principales y (b) esfuerzos normales y tangenciales.**

En términos de esfuerzos normalizados con respecto a  $\sigma_{ci}$ , el criterio expresado a dimensionalmente, se presenta de la siguiente forma:

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

Si en la fórmula (9), se sustituye  $\sigma_3 = 0$ , el valor de  $\sigma_1$  será la resistencia de la roca a la compresión simple. Para  $\sigma_1 = 0$  y  $\sigma_3 = \sigma_t$ , la resistencia a la tracción se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

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

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

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

Donde

$\sigma_t$  es la resistencia a la tracción y

A, B son constantes dependientes de  $m_i$ .

El valor de  $\sigma_{ci}$  debe ser estimado en ensayos de laboratorio, o a partir de ensayos de carga puntual.

El parámetro  $m_i$  se obtiene realizando ensayos triaxiales, en caso de no ser posible, se puede obtener por medio de la bibliografía.

El valor de  $m_i$ , también puede ser calculado a partir de la ecuación 12, sustituyendo los valores  $\sigma_1 = 0$  y  $\sigma_3 = \sigma_t$ , dando como resultado la ecuación siguiente:

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

**Tabla 5.8. Tabla de estimación de la constante  $m_i$  de acuerdo al tipo de roca.**

TIPOS DE ROCAS Y VALORES DE LA CONSTANTE $m_i$				
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.				

## 5.5. ENSAYOS GEOMECANICOS PARA ROCAS

Evaluación de las propiedades físicas de la roca intacta.

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

### 5.5.1. 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.

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

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (13)$$

donde, p es la carga máxima soportada por la muestra (kg) y A es el área de la sección de la probeta (cm<sup>2</sup>).

**En la tabla 5.4., 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 5.9. Clasificación de la roca en función de su resistencia a la compresión uniaxial.**

**Fuente: Franklin J. (1989).**

Clasificación de la roca	Co (Kg/Cm <sup>2</sup> )
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

### **5.5.2. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE 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).

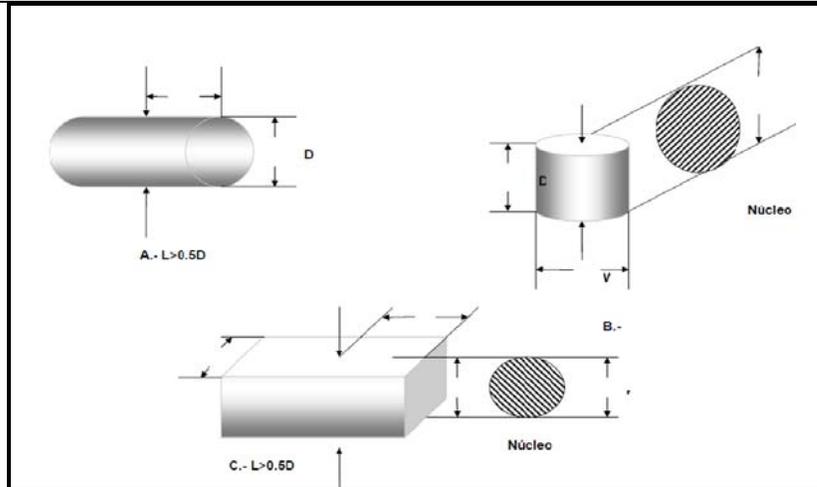


Figura 13. Requerimientos geométricos para el ensayo de Carga Puntual: A.-Diametral, B.- Axial, C.- Bloque

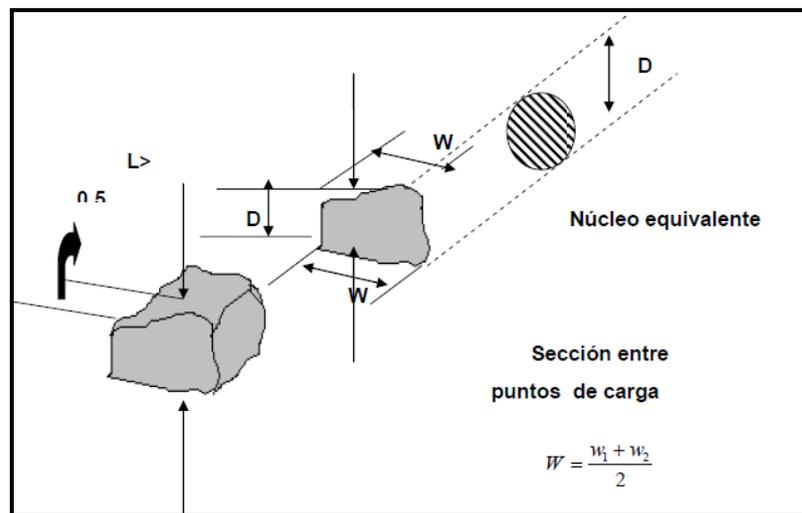
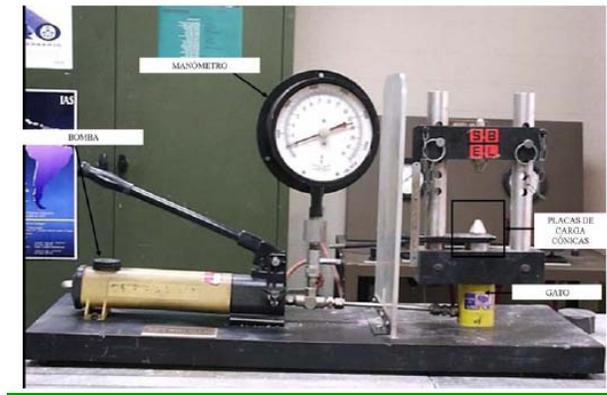


Figura 14. Requerimientos geométricos para el ensayo de Carga Puntual: Bloque Irregular  
Fuente: DE MARCO, 1995

Aparatos y equipos necesarios

La máquina del ensayo (Fig.15) 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.

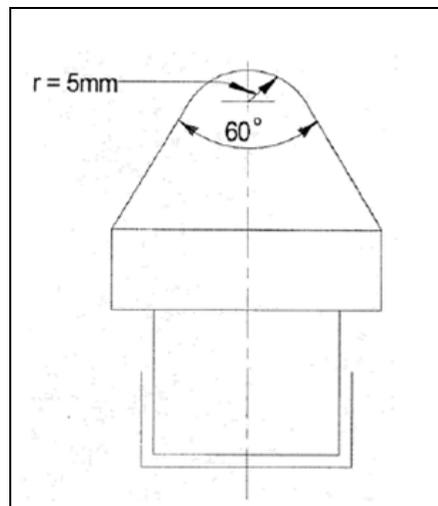


**Figura 15. Equipo para la realización del ensayo de Carga Puntual, Ubicado en el laboratorio de Mecánica de Rocas del Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.**

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  $\pm 0.2$  mm durante el ensayo.

Las placas de carga deben tener forma cónica ( $60^\circ$ ), truncada esféricamente ( $r=5\text{mm}$ ) según se ilustra en la figura 16. Deben estar construidas de material suficientemente duro (tungsteno o acero), que no se dañe durante el ensayo.



**Figura 16. Equipo de Carga Puntual, Detalle de las placas de carga cónicas. Fuente: (De Marco, 1995)**

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.

Un vernier o regla metálica, un transportador.

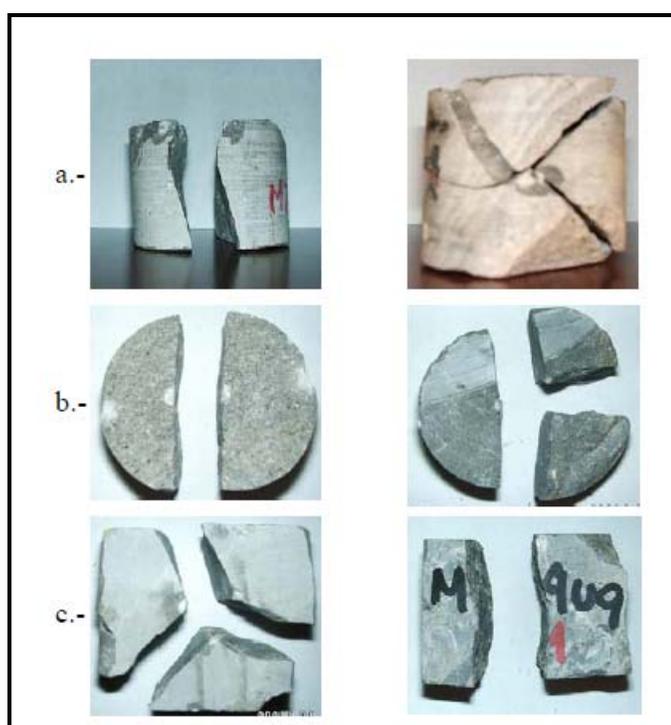


Figura 17 Modos de falla típicos: a.- Ensayos diametrales, b.- Ensayos Axiales, c.-Ensayos en bloques. Fuente (Fuenmayor, 2001)

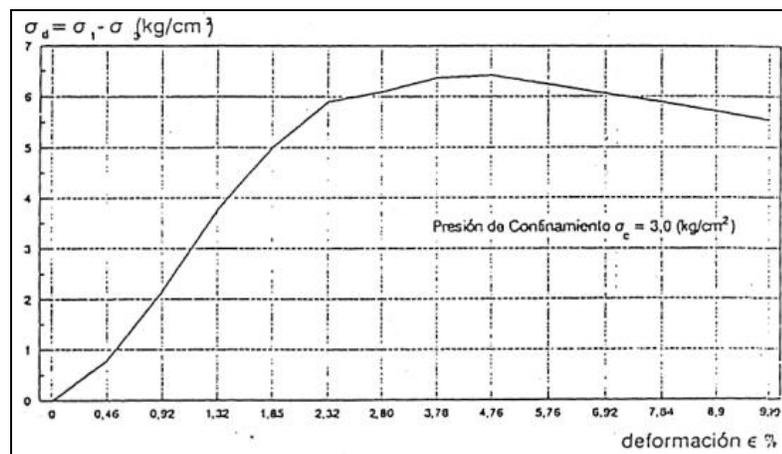
### 5.5.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NORMA (ASTM D 2664-86 )

Este ensayo determina la resistencia a la compresión de un testigo cilíndrico de roca en estado no drenado bajo una presión de confinamiento. Nos provee de los valores

necesarios para graficar la envolvente de esfuerzos (Mohr) y a partir de ésta calcular el valor del ángulo de fricción interna y la cohesión aparente de la roca.

Como sabemos la roca a profundidad se comporta en función de la presión de confinamiento existente en el terreno. El ensayo de compresión triaxial es comúnmente usado para simular las condiciones que existen en la masa rocosa subterránea.

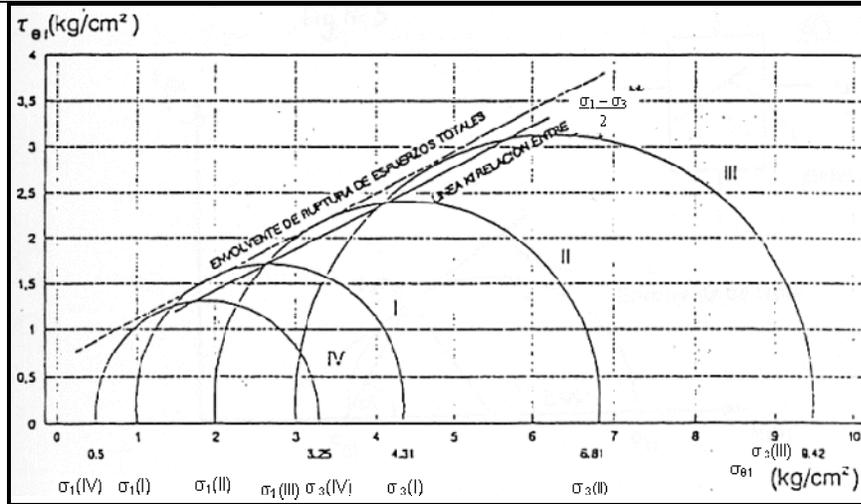
En un ensayo de compresión triaxial la carga axial y su esfuerzo principal correspondiente simulan el esfuerzo principal mayor que actúa en la corteza ( $\sigma_1$ ), mientras que la tensión radial producida por la presión hidráulica representa el esfuerzo principal menor  $\sigma_3$ . Cuando se indica un valor de resistencia a la compresión triaxial, habrá que mencionar necesariamente la presión de confinamiento ( $p$ ) que se aplicó durante el ensayo.



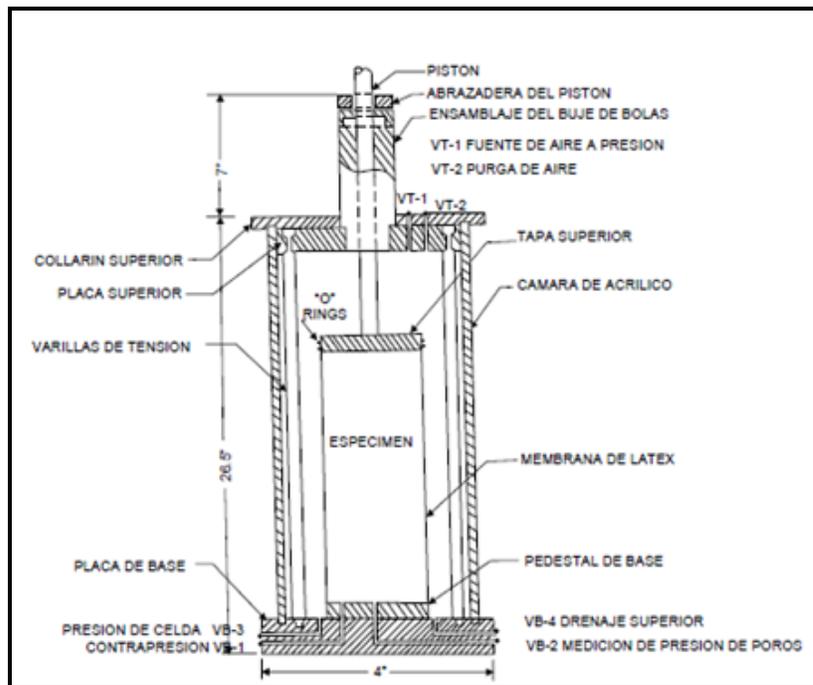
**Figura. 18. Diagrama esfuerzo - deformación. Diámetro 70 mm**

Cada par de valores  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  sirven para construir dos tipos de gráficos. El primer tipo representa el lugar geométrico de la relación existente entre  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$

El segundo tipo de gráfico nos permite construir los círculos de Mohr en los ejes  $\sigma - t$  para luego trazar la envolvente de Mohr (figura 19).



**Figura. 19.** Círculo de Mohr para esfuerzos totales diámetro de 70 mm, y envolvente de falla. El equipo consiste de tres partes: Una celda triaxial, un equipo de carga y un equipo para generar presión de confinamiento. Celda triaxial figura 20:



**Figura. 20.-** Características de la Celda Triaxial (1 pulg. = 25.4 mm)

El cuerpo de la celda debe tener dos conexiones: uno para la entrada del aceite y otro para la salida del aire.

Una chaqueta impermeable y flexible de caucho que debe tener el mismo diámetro que el del testigo. El testigo quedará dentro de la chaqueta totalmente rodeado por el aceite sin que éste penetre en la roca.

Dos platinas con asientos esféricos y dureza Rockwell 58 HRC se colocan a ambos lados del testigo. El diámetro de las platinas será de  $D$  y el espesor de por lo menos  $D/3$  donde  $D$  es el diámetro del testigo.

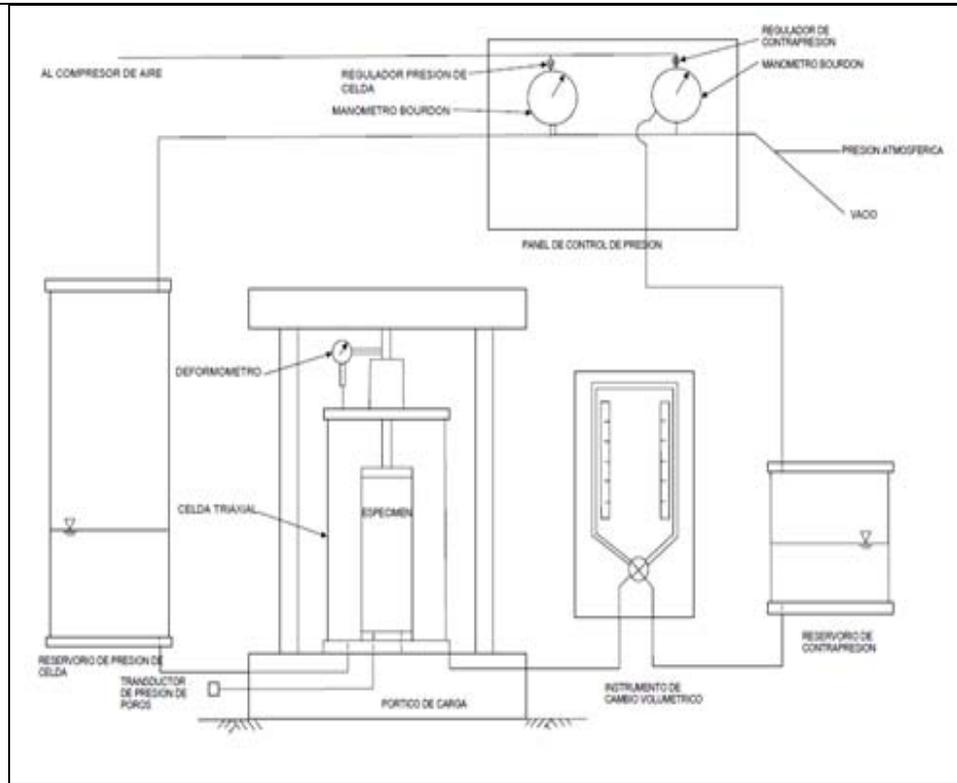
Para aplicar y medir la carga axial

Una prensa que puede aplicar y medir la carga axial 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.

El bloque de asiento esférico de la máquina debe ser retirado. Las caras de carga de la máquina deben estar paralelas entre sí.

Para generar y medir la presión de confinamiento

Una bomba hidráulica capaz de mantener constante la presión de confinamiento ( $\sigma_3$ ) con no más del 2% de desviación del valor deseado.



**Figura. 21. Esquema del aparato para el ensayo triaxial**

Un manómetro que permite observar y registrar que la presión de confinamiento se mantenga constante.

#### Preparación de testigos

Los testigos deben ser cilíndricos circulares con una relación longitud-diámetro (L/D) entre 2 y 2.5. La relación entre el diámetro del testigo y el diámetro del grano más grande de la roca debe ser como mínimo de 10 a 1.

La superficie del testigo debe ser lisa y libre de irregularidades abruptas, con todos sus elementos alineados sin desviarse más de 0.5 mm a lo largo del testigo.

Las bases deben ser paralelas entre sí, sin desviarse más de 0.025 mm y perpendiculares con respecto al eje longitudinal del cilindro sin apartarse más de 0.05 mm en 50 mm.

No se permiten testigos que estén cubiertos con otro material o que tengan algún tratamiento superficial diferente al de la máquina refrendadora.

El diámetro debe ser medido con aproximación a 0.1 mm y ser el promedio de las medidas de dos diámetros perpendiculares entre sí y tomadas en tres partes del testigo: superior, medio, inferior.

La altura debe ser tomada con aproximación al mm.

La condición de humedad del testigo puede tener un efecto significativo en la resistencia que pueda alcanzar la roca. Los testigos no deben ser almacenados por más de 30 días. Una buena práctica es tratar de conservar las condiciones de humedad natural del testigo hasta el momento del ensayo.

El número de testigos a ensayar depende del número de las diferentes presiones de confinamiento con las que se desea ensayar.

#### Procedimiento

La celda es ensamblada con el testigo instalado en la chaqueta y entre las platinas. El testigo, las platinas y los asientos esféricos deben estar alineados entre sí. Los asientos esféricos estarán ligeramente lubricados con grasa o aceite.

La celda triaxial se llena con aceite permitiendo que el aire salga por la conexión de escape. Hay que asegurarse que la chaqueta no tenga fisuras ni huecos en de cada ensayo, de manera que el aceite no penetre en el testigo.

La celda se instala en el equipo de aplicación de carga normal.

Se establece la presión de confinamiento en el nivel predeterminado y se mantiene constante, entonces se aplica la carga normal. El máximo valor de carga axial y su correspondiente presión de confinamiento se registran.

Se repite el procedimiento para otro valor de presión de confinamiento.

#### Cálculos

La resistencia a la compresión ( $\sigma_1$ ) se calcula dividiendo el máximo valor de la carga aplicada al testigo y el área de la sección transversal del testigo.

Las presiones de confinamiento con sus correspondientes valores máximos de resistencia a la compresión se grafican; el valor de presión de confinamiento en las abscisas y el valor de resistencia a la compresión en las ordenadas.

Se juntan los puntos con una línea que para consideraciones prácticas será una recta caracterizada por su pendiente "m" y su ordenada en el origen "b"

Con m y b obtenemos el ángulo de fricción  $\phi$  y el valor de cohesión aparente C usando:

$$\phi = \frac{(\arccos \frac{(m-1)}{m})}{(m-1)} \quad (14)$$

$$C = b \frac{(1 - \sin \phi)}{2 \cos \phi} \quad (15)$$

Una forma más directa de hallar  $\phi$  y C es graficar la envolvente de los círculos de Mohr:  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  en las abscisas y la resistencia al corte en las ordenadas (figura 15).

También será necesario el valor de tracción indirecta y compresión simple. Luego se traza una recta tangente a los círculos. El ángulo que forma esta recta con el eje de las abscisas será el valor de  $\phi$  y la intersección de la recta con el eje de las ordenadas será el valor de C.

- Los valores de C y  $\phi$  junto con el rango de presiones en el que son válidos.
- Dibujo esquemático del tipo de falla.

#### 5.5.4. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE PULSO Y CONSTANTES ELÁSTICAS ULTRASÓNICAS EN ROCAS. (ASTM D 2845-00, 2000).

El método para determinar la velocidad de onda compresional y de corte, fue el método de pulso ultrasónico. Este consiste en generar un pulso mecánico, que se hace pasar a través de la muestra por medio de cabezales piezoeléctricos, que convierten un pulso eléctrico proveniente de un generador, a un pulso mecánico capaz de atravesar la roca. Este método es válido para medir velocidad de ondas en rocas isotrópicas y anisotrópicas, aunque las velocidades obtenidas en algunas rocas anisotrópicas pueden ser influenciadas por factores como dirección, distancia de viaje de la onda, diámetro de la muestra, y diámetro de los cabezales.

Las constantes elásticas ultrasónicas son calculadas a partir de las medidas de velocidad de ondas y densidad global. Las mismas son determinadas por frecuencias de pulsos ultrasónicos, que usualmente se encuentran por encima del rango de audición perceptible por el ser humano.

La evaluación de los ultrasonidos en roca, es útil para la predicción de propiedades estáticas. Estas propiedades son, a su vez, útiles en el diseño ingenieril. Para la realización de este ensayo las muestras deben seguir las siguientes características:

Es recomendable que la mínima dimensión lateral del radio de la distancia de viaje del pulso, no exceda los 5x.

Los resultados de las velocidades de pulso no deben ser medidos cuando los valores del radio sean mayores al valor antes indicado.

La diferencia que existe entre la determinación de las velocidades de onda compresional y de corte, consiste solo en la dirección de penetración del pulso mecánico generado por los cabezales piezoeléctricos. La onda de compresión penetra en el núcleo verticalmente, con un avance resultante del efecto de presión en cadena, por su parte, la onda de corte penetra en el mismo sentido de la onda compresional, pero se propaga en forma de corte o de cizalla. Sanseviero, (1996).

#### Aparatos y equipos necesarios

Para la determinación de la velocidad de pulso ultrasónico es necesario un medidor de velocidad de pulso ultrasónico y 2 transductores. Este ensayo permite determinar la velocidad de la onda P (onda de corte), en un núcleo de roca. (Figura 22.).

Esta unidad está compuesta por un generador de pulsos electrónicos y voltaje externo o amplificador de potencia (si es necesario). Un voltaje de salida en forma de rectángulo o un pulso de onda sinusoidal vallado es satisfactoria. El generador tendrá un voltaje de salida con un valor máximo después de amplificación de al menos 50  $\vartheta$  en un 50  $\vartheta$  impedancia de carga. Una variable amplia de pulso, con un intervalo de 1 a 10  $\mu$  s es deseable.

La tasa de repetición del pulso puede ser calculada a 60 repeticiones por segundo o menos, aunque un rango de 20 a 100 repeticiones por segundo es lo más recomendable. El generador de pulsos tendrá también un disparador de salida de pulsos para activar el osciloscopio. Habrá un retraso de la variable principal de la salida de pulsos con respecto a la activación de la salida de pulsos, con un mínimo rango de 0 a 20  $\mu$ s



**Figura 22.** Equipos usados en el ensayo para la obtención de la velocidad de Onda P en roca. Medidor de pulso ultrasónico UPV-E48. Fuente: ALVAREZ,(2007)

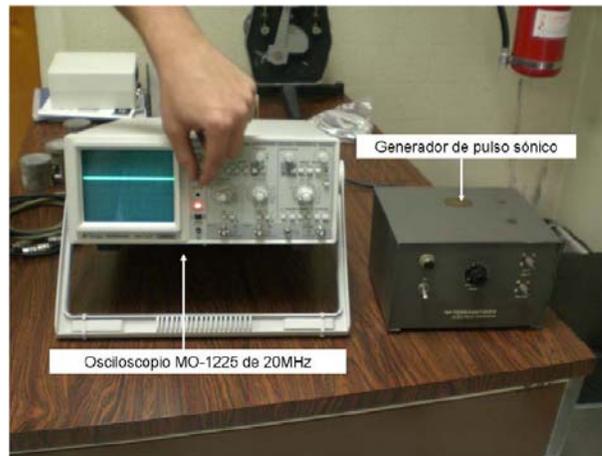
Los transductores o cabezales se componen de: un transmisor que convierte impulsos eléctricos en impulsos mecánicos y un receptor que convierte pulsos mecánicos en impulsos eléctricos. Las condiciones ambientales tales como la temperatura ambiente, la humedad, y el efecto debe considerarse sobre los resultados. Este ensayo determina principalmente las ondas de cizalla en la roca.

Longitud de onda es la velocidad de la onda en la muestra de roca, dividida por la frecuencia de resonancia del transductor.

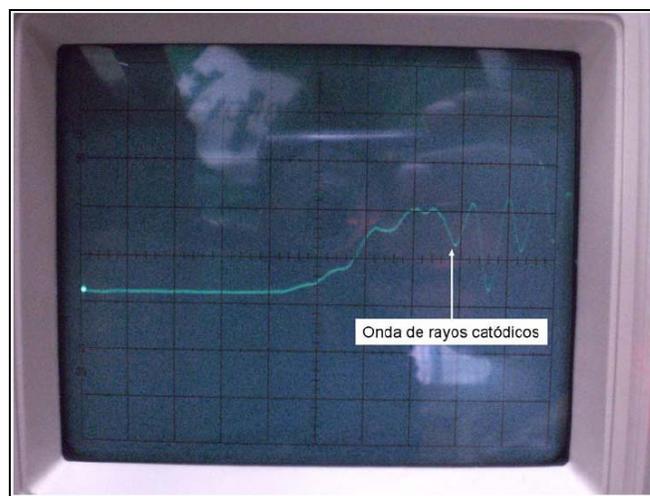
Pantalla y Unidad de toma de tiempo (cronómetro): la Unidad de pulso de voltaje aplicado a la transmisión de transductor y el voltaje de salida de la recepción de transductor se visualiza en un osciloscopio de rayos catódicos, para la observación visual de las formas de onda. El osciloscopio debe tener una respuesta esencialmente entre una frecuencia de 5 kHz y 4:3 la frecuencia de resonancia de los transductores.

Consta de dos líneas, o de doble traza, de manera que las dos ondas pueden ser mostradas al mismo tiempo, y por separado sus amplitudes controladas. El osciloscopio se desencadena por un pulso producido por el generador de impulsos. El cronómetro debe ser capaz de medir intervalos de entre 2  $\mu$ s y 5  $\mu$ s con una precisión de 1 parte en 100. El tiempo de viaje entre circuito de medición deberá ser calibrado periódicamente en lo que respecta a su exactitud y linealidad en el rango del instrumento. Se recomienda que la calibración de la medición de tiempo de circuitos

sea comprobada al menos una vez al mes, y después de todas las graves consecuencias que el instrumento puede recibir.



**Figura.23.** Osciloscopio y generador de pulso sónico usados en el método de ensayo para determinar la velocidad de pulso y constantes elásticas ultrasónicas en rocas.



**Figura 24.-** Onda visualizada en el osciloscopio de rayos catódicos modelo MO-1225.

#### **5.5.5. ENSAYO DE CORTE DIRECTO, NORMA (ASTM D 5607-95, 1995 ISRM SUGGESTED METHOD FOR IN SITU DETERMINATION OF DIRECT SHEAR STRENGTH).**

Determina la resistencia al corte pico y residual a través de discontinuidades contenidas en bloques o núcleos de roca, en función de la carga normal aplicada sobre el plano.

Los resultados se utilizan en los análisis de equilibrio límite para resolver problemas de estabilidad de taludes y estabilidad de fundaciones.

Los aparatos y equipos necesarios para preparar la muestra son:

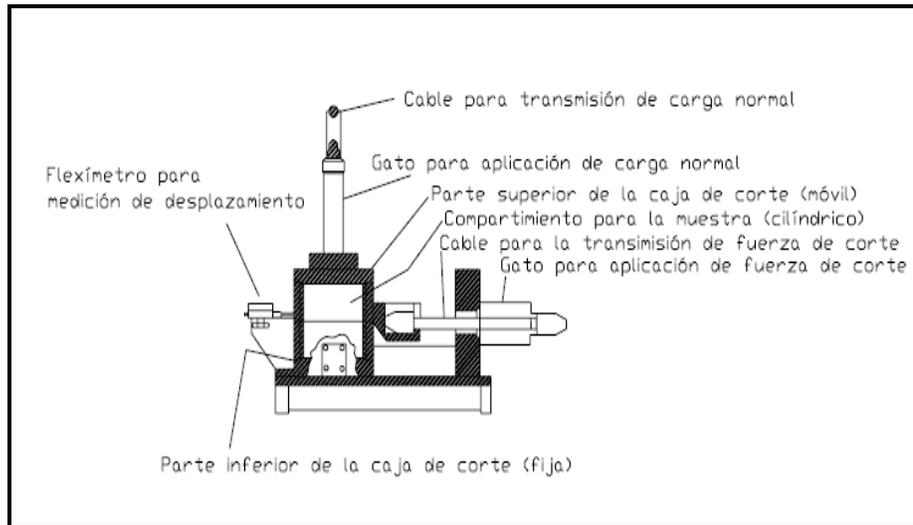
- Sierra de diamante, cincel o cortador de núcleos
- Alambre o cinta adhesiva para mantener los planos de la discontinuidad unidos durante el montaje de la muestra.
- Moldes desarmables para la montura del espécimen.
- Cemento, yeso dental, resina o similar, de resistencia suficiente para fijar cada mitad de la muestra.



**Figura 25.      Equipo de Corte Directo, SBEL, RM-102. Antigo laboratorio de Mecánica de Rocas, U.C.V.**

- Sistema para aplicación de carga normal, diseñada para asegurar que sea uniformemente distribuida sobre el plano a ensayar. La fuerza resultante debe actuar normal al plano de corte pasando a través del centro del área y mantenerse constante con una tolerancia del 2% del valor deseado.
- Sistema para aplicar fuerza de corte, preferiblemente en dos sentidos, diseñado de manera que la carga sea distribuida uniformemente a lo largo de la superficie de discontinuidad y la fuerza de corte resultante actúe en el plano de corte. El equipo debe permitir un desplazamiento de corte de por lo menos del 10 % de la longitud del espécimen. Debe poseer un dispositivo de baja fricción (guayas o similares) para asegurar que la resistencia del mecanismo al desplazamiento de corte sea menor que el 1 % de la máxima fuerza de corte aplicada en el ensayo.
- Equipo (manómetros) para la medición independiente de las fuerzas normal y de corte con una precisión de  $\pm 2\%$  de la máxima fuerza normal alcanzada en el ensayo.

- Equipo (flexímetros) para la medición de los desplazamientos de corte, normal y lateral. En el primer caso el dispositivo debe permitir registrar un desplazamiento superior al 10 % de la longitud de la muestra, con una precisión de 0.1 mm. Para la medición de los desplazamientos normal y lateral, el equipo debe permitir un desplazamiento de 0.05 mm.
- Vernier, cronómetro, implementos para la preparación de muestras.



**Figura 26. Esquema del equipo de Corte Directo, SBEL, RM-101.**  
**Fuente: DE MARCO, 1995.**

Para calcular el esfuerzo normal y de corte, para cada una de las lecturas efectuadas, se utilizan las siguientes expresiones:

$$\sigma_n = \frac{P_n}{A} \quad (16)$$

$$\tau = \frac{P_c}{A} \quad (17)$$

Donde:

$P_n$ = fuerza normal aplicada, en kg o N

$P_c$ = fuerza de corte aplicada, en kg o N

$A$ = área de superficie de corte, en  $cm^2$  o  $mm^2$

Luego graficar para cada muestra la curva esfuerzo de corte vs desplazamiento de corte, indicando el esfuerzo normal aplicado y los valores de resistencia pico y residual.

### 5.5.6. 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 del microscopio petrográfico 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 grano.

Una sección fina tiene dimensiones de 25 x 45 mm aproximadamente, y un espesor entre 1 y 2 mm. En la figura 27 se puede observar la sección fina de una roca, preparada para descripción en microscopio petrográfico.



**Figura 27. 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 (Figura28), cámara fotográfica y una lámpara para observar minerales metálicos bajo luz reflejada.

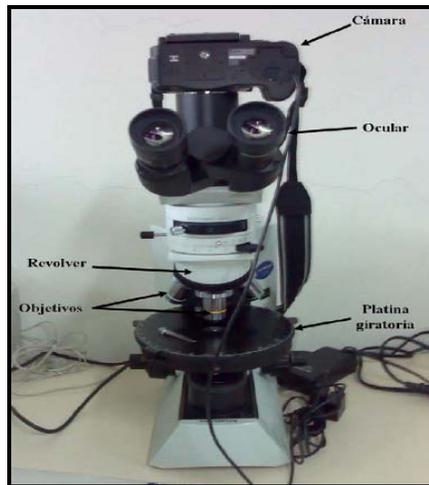


Figura 28. Microscopio petrográfico. Mod. Olympus CDX10. Laboratorio de petrografía Ígneo – metamórfica. Departamento de Geología, UCV. Foto: ALVAREZ, (2007)

### 5.5.7. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Modificado de Cañada (2006). 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.

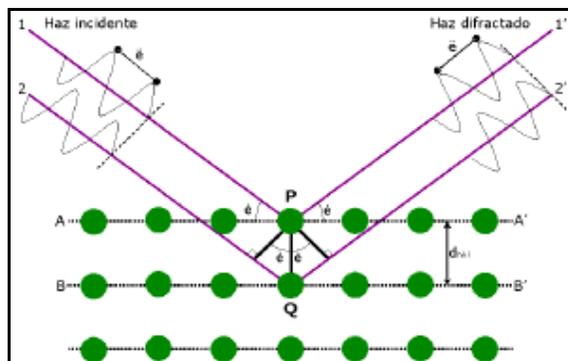


Figura 29. Ley de Bragg, Modificado de Cañada (2006).

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.

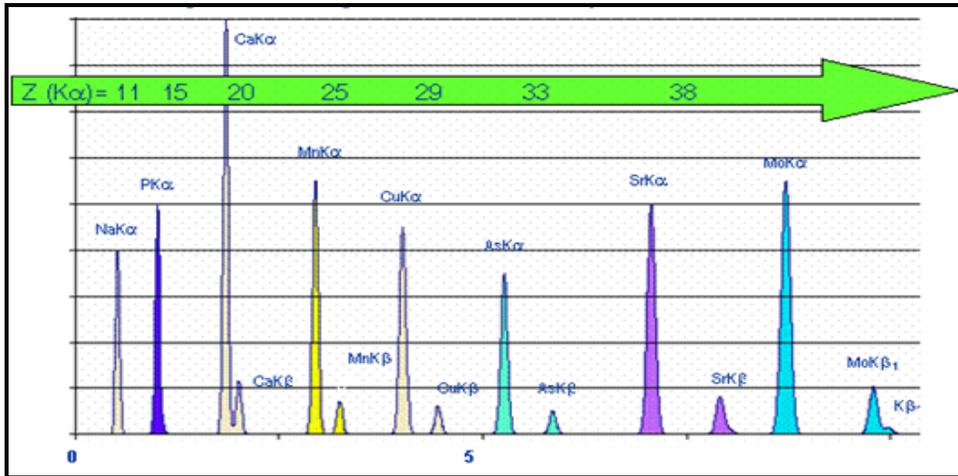
En algunos casos, es interesante realizar el estudio de la evolución térmica de los difractogramas (termodifractometría) para conocer la evolución de la cristalinidad de la muestra, caracterizar los procesos de descomposición térmica, los cambios de fase que tienen lugar, etc.

#### Fluorescencia

El fenómeno de la fluorescencia se produce cuando un electrón de un átomo absorbe toda la energía de una determinada longitud de onda de la luz, saltando a otros orbitales más alejados. Es una situación inestable durante la cual se emite la mayor parte de la energía que se ha absorbido (con mayor longitud de onda) y vuelve a desplazarse a su orbital inicial.

Es un tipo de espectroscopia electromagnética que analiza la fluorescencia de una muestra. Se trata de utilizar un haz de luz, por lo general luz ultravioleta, que excita los electrones de las moléculas de ciertos compuestos y provoca que emitan luz de una menor energía, generalmente luz visible (aunque no necesariamente). Una técnica complementaria es la espectrometría de absorción.

En la técnica de fluorescencia de rayos X la radiación secundaria emitida por la muestra se hace incidir sobre un cristal de análisis, cuyo espaciado  $d$  es conocido y su posición es variable. Estos cristales pueden ser de diversos tipos: LIF, TLP (ftalato ácido de potasio) y PX-1 (elementos ligeros).



**Figura 30. Energías características y número atómico.**  
Fuente: Laboratorio de rayos X del CITIUS

El microscopio de fluorescencia es una variación del microscopio de luz ultravioleta en el que los objetos son iluminados por rayos de una determinada longitud de onda. La imagen observada es el resultado de la radiación electromagnética emitida por las moléculas que han absorbido la excitación primaria y remitido una luz con mayor longitud de onda.



**Figura.31. Microscopio de fluorescencia.**



## 6.LABORATORIO

### 6.1. INTRODUCCIÓN

El nuevo laboratorio de mecánica de rocas del Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela cuenta con una serie de equipos de última generación los cuales facilita la ejecución de ensayos especiales y la precisión en los cálculos de los mismos, estos trabajan en conjunto con un programa computacional sofisticado el cual arroja toda la información de manera digitalizada y con un bajo margen de error en dichos cálculos utilizando el sistema GCTS CATS

La aplicación CGTS CATS versión 1.8 para el sistema operativo Windows™ ha sido diseñado para permitir un control completo, la aplicación “Sistema de Ensayo Asistido por Computador/Computer Aided Testing System – CATS” permite el control de sistemas GCTS y de otros fabricantes.

El Sistema CATS está constituido de dos componentes: un controlador, y un GUI (Graphics User Interface/Interfase Gráfica del Usuario), que es llamada la aplicación CATS.

El controlador es generalmente un microprocesador que ejecuta la aplicación de control en un ambiente de tiempo real (sistema operativo). Este está constituido por tarjetas de lectura/escritura, realiza pruebas requeridas, almacena los archivos de datos, etc. El usuario no tiene acceso directo al controlador, y sólo puede interactuar con el controlador a través de la aplicación CATS. Sin embargo, el controlador es independiente de la aplicación CATS, y la aplicación CATS no necesita estar ejecutándose simultáneamente para que el controlador pueda operar. El controlador (programa) mismo se comunica con un protocolo de comunicación con la aplicación CATS.

La aplicación CATS en primer lugar es un programa de Interfaz Gráfica del Usuario GUI con una interface para que el usuario se pueda comunicar con el controlador.

Este funciona en un computador independiente del controlador, en un computador con un sistema operativo Windows™.

Debido a que el control es realizado por el controlador, CATS en si mismo no tiene ningún control, y por lo tanto sus funciones son (muy) limitadas sin su contraparte que es “el controlador”. La aplicación CATS maneja los aspectos relacionados de la base de datos del sistema CATS, dónde se mantiene toda la información de todos los sensores, proyectos, muestras, especímenes, etc. La aplicación CATS se comunica con el controlador a través de un protocolo de comunicación.

Requerimientos mínimos del sistema

- Para usar la aplicación CATS Avanzado, se debe disponer de un computador con los siguientes especificaciones mínimas:
- Procesador Pentium 75 MHz
- Sistema Operativos MS Windows™ (NT/2000/XP)
- 128 MB RAM
- Resolución del Monitor 800 x 600 (1024 x 768 recomendada).
- Disponer de Puerto Serial RS232 COM (para ser usado con el Controlador o un puerto USB con un convertidor a un adaptador Serial).

## 6.2. CATS ULTRASONICO

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.

### **6.2.1. EJECUCIÓN DEL ENSAYO**

En la experimentación por ultrasonido, un transductor conectado a una maquina 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 reflexión y por atenuación. 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 presenta los resultados en forma de una señal con un tamaño que representa la intensidad de la reflexión y la distancia, representado por el tiempo de llegada de la 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.

## **6.3. CATS TRIAXIAL**

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, modulo resilente, 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 modulo 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 interfase 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.

### 6.3.1. 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 560 cc. Un acumulador de presión ha sido instalado en línea con la presión de salida para minimizar algunos golpes que pueden ir de la servo-valvula, asegurando así el control constante y preciso en el proceso de control de volumen o presión.

El sistema esta 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 aplíquele 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 del 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

#### **6.4. CATS CORTE DIRECTO/ANILLO DE CORTE**

La caja de corte ha sido empleada extensivamente para determinar la resistencia al corte pico y residual del material q se va a ensayar 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 normal y de corte serán registradas empleando medidores de deformación o transductores de variación diferencial lineal (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 la dilatancia de la muestra de una manera fácil.

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 entre los retenedores superior e inferior. Las deformaciones normales y de corte son registradas, así como también las cargas normales y de corte  $q$  son aplicadas.

El ensayo de corte directo GCTS CATS, es un programa de uso fácil  $q$  permite al usuario configurar fácilmente el mismo, el programa tiene previsto el control y determinación del tiempo real de entradas experimentales diversas, tal como el área corregida de corte del espécimen, el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante. 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 y una carga de corte o universal.

El programa requiere que los sensores eléctricos midan la carga de corte y la deformación de corte. El control de la carga normal y/o la carga de corte puede ser realizada utilizando un servo-controlador, empleando el programa combinado con una servo-válvula, servo-amplificador y un actuador doble.

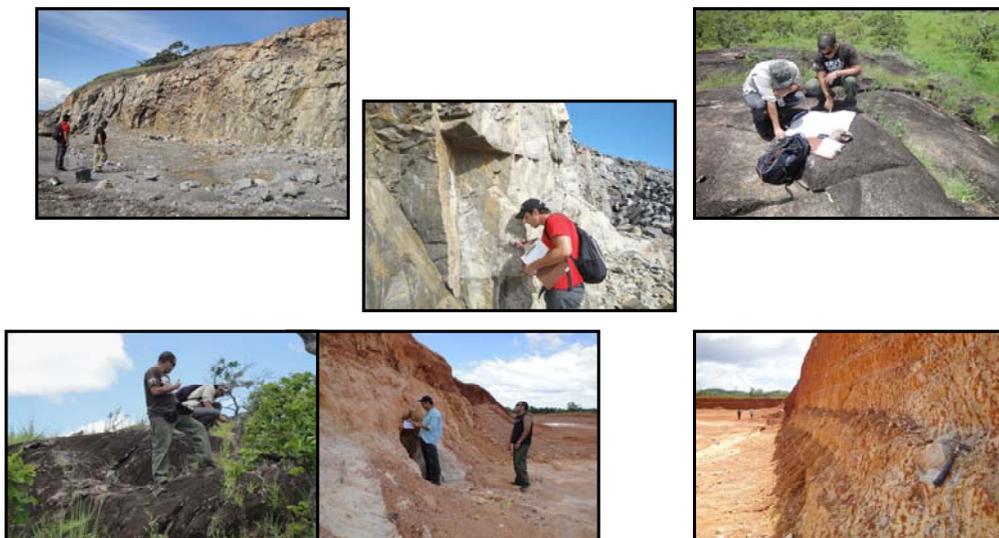


## 7.RESULTADOS

### 7.1. GEOLOGÍA DE SUPERFICIE

La descripción y caracterización del macizo rocoso en afloramientos es una labor necesaria en todos los estudios de ingeniería geológica cuyo objetivo fundamental es el reconocimiento de las propiedades y características geológicas-geotécnicas de los materiales rocosos.

Esta descripción geológica de superficie se realizó durante las primeras etapas de la investigación in situ en el municipio Cedeño a 8 km al sur de Caicara del Orinoco, específicamente en los cerros Los Guayabitas, Pan de Azúcar, San Pedro, Quiribana y Salado.



**Figura 32. Fotos varias del trabajo de campo.**

Afloramiento	Orientación	Formación	Grado de meteorización	Fracturación bloques juntas/m <sup>3</sup>	Resistencia de la matriz rocosa	Discontinuidades			familias de discontinuidades
						orientación	Espaciado en mm	Abertura en mm	
Cerro las guayabitas	N10W65S	Granito de santa Rosalía	III Medianamente meteorizado	Pequeños 10-30	Muy dura	N76E65S N10E84N N32E72S	Juntas 60-200	Cerrada 0,1-0,25	3
Cerro Pan de Azucar	N25E63S	Granito de santa Rosalía	III. Medianamente meteorizado	Pequeños 10-30	Muy dura	N70E68S N15E80N N30E72S	Juntas 60-200	Cerrada 0,1-0,25	3
San Pedro (carretera)	N12W63S	Granito de santa Rosalía	III. Medianamente meteorizado	Medios 3-10	Muy dura	N71E66S N13E78N N30E75S	Juntas 60-200	Cerrada 0,1-0,25	3
Quiribana (carretera)	N10W64S	Granito de santa Rosalía	III. Medianamente meteorizado	Medios 3-10	Muy dura	N70E65S N10E75N N28E74S	Juntas 60-200	Cerrada 0,1-0,25	3
Cerro salado	N5W80S	Fm. Caicara Meta-toba	V. muy meteorizada	Grandes 1-3	Blanda	N8W79S N5W78S	Muy separadas	Cerrada 0,1-0,25	2

**Tabla 7.1. Datos de Geología de Superficie.**

Muestras	Ubicación	Litología	Color fresco	Color meteorizado	Composición mineralógica	Tamaño de granos	Grado de meteorización	Dureza
1-5	Cerro las guayabitas	Granito	Gris claro	Gris oscuro a negro	Cuarzo, biotita, feldespato, sericita, clorita y epidoto	fino	Decolorada	Grado 14
6-10	Cerro pan de azúcar	Granito	Gris claro	Gris oscuro a negro	Cuarzo, biotita, feldespato, sericita, clorita y epidoto	fino	Decolorada	Grado 14
11-15	San Pedro (carretera)	Granito	Gris claro	negro	Cuarzo, biotita, feldespato, sericita, clorita y epidoto	Medio a grueso	Decolorada	Grado 14
16-20	Quiribana (carretera)	Meta-toba volcanica	Pardo blanco	Pardo rojizo	Cuarzo, biotita, feldespato	fino	Desintegrada	Grado 5

**Tabla 7.2. Datos afloramientos**

## 7.2. PETROGRAFÍA

**Muestra 01**      Nombre: Metatoba riolítica **Protolito:** Ígneo. Riolita. Riodacita

**Descripción.** Roca levemente foliada de grano muy fino a fino, cristales anhedrales y con bordes muy irregulares, fracturados y suturados. Posible textura de flujo. Se observan zonas con acumulación de cristales de mayor tamaño, similares a una textura augen o brechoide. Presenta abundantes zircones en forma de cristales subhedrales.

Muestra	Qzt	Kfs	Pl	Brs	Hbl	Tur	Op	Ep	Zrn	Ap
01	50	15	15	10	3	< 1	3	2	2	<1

Tabla 7.3. Porcentajes de minerales en la muestra 01

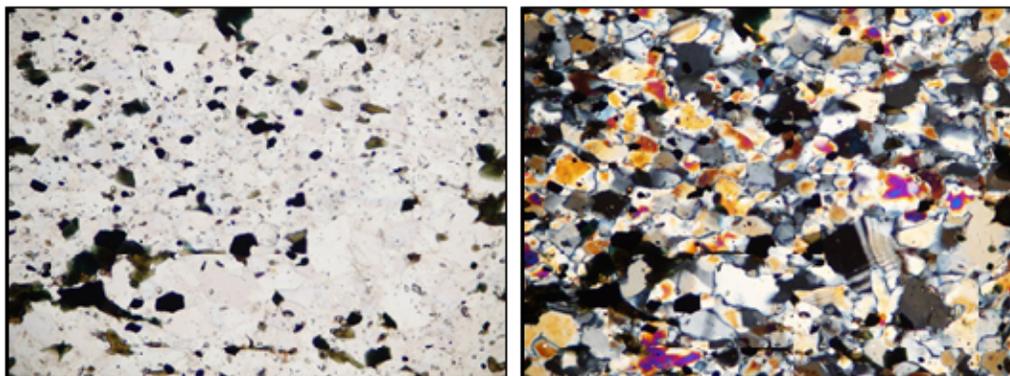


Figura. 33. Vista en microscopio de la muestra Nicols paralelos (izquierda) Nicols cruzados (Derecha)

- **Cuarzo:** aparece como pequeños cristales de hasta 0,2 mm que forman parte de la matriz. Son policristalino con bordes suturados y extensión ondulatoria.
- **Turmalina:** aparece en forma de agregado columnar, similar a una textura radial,
- **Feldespato alcalino:** aparece asociado al cuarzo y a la plagioclasa en forma de cristales anhedrales que van desde los 0,2 hasta los 1,2 mm. Presenta maclado enrejado lo que lo identifica como microclino. Algunos cristales presentan textura perfitica.
- **Plagioclasa (Albita):** aparece en forma de cristales anhedrales que van desde los 0,2 hasta los 1,2 mm. Algunos cristales presentan inclusiones en el centro y

bordes limpios, lo que indica una anterior textura zonada. Otros presentan fracturas internas alineadas

- **Epidoto:** forma cristales euhedrales y agregados granulares.
- **Anfíbol:** hornblenda y barroisita. Aparece en forma de cristales subhedrales tabulares u anhedrales con bordes fracturados.
- **Accesorios:** hay zircones y apatitos en forma de cristales subhedrales.
- **Opacos:** principalmente óxidos de hierro como hematita y magnetita. Aparecen en forma de cristales subhedrales a anhedrales. .

### Triangulo A-P-Q

A: 18  
P: 18  
Q: 46  
IC: 20  
Q': 55  
A': 22,5  
P':22,5

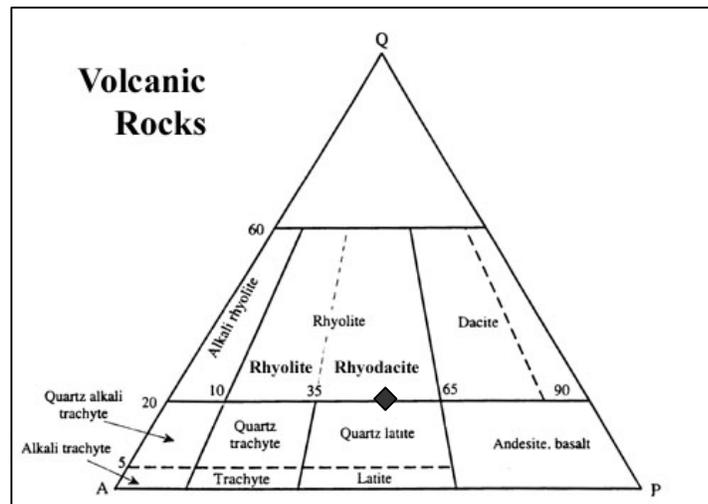


Figura 34. Triangulo A-P-Q muestra 01.

**Muestra 2** Nombre: Metatoba riolítica **Protolito:** Ígneo: Riolita.

**Descripción.** Roca muy foliada de grano fino, cristales anhedrales y con bordes muy irregulares, fracturados y suturados. Presenta escasos minerales oscuros y abundantes, presencia de moscovita.

**Composición mineralógica de la muestra**

Muestra	Qzt	Kfs	Pl	Ap	Hbl	Ms	Op	Zrn
03	40	15	15	<1	<1	30	<1	<1

Tabla 7.4. Porcentajes de minerales en la muestra 02



Figura. 35. Vista en microscopio de la muestra Nicoles paralelos (izquierda) Nicoles cruzados (Derecha)

- **Cuarzo:** aparece como pequeños cristales de hasta 0,2 mm que forman parte de la matriz. Son policristalino con bordes suturados y extensión ondulatoria.
- **Feldespato alcalino:** aparece asociado al cuarzo y a la plagioclasa en forma de cristales anhedrales que van desde los 0,2 hasta los 1,2 mm. Presenta maclado enrejado lo que lo identifica como microclino. Algunos cristales presentan textura perítica. Algunos cristales presentan inclusiones.
- **Plagioclasa (Albita):** aparece en forma de cristales anhedrales que van desde los 0,2 hasta los 1,2 mm. Algunos cristales presentan inclusiones.
- **Moscovita:** se encuentra en forma de hojuelas definiendo la foliación. Se observa una posible textura mortero. Algunos cristales presentan extinción ondulatoria.
- **Anfíbol:** hornblenda. Aparece en forma de cristales subhedrales.
- **Accesorios:** hay zircones y apatitos en forma de cristales subhedrales.

- **Opacos:** principalmente óxidos de hierro como hematita y magnetita. Aparecen en forma de cristales subhedrales a anhedrales.

. Triangulo A-P-Q

A: 20

P: 10

Q: 40

IC: 35

A': 32,14

P': 10,72

Q': 57,14

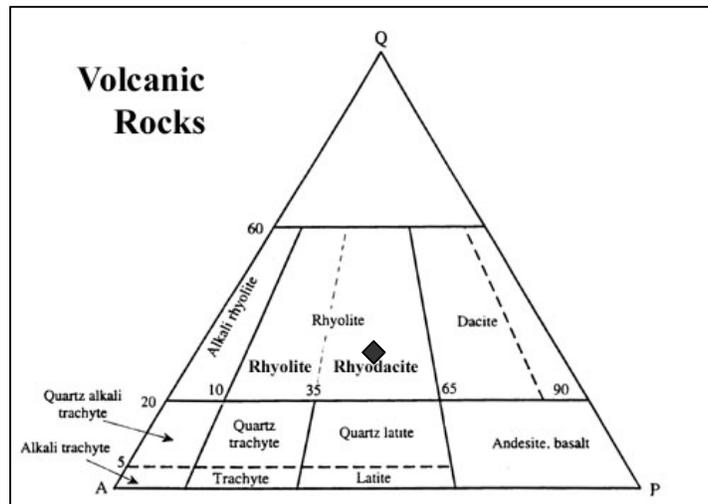


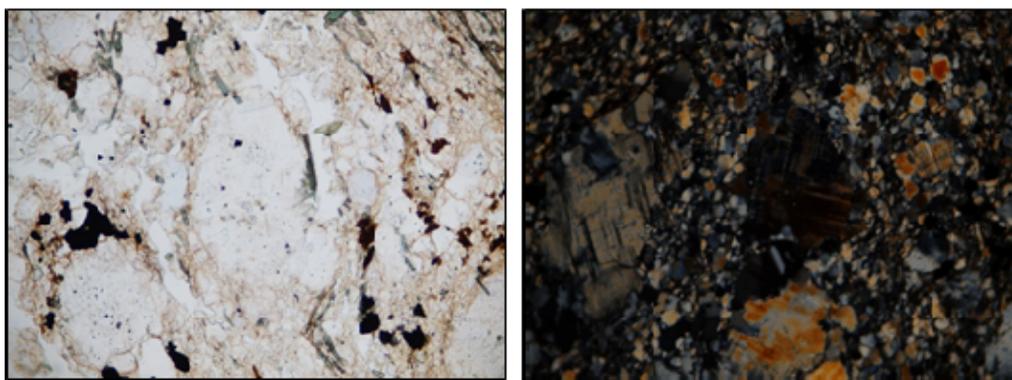
Figura. 36. Triangulo APQ muestra 02

**Muestra 3** Nombre: Meta toba riolítica **Protolito:** Ígneo. Toba riolítica

**Descripción.** Roca de grano fino a medio compuesta por fragmentos irregulares y rotos de feldspatos embebidos en una matriz cristales fracturados y muy finos de cuarzo, feldspatos y minerales ferromagnesianos. Se observa una textura brechoide y de flujo. El porcentaje de clastos es de 20% y de la matriz 80%. Los cristales de la matriz miden menos de 0,01 mm mientras que los clastos miden hasta 1,5 mm.

Muestra	Qzt	Kfs	Pl	Brs	Hbl	Op	Ep	Zrn
04	45	25	18	7	1	3	1	<1

**Tabla 7.5 Porcentajes de minerales en la muestra 03.**



**Figura. 37. Vista en microscopio de la muestra Nicoles paralelos (izquierda) Nicoeles cruzados (Derecha)**

- **Cuarzo:** aparece como pequeños cristales de 0,1 mm o menos que forman parte de la matriz. Son policristalino con bordes suturados y extensión ondulatoria.
- **Feldespato alcalino:** aparece en forma de megaclastos subhedrales con bordes muy fracturados. Algunos cristales presentan textura perítica y pequeñas fracturas orientadas. En algunos cristales se observa el maclado polisintético lo que lo identifica como microclino.
- **Plagioclasa (Albita):** aparece en forma de megaclastos subhedrales con bordes muy fracturados y textura poiquilítica.
- **Epidoto:** aparece asociado a la barrosita en forma de agregados granulares.

- **Anfíbol:** barrosita y hornblenda. Aparecen en forma de cristales tabulares orientados de color azul-verdoso. La hornblenda está medianamente alterada.
- **Zircón:** aparecen de manera abundante en forma de cristales subhedrales.
- **Opacos:** principalmente óxidos de hierro como hematita y magnetita. Aparecen en forma de cristales subhedrales a anhedrales.

Triangulo A-P-Q

A: 25

P: 18

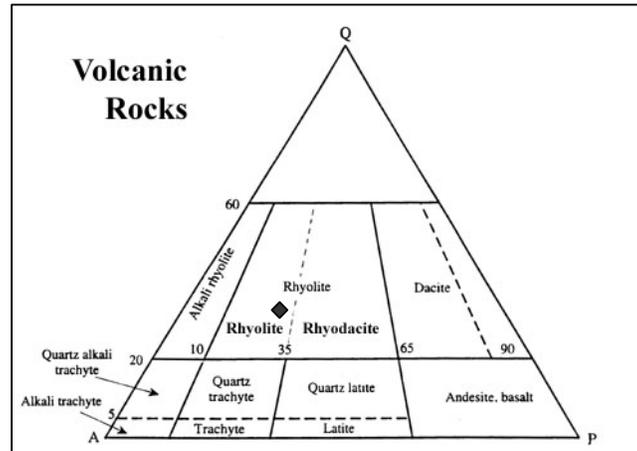
Q: 45

IC: 12

Q': 51,2

P': 20,4

A': 28,4



**Figura. 38. Triangulo APQ muestra 03**

**Muestras 4,5,6**

**Nombre:** Metamonzogranito **Protolito:** Monzogranito

**Descripción.** Es un granito biotítico, color rosado a gris, de grano fino a grueso, con predominio de la fracción de grano medio a grueso, macizo fanerocristalino, porfidico, que en zonas restringidas muestra débil foliación. Su composición mineralógica, bastante constante en todas las localidades donde se ha descrito, consiste de cuarzo (40%), biotita como principal componente máfico (5%) y cantidades menores de hornblenda, epidoto, clorita y opacos

Muestra	Qzt	Kfs	Pl	Brs	Hbl	Op	Ep	Zrn
04,05,06	40	20	10	2	3	20	4	<1

**Tabla 7.6 Porcentajes de minerales en la muestras 04, 05,06.**

- **Cuarzo:** aparece como pequeños cristales de hasta 0,2 mm que forman parte de la matriz. Es anhedral y presenta extensión ondulatoria.
- **Feldespato potásico:** aparece asociado al cuarzo y a la plagioclasa en forma de cristales subhedrales que van desde los 0,2 hasta los 1,2 mm. Presenta maclado enrejado lo que lo identifica como microclino. Algunos cristales presentan inclusiones.
- **Plagioclasa:** varia de alvita a oligoclasa, es anhedral a subhedral con inclusiones de cerisita y epidoto. aparece en forma de cristales anhedrales que van desde los 0,2 hasta los 1,2 mm. Algunos cristales presentan inclusiones.
- **Anfíbol:** La hornblenda es de color verde en algunos casos alterada a biotita y clorita..
- **Accesorios:** hay zircones y epidoto en forma de cristales subhedrales.
- **opacos:** La biotita es de color verde botella, se presenta en cristales euhedrales como hojuelas entre el feldespatos.

. Triangulo A-P-Q

A: 15

P: 20

Q: 35

IC: 5

A': 32,14

P': 10,72

Q': 57,14

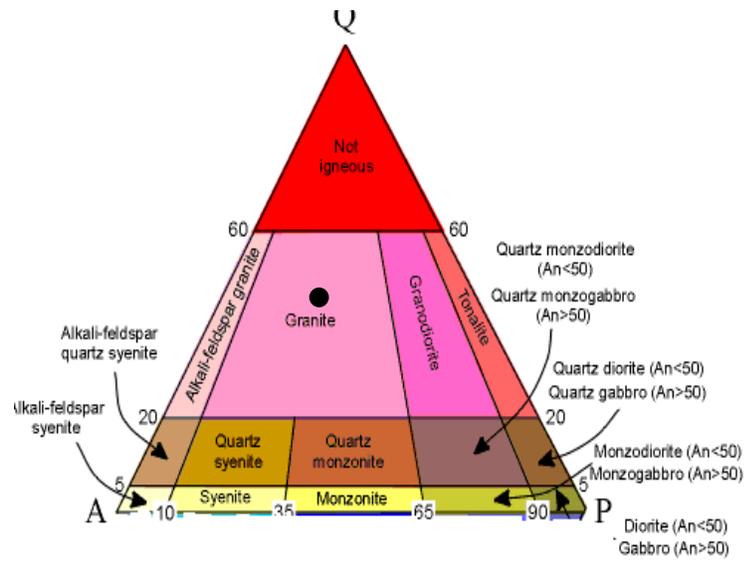


Figura. 39. Triangulo APQ muestras 04-05-06

### 7.3. DIFRACCION DE RAYOS X

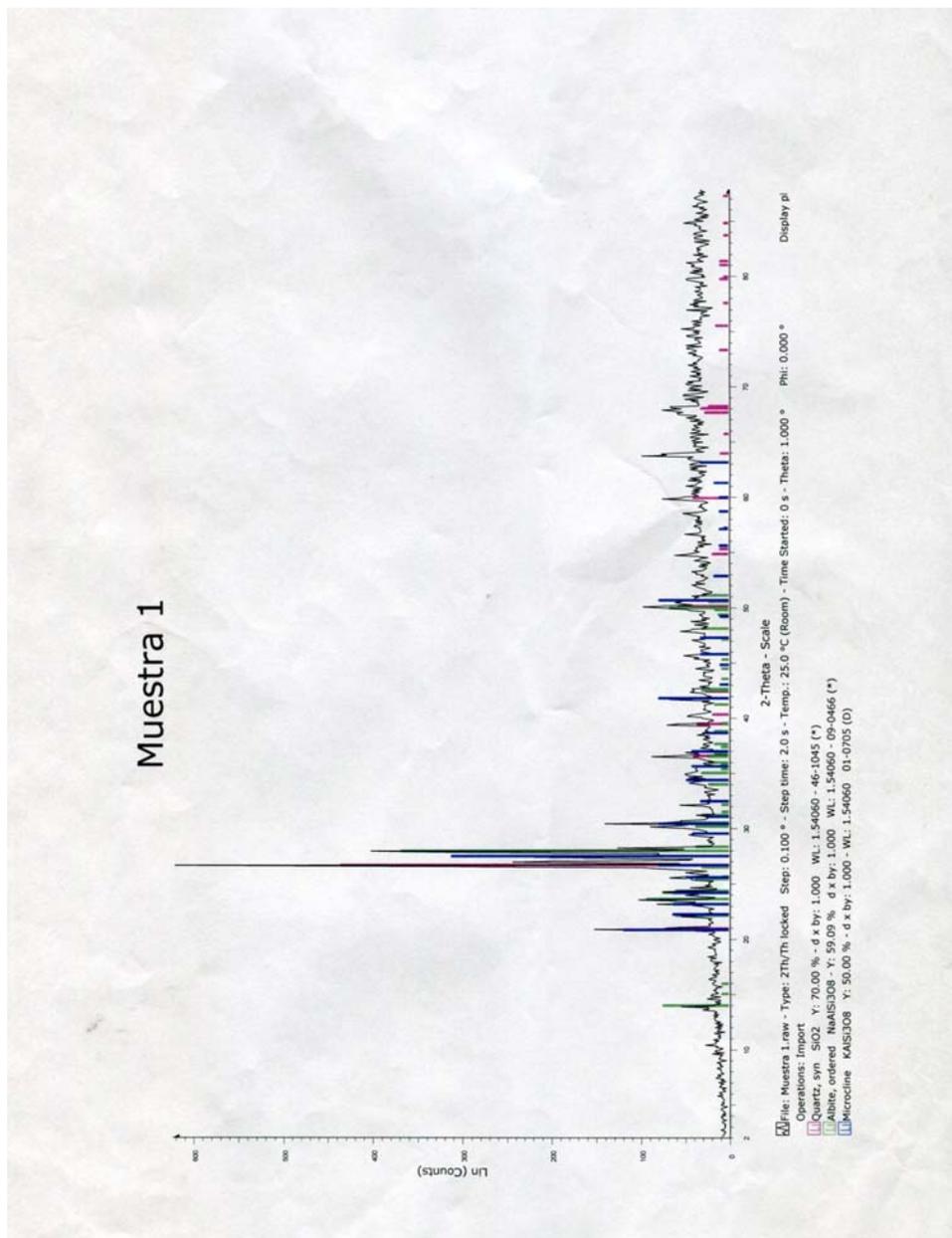


Figura. 40. Difraccion de rayos X muestra 1

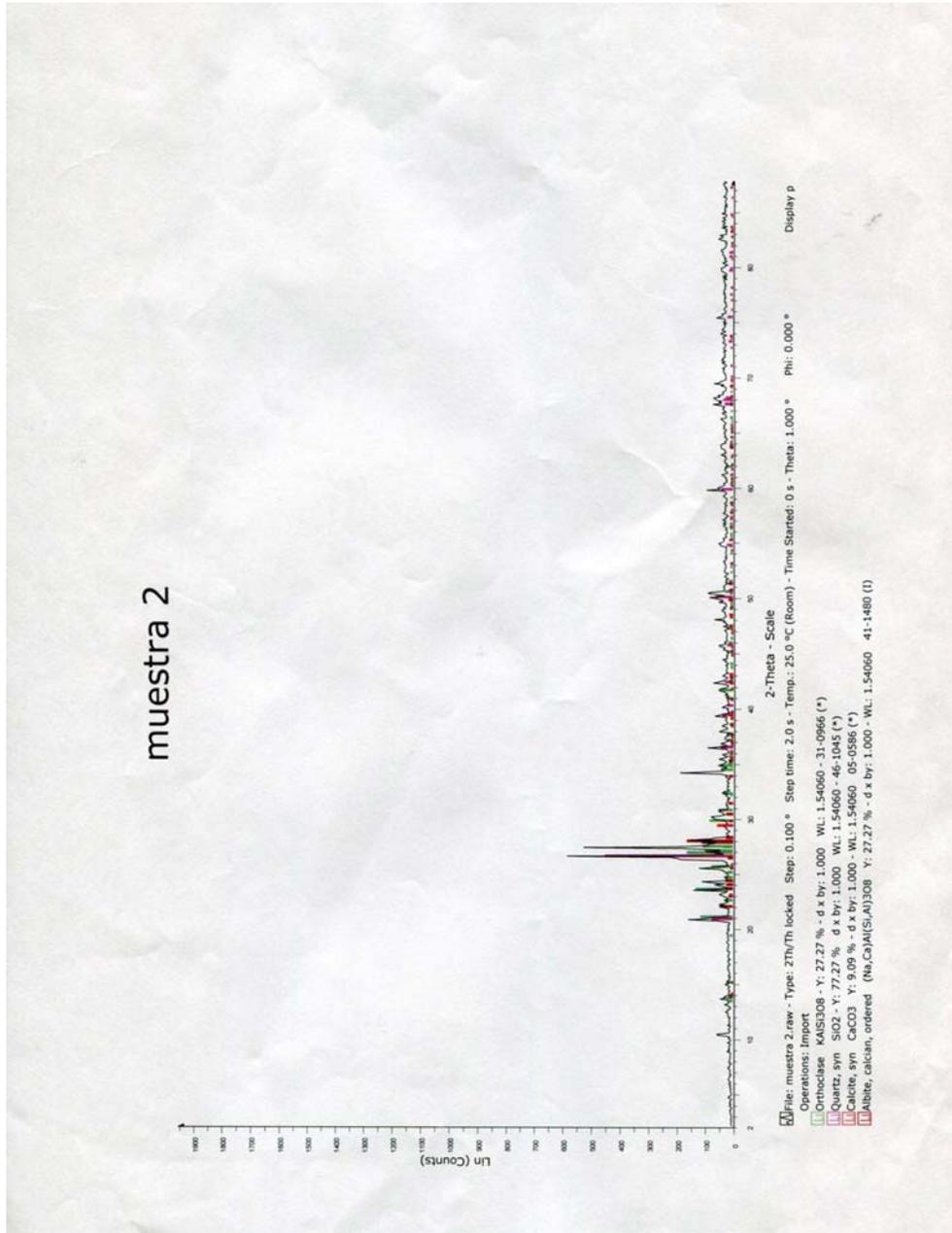


Figura 41. Difraccion rayos X muestra 2

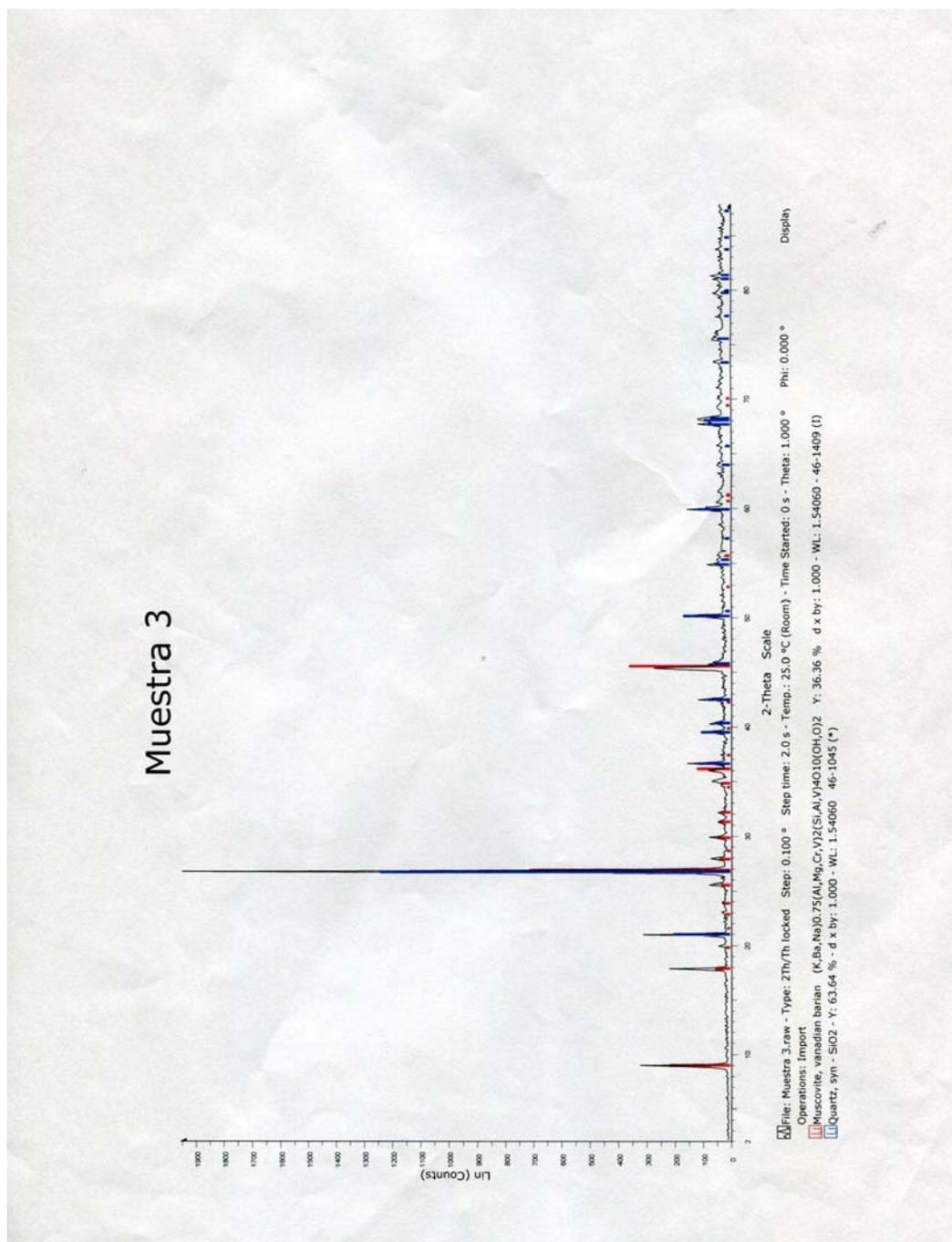


Figura 42. Difraccion rayos X muestra 3.

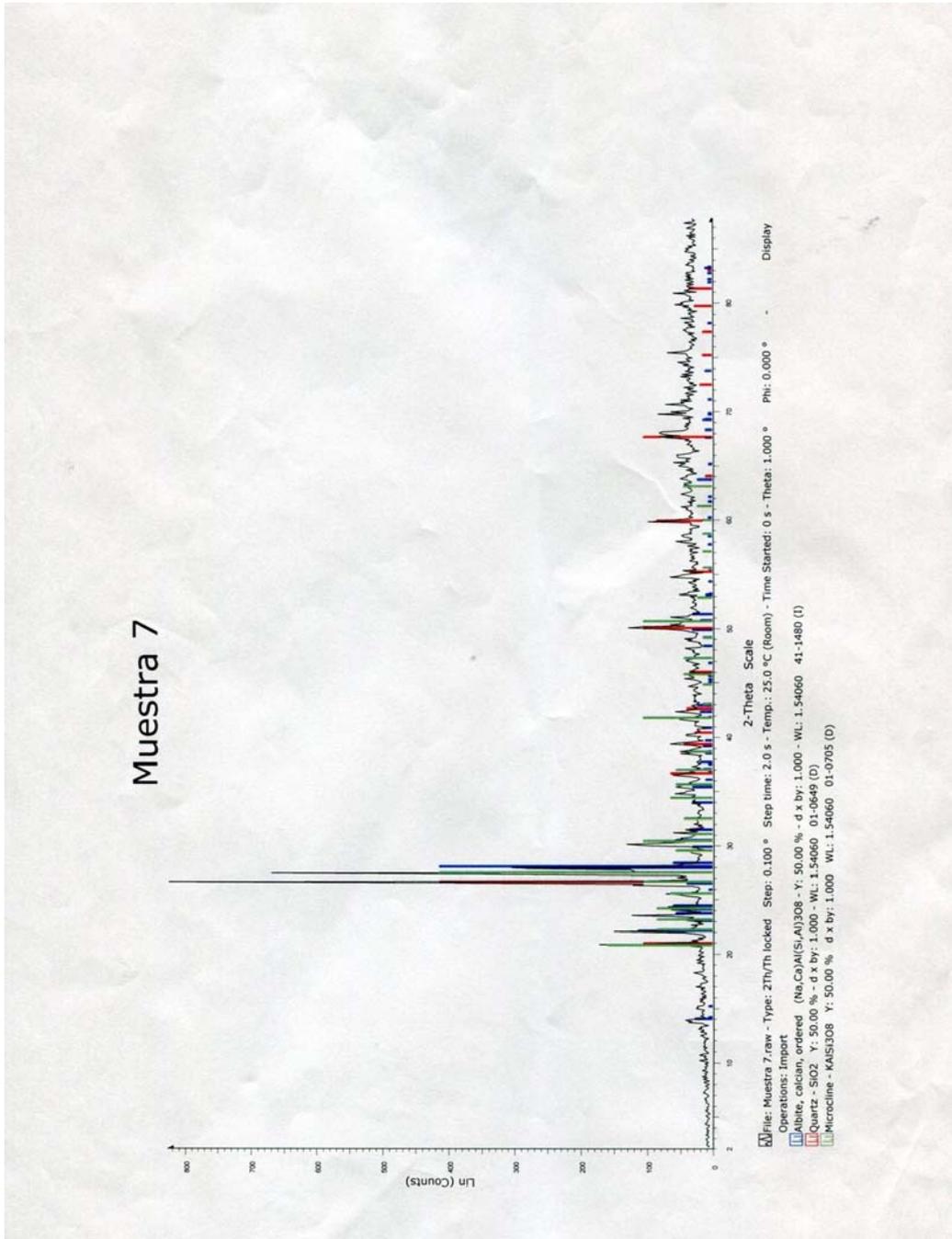


Figura 43. Difraccion de rayos X muestra 7

7.4. Ensayo ultrasónico

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

~~~~~ Ultrasonics Specimen

ID: granito 1 SP45

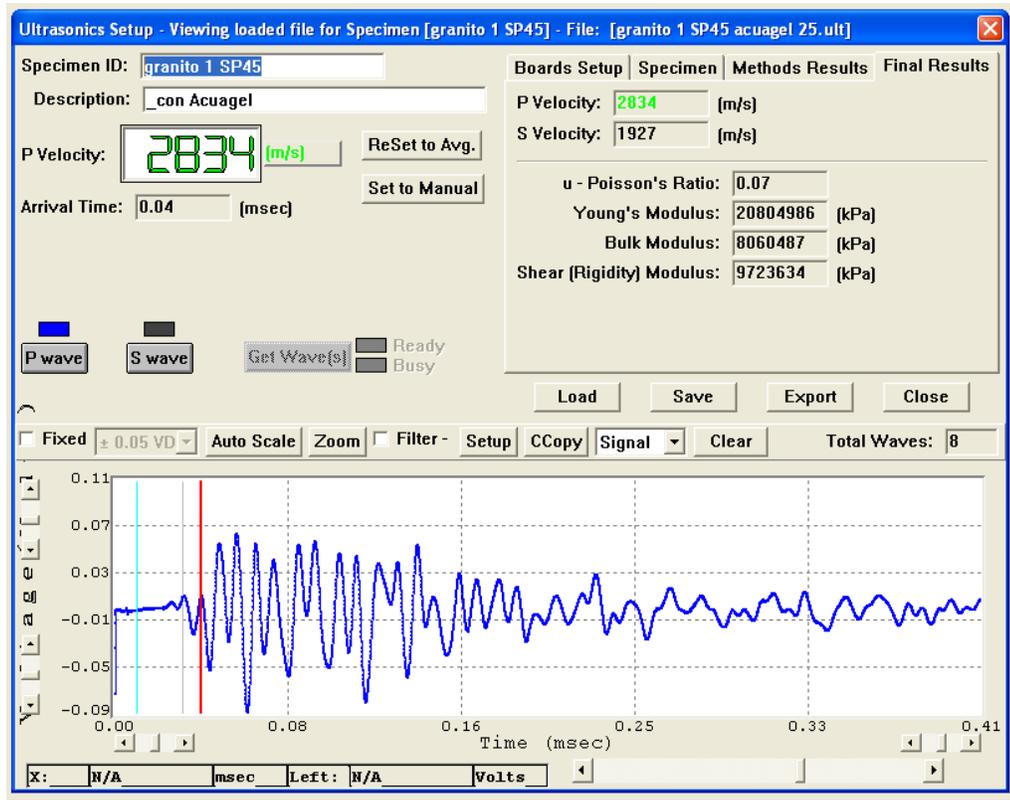


Figura 44. Ultrasonico muestra 1 SP45

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

\*\*\*\*\*

~~~~~ Ultrasonics Specimen ~~~~~

ID: GRANITO M1 SP45

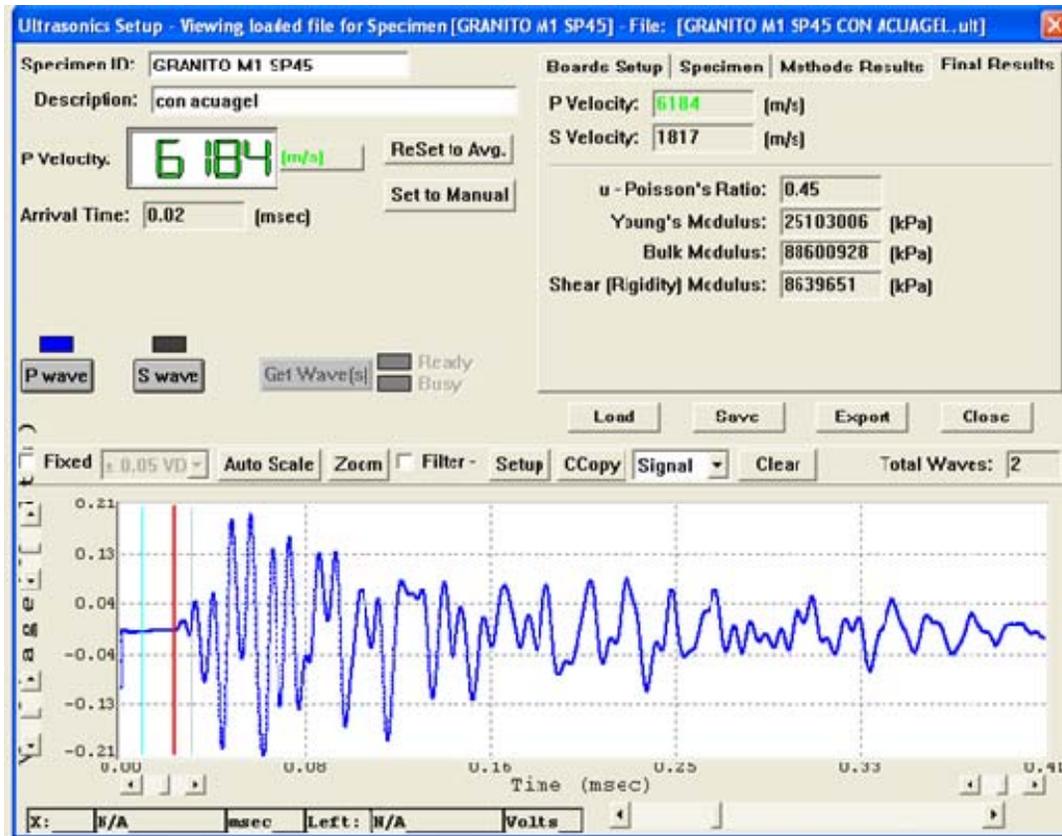


Figura 45. Ultrasonico muestra M1 SP45.

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

\*\*\*\*\*

~~~~ Ultrasonics Specimen ~~~~~

ID: GRANITO M1 SP45

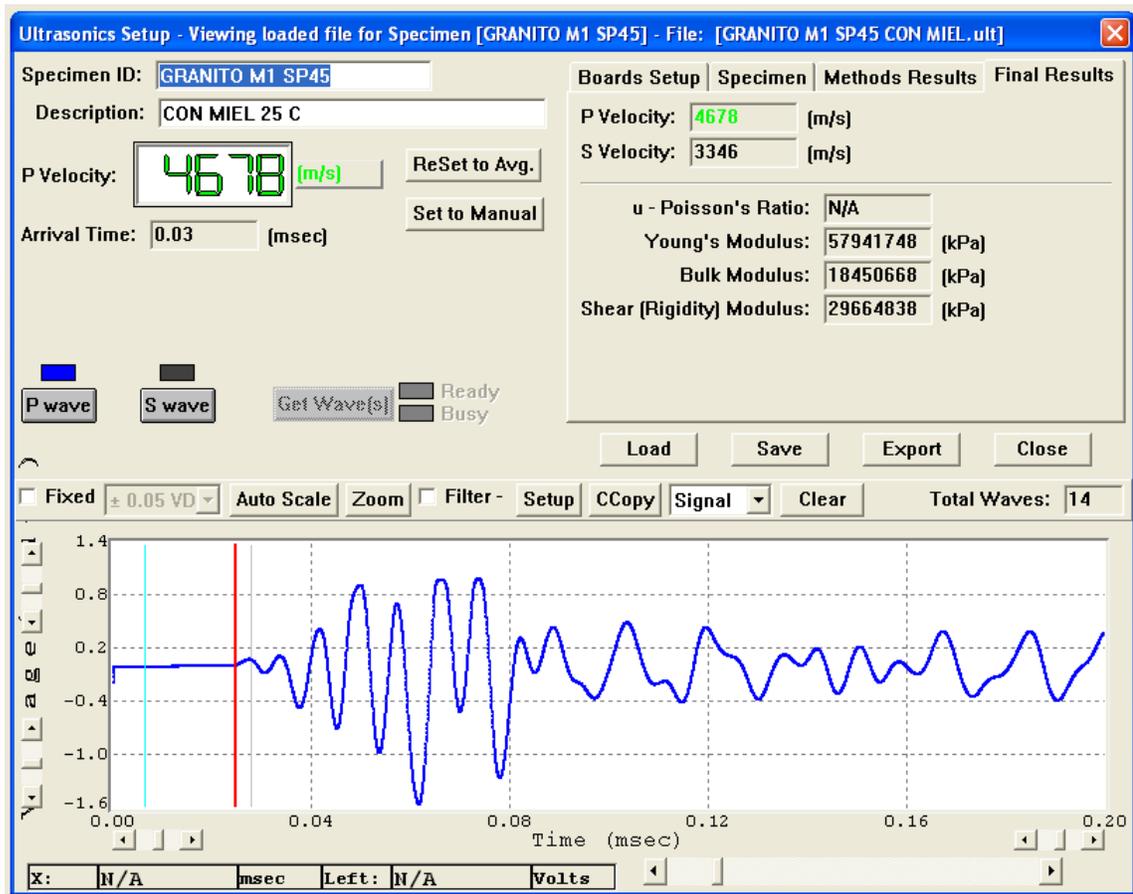


Figura 46. Ultrasonico muestra M1 SP45 con miel.

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

\*\*\*\*\*

~~~~~ Ultrasonics Specimen ~~~~~

ID: GRANITO M2 SP43



Figura 47. Ultrasonico muestra M2 SP43 con miel.

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

~~~~~ Ultrasonics Specimen ~~~~~

ID: GRANITO M3 SP46

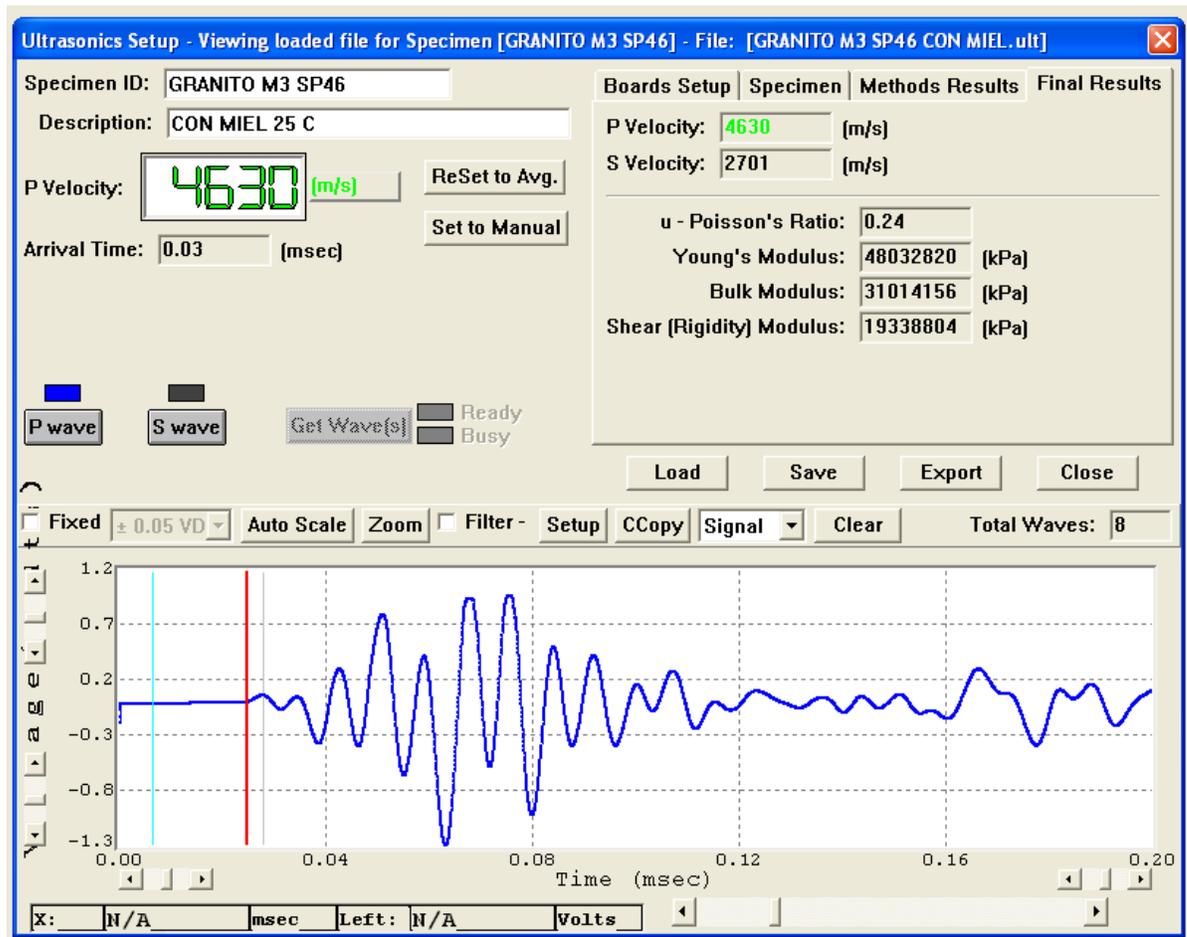


Figura 48. Ultrasonico muestra M3 SP46 con miel.

## 7.5. ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

La siguiente tabla representa los resultados referentes al ensayo de carga puntual, utilizándose este ensayo de índice para la clasificación de los materiales rocosos, y para determinar la resistencia a la compresión máxima de especímenes de roca, variando la resistencia a la compresión desde 7488,94 a 12034,62 Mpa, con una carga máxima de 20 a 37 Kn, demostrando esto la gran dureza e isotropía del granito de santa Rosalía.

| Método de Prueba estandar para la determinación del Índice de resistencia de Carga Puntual en Rocas (ASTM 53) |                     |                     |               |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------|----|-----------------------------------|
| No. Muestra                                                                                                   | Identificación      | dirección de ensayo | diámetro (mm) | diámetro promedio (mm) | carga máxima (kN) | aplicación de carga | Factor de corrección | Is (50) MPa   | C  | Resistencia a la compresión (Mpa) |
| Sp45 M13                                                                                                      | Prof 15,75 a 16,36m | diametral           | 4,550         | 4,633                  | 37,00             | Perpendicular       | 0,34                 | 590,92        | 24 | 14182,13                          |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,600         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,750         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
| Sp46 M11                                                                                                      | Prof 12m a 13,75m   | axial               | 5,100         | 5,100                  | 20,00             | Perpendicular       | 0,36                 | 275,27        | 24 | 6606,49                           |
|                                                                                                               |                     |                     | 5,100         |                        | 20,30             |                     |                      | Perpendicular |    | 279,40                            |
|                                                                                                               |                     |                     | 5,150         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
| Sp44 M13                                                                                                      | Prof 13,55 a 15,35m | axial               | 3,440         | 3,467                  | 17,50             | Perpendicular       | 0,30                 | 438,17        | 24 | 10515,96                          |
|                                                                                                               |                     |                     | 3,460         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
|                                                                                                               |                     |                     | 3,500         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
| Sp44 M12                                                                                                      | Prof 14 a 16m       | axial               | 5,130         | 5,123                  | 25,80             | Perpendicular       | 0,36                 | 352,60        | 24 | 8462,29                           |
|                                                                                                               |                     |                     | 5,120         |                        |                   |                     |                      |               |    | 0,00                              |
|                                                                                                               |                     |                     | 5,120         |                        | 25,95             | Perpendicular       | 354,65               | 8511,49       |    |                                   |
| Sp43 M11                                                                                                      | Prof 11,4 a 12,55m  | diametral           | 4,720         | 4,720                  | 20,00             | Perpendicular       | 0,35                 | 310,37        | 24 | 7448,94                           |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,720         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,720         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
| Sp44 M11                                                                                                      | Prof 11,6 a 13m     | diametral           | 4,780         | 4,753                  | 32,00             | Perpendicular       | 0,35                 | 491,21        | 24 | 12034,62                          |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,760         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,720         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
| Sp45 M11                                                                                                      | Prof 13,55 a 15,35m | axial               | 3,560         | 3,527                  | 35,00             | Perpendicular       | 0,30                 | 853,33        | 24 | 20479,91                          |
|                                                                                                               |                     |                     | 3,450         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
|                                                                                                               |                     |                     | 3,570         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
| Sp45 M12                                                                                                      | Prof 12,45m         | diametral           | 4,34          | 4,383                  | 23                | perpendicular       | 0,33                 | 400,31        | 24 | 9607,39                           |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,360         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,450         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
| Sp43 M12                                                                                                      | Prof 13,76m         | diametral           | 4,780         | 4,713                  | 30                | Perpendicular       | 0,35                 | 466,58        | 24 | 11197,92                          |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,670         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
|                                                                                                               |                     |                     | 4,690         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |
|                                                                                                               |                     |                     | 3,750         |                        |                   |                     |                      |               |    |                                   |

**Tabla. 7.7. Resultados Carga Puntual.**

## 7.6. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

| Compresión Simple     |            |                        |                |
|-----------------------|------------|------------------------|----------------|
| Muestra               | Fuerza(kN) | Área(cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo (Mpa) |
| sp43-M12-1 number 2   | 278,00     | 17,57                  | 158,22         |
| sp43-M12-1            | 170,00     | 17,49                  | 97,20          |
| sp44-M11              | 53,00      | 17,42                  | 30,42          |
| sp44-M10-4            | 310,00     | 17,34                  | 178,78         |
| sp44-M11-11 number 6  | 67,00      | 17,42                  | 38,46          |
| sp44-M13-12 number 5  | 34,00      | 17,34                  | 19,61          |
| sp44-M12-number 2     | 217,00     | 17,42                  | 124,57         |
| sp44-M12-1 number 3   | 106,00     | 17,42                  | 60,85          |
| sp44--m11-14 number 1 | 33,00      | 17,34                  | 19,03          |
| sp45-M11-7            | 220,00     | 17,49                  | 125,79         |
| sp45-M13-12 number 6  | 135,00     | 17,42                  | 77,50          |
| sp45-M13-2 number 8   | 160,00     | 17,34                  | 92,27          |
| sp45-M13 number 5     | 91,00      | 17,42                  | 52,24          |
| sp45-M13 number 4     | 84,00      | 17,57                  | 47,81          |

Tabla 7.8. Resultados compresión simple.

## 7.7. ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA (BRASILERO)

| Brasilero   |            |                        |                |
|-------------|------------|------------------------|----------------|
| Muestra     | Fuerza(kN) | Área(cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo (Mpa) |
| sp44-M13-1  | 16,50      | 22,90                  | 9,72           |
| sp43-M11-4  | 36,00      | 22,90                  | 21,20          |
| sp43-M11-5  | 32,00      | 22,90                  | 18,84          |
| sp46-M13-7  | 18,70      | 22,90                  | 11,01          |
| sp43-M11-8  | 20,00      | 22,90                  | 11,78          |
| sp45-M13-2  | 8,50       | 22,90                  | 5,01           |
| sp43-M11-6  | 23,00      | 22,90                  | 13,54          |
| sp46-M3-9   | 13,00      | 22,90                  | 7,66           |
| sp43-M11-10 | 17,50      | 22,90                  | 10,31          |
| sp43-M11-12 | 21,00      | 22,90                  | 12,37          |

Tabla 7.9. Resultados tracción indirecta (brasilerero)

## 7.8. ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

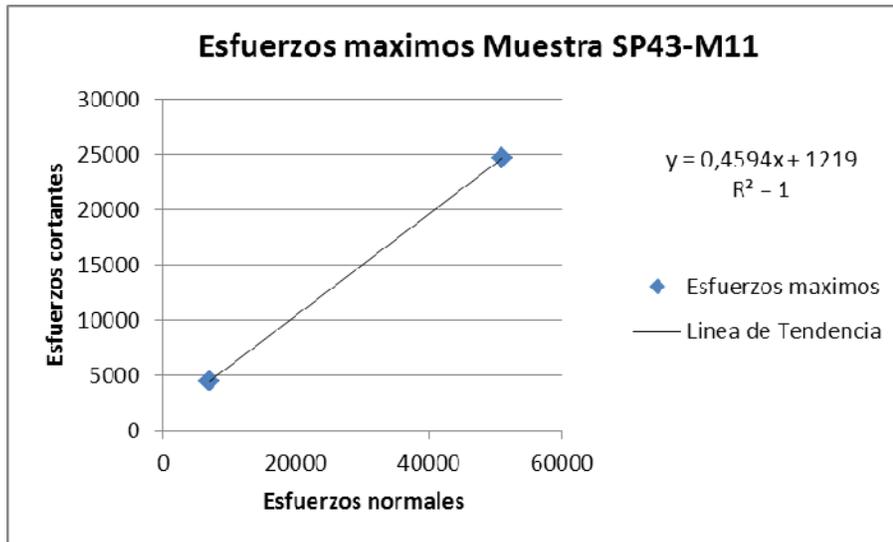
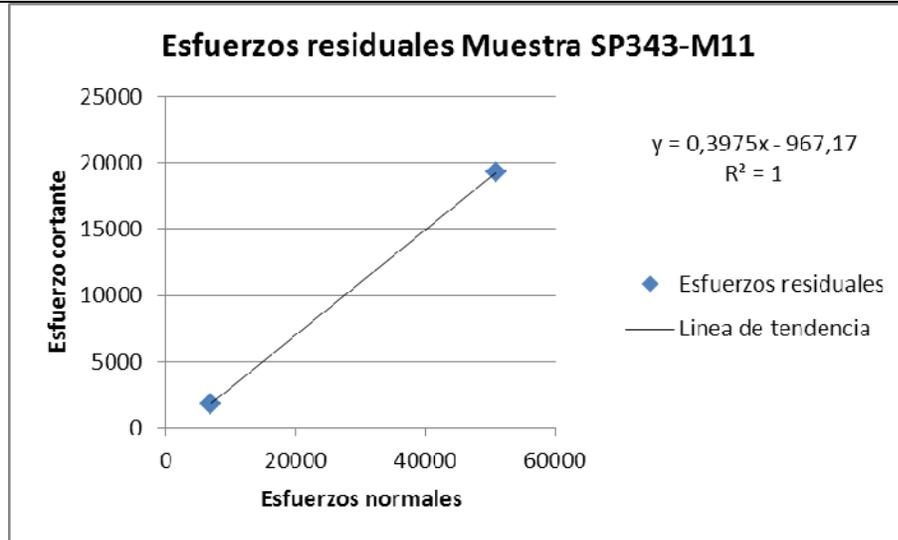
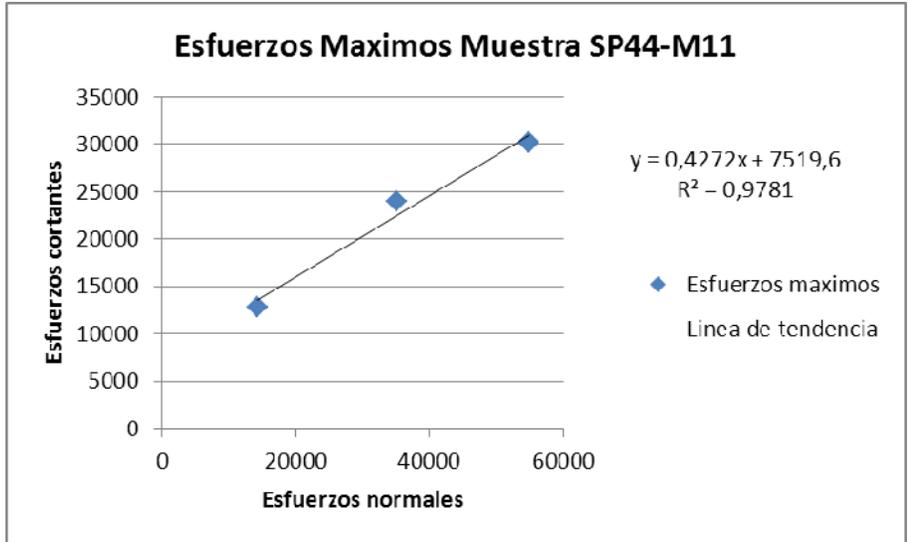


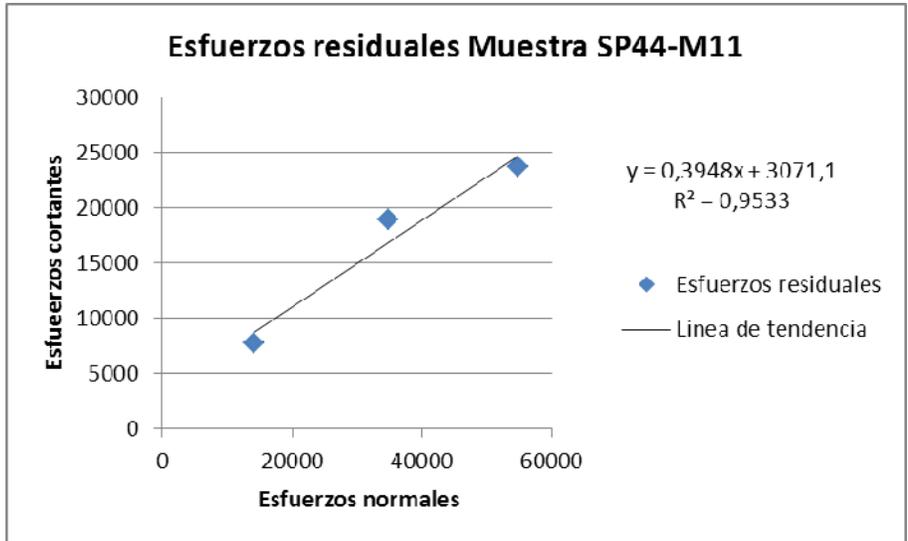
Figura 49. Esfuerzos máximos muestra SP43-M11.



**Figura 50. Esfuerzos residuales muestra SP43-M11.**



**Figura 51. Esfuerzos máximos muestra SP44-M11.**



**Figura 52. Esfuerzos residuales muestra SP44-M11.**

## 7.9. ENSAYO TRIAXIAL

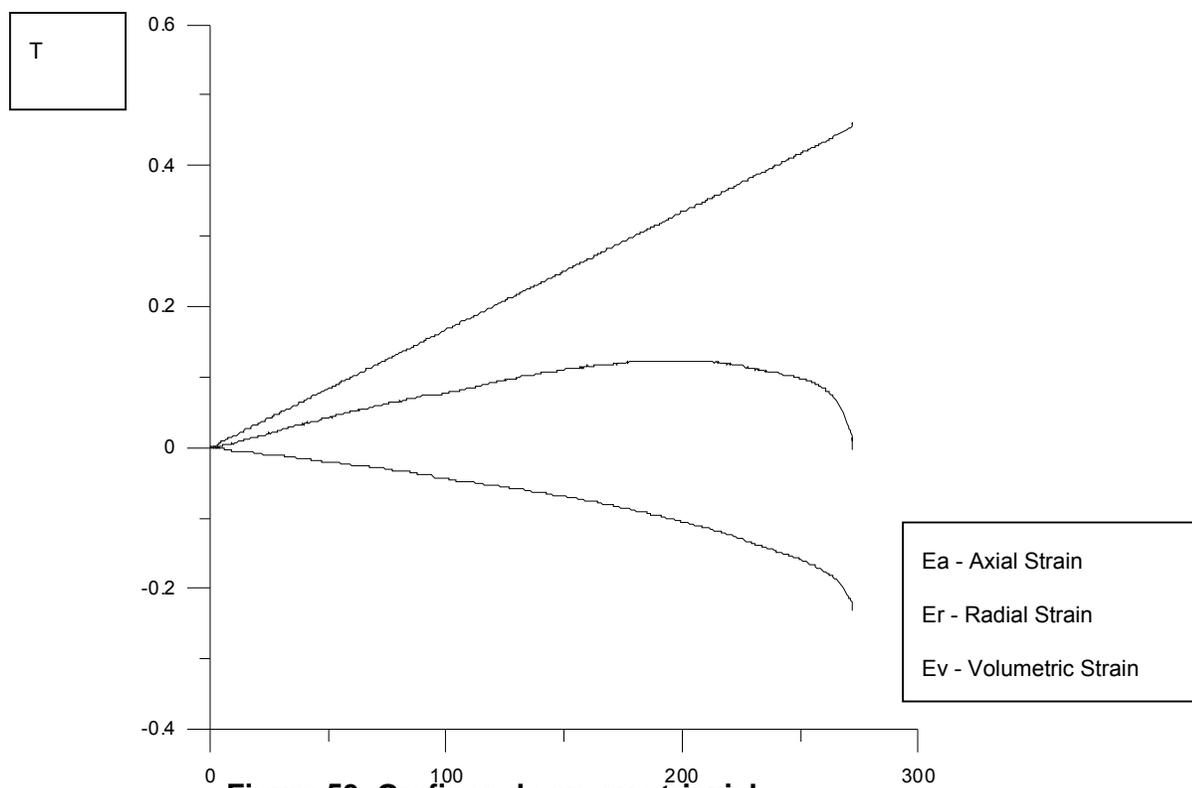
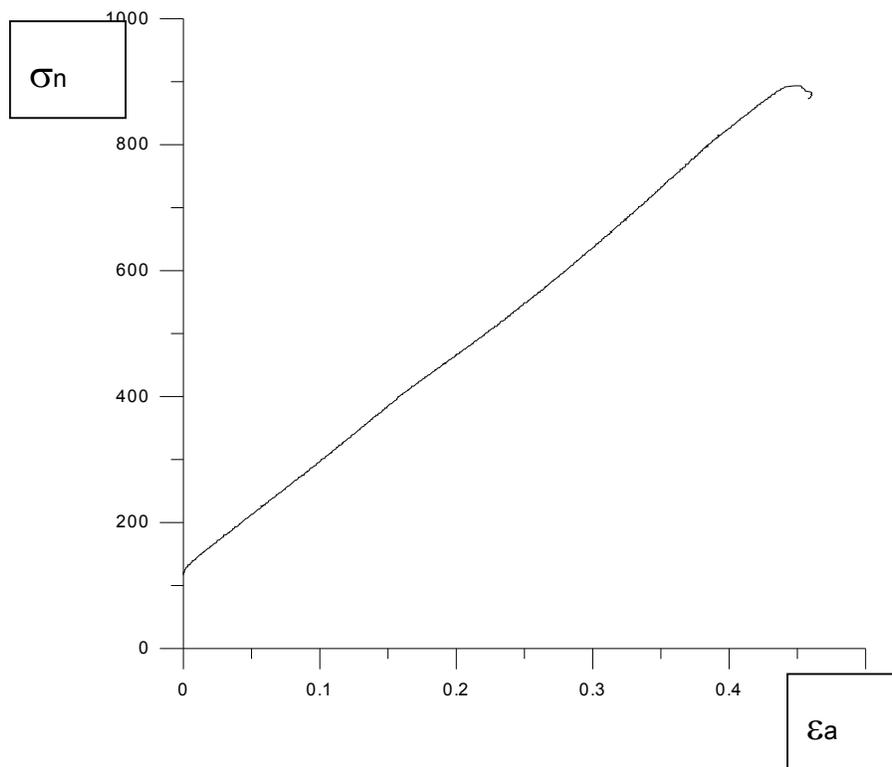


Figura 53. Graficos de ensayo triaxial

## 7.10. CRITERIO DE RESISTENCIA MOHR COULOMB

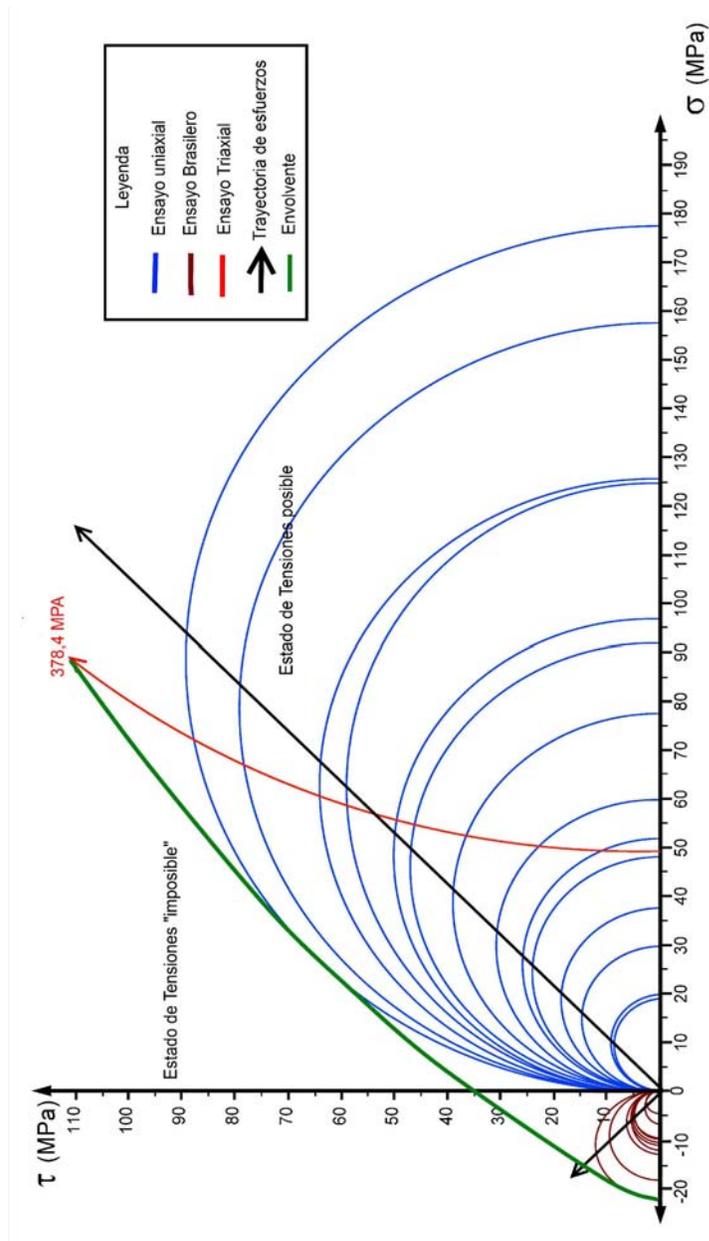


Figura 54. Criterio de resistencia y envolvente general.



## 8. ANALISIS DE RESULTADOS

### 8.1 ANALISIS DE PETROGRAFIA Y RAYOS X

En base a los resultados obtenidos en los análisis petrográficos y las difracciones de rayos X, se pudo determinar que las metatobas riolíticas de la Formación Caicara son rocas levemente foliadas y muy ricas en cuarzo (40% prom.) y otros minerales en menor proporción tales como: Plagioclasas, Feldespatos y Micas.

El Granito de Santa Rosalía es un granito biotítico, color rosado a gris, de grano fino a grueso, con predominio de la fracción de grano medio a grueso, macizo fanerocristalino, porfídico, que en zonas restringidas muestra débil foliación. Su composición mineralógica consiste de cuarzo (40%), Anfíbol y Plagioclasas con biotita como principal componente máfico (5%). Esta composición mineralógica indica rocas muy cristalinas presentando un comportamiento isótropo que a veces tiende a ser plástico.

### 8.2 ANALISIS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Este tipo de ensayo se realiza para la determinación de la resistencia a la compresión no confinada, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación, siendo todas estas muestras pertenecientes al Granito de Santa Rosa.

El ensayo se ejecuta sobre muestras inalteradas, remodeladas o compactadas, mostrándose el gráfico que muestra la relación entre los esfuerzos de compresión (en las ordenadas) y la deformación axial (en las abscisas).

---

**Sp43 Espécimen M12-1 number: 2**

Este ensayo se realizó bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, para que fuese posible que las deformaciones se mantuviesen constante se aplicaron fuerzas variables, indicando la gráfica que la roca tiende a ser cristalina e isótropa, cumpliendo con las normas de isotropía,

Este tipo de roca es homogénea, la cual no poseen poros, ni minerales que necesiten reacomodo, siendo el cierre de microfisuras muy mínimo, ocupa menos de 10kn, comportándose después de una forma elástica, hasta soportar la carga axial máxima y fracturar cerca de los 280Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 20 seg, en general son rocas muy puras que comparado con las petrografías y las difracciones de rayos x, se nota que es muy típica del Granito de Santa rosa.

**Sp43 Espécimen M12-1**

Dicho ensayo fue realizado bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, la gráfica indica que la roca tiende a ser cristalina e isótropa, cumpliendo con las normas de isotropía.

La gráfica (ver anexo 11.2) nos muestra que la carga axial se comporta prácticamente como una sola etapa, la cual al ser una roca homogénea, y al no poseer poros, ni minerales fracturables, dicha roca no necesita ningún tipo de reacomodo, siendo el cierre de microfisuras menos de 2 Kn, posteriormente empieza a soportar la carga axial, hasta fracturar cerca de los 170Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 6 seg de soporte de fuerza, en general al rocas muy puras que comparado con las petrografías y las difracciones de rayos x, se nota que es muy típica del Granito de Santa rosa.

**Sp44 Espécimen M11**

Según el comportamiento de la gráfica, esta presenta prácticamente una sola etapa, aunque posee una pequeña etapa de reacomodo de sus intersticios, indicando esto que la roca tiende a ser cristalina e isótropa, cumpliendo con las normas de isotropía.

Dichas gráficas (ver anexo 11.2) nos muestran que la carga axial se comporta prácticamente como una sola etapa, comenzando desde cerca 3 Kn, presentando posteriormente un pequeño reajuste de sus intersticios, aunque este tipo de roca no posee poros, ni minerales fracturables necesitó un tiempo de 12,7 seg para soportar la carga axial, hasta fracturar cerca de los 53Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 9 seg de soporte de fuerza, Este tipo de roca es muy cristalina la cual al comparar la gráfica con las petrografías hace corroborar el comportamiento del granito de santa rosa.

#### **Sp44 Espécimen M10-4**

Este ensayo fue realizado bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, la gráfica se comporta prácticamente de manera lineal, indicando esto que la roca tiende a ser cristalina e isotrópica, cumpliendo con las normas de isotropía.

La gráfica (ver anexo 11.2) nos muestra que la carga axial se comporta como una sola etapa, la cual al ser una roca homogénea, y al no poseer poros, ni minerales fracturables, dicha roca no necesita ningún tipo de reajuste, siendo el cierre de microfisuras menos de 4 Kn, después de esto empieza a soportar la mayor cantidad de carga axial, la cual llega a los 310Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), , Demostrando esta grafica la resistencia y pureza de dicho Espécimen que comparado con las petrografías y las difracciones de rayos x, se nota que es muy típica del Granito de Santa rosa.

#### **Sp44 Espécimen M11-11 number 6**

Según el comportamiento de la gráfica, esta presenta una sola etapa, no presentando ningún tipo de reajuste, de sus intersticios o minerales fracturables, indicando esto que la roca tiende a ser cristalina e isotrópica, cumpliendo con las normas de isotropía.

Esta gráfica (ver anexo 11.2) nos muestra que la carga axial con respecto al comportamiento axial se comporta prácticamente como una sola etapa, comenzando a cargar desde cerca de 3 Kn, posteriormente soportando la mayor

cantidad de carga axial posible, aunque este tipo de roca no posee poros, ni minerales fracturables necesitó un tiempo de 9,25 seg para soportar la carga máxima, hasta fracturar cerca de los 67Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 10 seg de soporte de fuerza, Este tipo de roca es muy cristalina la cual al comparar la gráfica con las petrografías hace corroborar el comportamiento del granito de santa rosa.

#### **Sp44 Espécimen M13-12 number: 5**

Este ensayo como todos los anteriores se realizó bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, para que fuese posible que las deformaciones se mantuviesen constante se aplicaron fuerzas variables, al observar la gráfica se puede apreciar que la roca tiende a ser cristalina e isotrópica, cumpliendo con las normas de isotropía.

La gráfica (ver anexo 11.2) nos muestra que la carga axial se comporta como una sola etapa, la cual al ser una roca homogénea, y al no poseer poros, ni minerales fracturables, esta roca no necesita ningún tipo de reacomodo, no presentando cierre de microfizuras, comenzando a soportar la mayor cantidad de carga axial desde los 0 seg , la cual llega a los 34Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), , Demostrando esta grafica la resistencia y pureza de dicho Espécimen que comparado con las petrografías y las difracciones de rayos x, se nota que es muy típica del Granito de Santa rosa.

#### **Sp44 Espécimen M12 number 2**

Dicho ensayo fue realizado bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, la gráfica indica que la roca tiende a ser cristalina e isotrópica, cumpliendo con las normas de isotropía, en dicha gráfica se registra la carga máxima aplicada, procediendo para calcular la resistencia a la compresión uniaxial de la roca a dividir dicha carga máxima por el área de la sección transversal inicial.

Esta gráfica (ver anexo 11.2) nos muestra que la carga axial se comporta prácticamente como una sola etapa, al no poseer poros, ni minerales fracturables, y al ser una roca homogénea, dicha roca no necesita ningún tipo de reacomodo, siendo el cierre de microfizuras menos de 6 Kn, posteriormente empieza a soportar

la carga axial, hasta fracturar cerca de los 217Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 14 seg de soporte de fuerza, en general este Espécimen tiende a ser una roca muy pura que comparado con las petrografías y las discrepancias de rayos x, se nota que es muy típica del Granito de Santa rosa.

#### **Sp44 Espécimen M12-1 number 3**

Este ensayo fue realizado bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, la gráfica se comporta prácticamente de manera lineal, dando a entender esto que la roca tiende a ser cristalina e isótropa, cumpliendo con las normas de isotropía.

La gráfica (ver anexo 11.2) nos muestra que la carga axial se comporta como una sola etapa, la cual al ser una roca homogénea, y al no poseer poros, ni minerales fracturables, dicha roca no necesita ningún tipo de reacomodo, siendo el cierre de microfisuras menos de 5 Kn, después de esto empieza a soportar la mayor cantidad de carga axial, la cual llega a los 106Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), , Demostrando esta grafica la resistencia y pureza de dicho espécimen que comparado con las petrografías y las difracciones de rayos x, se nota que es muy típica del Granito de Santa rosa.

#### **Sp44 espécimen M11-14 number 1**

Dicho ensayo fue realizado bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, la gráfica indica que la roca tiende a ser cristalina e isótropa, cumpliendo con las normas de isotropía, en dicha gráfica se registra la carga máxima aplicada.

Este tipo de roca es homogénea, la cual no poseen poros, ni minerales que necesiten reacomodo, siendo el cierre de microfisuras muy mínimo, comportándose después de una forma elástica, hasta soportar la carga axial máxima y fracturar cerca de los 33Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 496 seg, en general son rocas muy puras que comparado con las petrografías y las difracciones de rayos x, se nota que es muy típica del Granito de Santa Rosalía.

**Sp45m13 espécimen M11-7**

Este ensayo se realizó bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, se aplicaron fuerzas variables para la ejecución de este ensayo, indicando la gráfica que la roca tiende a ser cristalina e isotrópica, cumpliendo con las normas de isotropía,

Esta gráfica (ver anexo 11.2) nos muestra que la carga axial con respecto al comportamiento axial se comporta prácticamente como una sola etapa, comenzando a cargar desde cerca de 6 Kn, con 9 seg, posteriormente soporta la mayor cantidad de carga axial posible, aunque este tipo de roca no posee poros, ni minerales fracturables necesitó un tiempo de 9,2 seg para soportar la carga máxima, hasta fracturar cerca de los 220Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 9 seg de soporte de fuerza, Este tipo de roca es muy cristalina la cual al comparar la gráfica con las petrografías hace corroborar el comportamiento del granito de santa rosa.

**Sp45 espécimen M13-12 number 6**

Según el comportamiento de la gráfica, esta presenta una sola etapa, no presentando ningún tipo de reacomodo, de sus intersticios o minerales fracturables, dicho ensayo fue realizado bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, la gráfica indica que la roca tiende a ser cristalina e isotrópica, cumpliendo con las normas de isotropía.

En esta gráfica (ver anexo 11.2) se puede apreciar que la carga axial se comporta prácticamente como una sola etapa, comenzando a cargar desde cerca de 10 Kn, necesitando un tiempo de 9 seg, posteriormente comienza a soportar la mayor cantidad de carga axial posible, acotando que este tipo de roca no posee poros, ni minerales fracturables, fracturando cerca de los 135Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 13 seg de soporte de fuerza, Este tipo de roca es muy cristalina la cual al comparar la gráfica con las petrografías hace corroborar el comportamiento del granito de Santa Rosalía.

### **Sp45-m13 Specimen M13-2 number 8**

Como todos los ensayos anteriores este fue realizado bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo, indicando la gráfica que la roca tiende a ser cristalina e isótropa, cumpliendo con las normas de isotropía, esto debido a su comportamiento en una sola etapa.

La gráfica (ver anexo 11.2) nos muestra que la carga axial se comporta prácticamente como una sola etapa, que debido al tipo de roca, y al no poseer poros, ni minerales fracturables, no necesita ningún tipo de reacomodo, comenzando inmediatamente a cargar y a soportar la mayor cantidad carga axial, hasta fracturar cerca de los 160Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 1180 seg de soporte de fuerza, llegando a la conclusión que dicha roca debe ser muy cristalina la cual no necesita de reacomodo de sus intersticios o microfizuras para poder recibir carga.

### **Sp45-m13 Specimen M13 number 5**

Esta grafica indica que la roca tiende a ser cristalina e isótropa, debido a que se comporta de manera lineal ascendente, prácticamente en una sola etapa, cumpliendo con las normas de isotropía, en dicha gráfica se registra la carga máxima aplicada, dicho ensayo fue realizado bajo una deformación constante según los esfuerzos aplicados en el tiempo

En esta gráfica (ver anexo 11.2) podemos apreciar que la carga axial se comporta prácticamente como una sola etapa, que al no poseer poros, ni minerales fracturables, dicha roca no necesita ningún tipo de reacomodo, siendo el cierre de microfizuras menos de 5 Kn, posteriormente empieza a soportar la mayor fuerza y carga axial, hasta fracturar cerca de los 91Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 12.7 seg de soporte de fuerza, en general este espécimen tiende a ser una roca muy pura típica del Granito de Santa Rosalía.

### **Sp46-m13 Specimen M13 number 4**

Según el comportamiento de la gráfica, esta presenta prácticamente una sola etapa, aunque posee una pequeña etapa de reacomodo de sus intersticios, indicando esto que la roca tiende a ser cristalina e isótropa, cumpliendo con las normas de isotropía.

Dichas gráficas (ver anexo 11.2) nos indican que la carga axial se comporta prácticamente como una sola etapa, comenzando desde cerca 3 Kn, presentando posteriormente un pequeño reacomodo de sus intersticios, comenzando inmediatamente a cargar y a soportar la mayor cantidad carga axial, hasta fracturar cerca de los 84Kn (Valor máximo de esfuerzo de compresión), con un tiempo de 12seg de soporte de fuerza, llegando a la conclusión que dicha roca debe ser muy cristalina la cual no necesita de reacomodo de sus intersticios o microfisuras para poder recibir carga.

## **8.3 ANALISIS DE ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA (BRASILERO)**

### **SP44-M13-1**

La grafica (ver anexo 11.2) correspondiente a esta muestra, resultado del ensayo de tracción indirecta, representa dos estados una primera etapa de acoplamiento y cierre de microfracturas y reacomodo de la estructura interna del material, en respuesta a los esfuerzos traccionales aplicados. Esto se evidencia en un pico abrupto de la gráfica el representado a los 7kN. Luego a los 8kN comienza la segunda y última etapa, que representa la etapa de microfracturación interna del material alcanzando un valor final de 16,5kN con un desplazamiento axial final alcanzado de 1.39mm

### **SP45-M13-2**

Esta muestra representa tres estados de deformación en la gráfica obtenida mediante el ensayo de tracción aplicado.

La etapa 1 representa el acoplamiento o etapa elástica de la roca en la cual no alcanza mayor desplazamiento axial; la etapa 2 reacomoda su estructura interna cierra sus microfisuras y representa la etapa de comportamiento plástico del

material, esta etapa ocurre en un intervalo que va desde 41seg. A los 70seg. Alcanzando un valor de carga de tracción de 8.5kN.

La tercera etapa la muestra comienza a recibir la mayor cantidad de carga y microfisuras o tracciona internamente su estructura hasta alcanzar los 18kN donde finalmente se rompe.

#### **SP43-M11-4**

En esta grafica (ver anexo 11.2) se pueden evidenciar dos estados de comportamiento del material la primera etapa acopla y reacomoda el material cerrando microfisuras, representando un estado plástico del material, en el cual alcanza un valor de carga de 6kN en 50seg.

La etapa 2 representa un estado de microfisuración interna del material y tiene un comportamiento linealmente ascendente alcanzando los 36kN en un tiempo final de 60seg.

#### **SP43-M11-5**

Este ensayo se comporta en dos etapas o estados del material, en el cual se pueden apreciar homogeneidad y estructura interna del espécimen, demostrando esto la cristalinidad de dicha muestra.

Los estados del material se clasifican de la siguiente manera: Etapa 1 responde al acoplamiento de la carga ejercida donde la estructura interna sufre un reacomodo y cierra sus microfisuras en un intervalo de tracción que está entre los 2 y 6kN.

La etapa 2, representa la etapa de tracción final llegando a un valor máximo alcanzado de 32kN con un desplazamiento de 0.90mm.

#### **SP43-M11-6**

Esta muestra presenta 2 etapas características del material de estudio.

La primera etapa se completa en 30seg alcanzando una carga de 6kN con desplazamientos axiales de 0.50mm. Esta etapa se caracteriza por el reacomodo de la estructura interna de la roca y cierre de microfisuras.

Una vez superada esta etapa, esta muestra cambia su comportamiento expresado en la gráfica (ver anexo 11.2), ya que comienza a recibir mayores esfuerzos compresivos cargando rápidamente, por lo tanto esta etapa se caracteriza por la microfracturación interna del espécimen hasta alcanzar el punto máximo de rotura por tracción que en este caso alcanzo los 23kN.

#### **SP46-M13-7**

La grafica (ver anexo 11.2) obtenida de este espécimen muestra un comportamiento que se clasifica como tres etapas o estados del material, la etapa 1 representa una etapa representa una parte elástica, la etapa 2 representa una etapa de acoplamiento de la carga donde se cierran la mayoría de las microfisuras y porosidad interna en un intervalo de tracción de 4 a 5kN

La última etapa representa la etapa final de microfracturación donde el espécimen recibe la mayor cantidad de carga y tiene un comportamiento lineal, hasta alcanzar la rotura a los 18,7kN con un desplazamiento final de 0.73mm.

#### **SP-43-M11-8**

Esta muestra tiene un comportamiento en dos etapas o estados del material, los cuales nos hacen interpretar la homogeneidad del material así como su grado de cristalinidad.

La etapa 1 responde a un estado de tracción inicial donde el material comienza el reacomodo de su estructura interna y cierre de microfisuras que pudieran existir, para ello utiliza un intervalo de tiempo de 32seg, y alcanza los 5kN de carga.

La etapa 2 es una etapa que muestra un comportamiento linealmente ascendente donde se muestra el soporte de fuerzas de tracción

#### **SP46-M3-9**

La grafica (ver anexo 11.2) representa dos estados del material una etapa inicial d de carga y reacomodo de la estructura interna, donde cierra todas las microfisuras internas que pudieran existir dentro del material en apenas 23seg necesitando para esto 4kN. La etapa 2 muestra el estado de tracción final del espécimen donde

microfracturas su estructura interna hasta que alcanza la carga máxima a la cual se rompe, (13kN.)

#### **SP43-M11-10**

En esta muestra podemos observar una primera fractura del material a los 15kN, abruptamente disminuye el valor de carga a 8kN, pero en este punto comienza a aumentar el valor de carga. Esto se puede traducir como el cierre de una fractura interna importante. Este nuevo aumento de los valores de carga se encuentra con las características propias del material donde este definitivamente comienza su fase de microfracturación interna hasta alcanzar el valor de rotura por tracción indirecta definitivo que en este caso es de 17.5kN

#### **SP43-M11-12**

Esta muestra dio como resultado del ensayo de tracción una gráfica, en la cual se observa una sola etapa la cual corresponde a una etapa de carga y microfracturación interna hasta alcanzar el punto de rotura por los esfuerzos traccionantes. El cual alcanza a los 21kN obteniendo un desplazamiento axial final de 0.76mm.

### **8.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYO ULTRASONICO**

De los resultados obtenidos en los ensayos ultrasónicos realizados, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

Los ensayos realizados con ayuda del equipo de ultrasonidos han permitido diferenciar, de manera clara, las distintas resistencias relativas de las diversas muestras ensayadas.

La presencia de alteraciones que afectan a la estructura cristalina del material rocoso, así como la existencia de fracturas significativas, son detectadas con el ensayo ultrasónico, al obtenerse tiempos de transmisión anormalmente altos.

La técnica del ensayo ultrasónico empleada en muestras de roca granítica resulta adecuada para el conocimiento del parámetro mecánico de resistencia. Para la realización de análisis cualitativos resulta necesario combinar estos ensayos con

otras técnicas, preferiblemente con el ensayo de compresión simple para obtener correlaciones fiables en la determinación numérica de su resistencia.

La sustancia utilizada en la transmisión del frente de ondas del cabezal a la muestra resulta determinante en los tiempos de llegada de las ondas P y S, podemos observar como el aguagel en el mismo tipo de roca obtenemos velocidades anormalmente altas para las P y muy bajas para las S, esto ocurre debido a la baja viscosidad del aguagel comportándose de manera muy similar al agua, transmitiendo muy bien las ondas compresivas P y muy mal las ondas de corte S.

Se determinó que la miel resulta una sustancia de transmisión óptima en el ensayo ultrasónico, obteniendo registros bastante buenos de las velocidades de onda cuando se implementó en los ensayos, la viscosidad es ideal para la transmisión del frente de ondas P y S a la muestra.

Es importante destacar que utilizar miel en el ensayo puede arrojar resultados distintos siempre dependiendo de la calidad y viscosidad de la miel, ya que no existe un estándar en el mercado.

El ensayo ultrasónico es muy importante en el estudio de resistencia de las rocas, su fácil aplicación, bajo costo y el ser un ensayo no destructivo lo convierten en una herramienta bastante útil, ya que siempre se puede correlacionar las velocidades de onda con otras características como resistencia a la compresión simple, porosidad, resistencia a la tracción y muchos otros parámetros.

Se obtuvieron parámetros útiles para cálculos mecánicos como el coeficiente de Poisson, el módulo de Young, el módulo de Bulk y el módulo de Rigidez de la roca.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1. CONCLUSIONES

En general la presente investigación realizada en la zona de Caicara del Orinoco específicamente en el granito de santa Rosalía, se basó en los ensayos de caracterización geomecánica obteniéndose los siguientes resultados:

La automatización de los ensayos servocontrolados permite dedicar mayor cantidad de tiempo en el diseño particular y calidad del ensayo a ejecutar, en vez de invertir mayor cantidad de tiempo en la simple ejecución del ensayo.

Los ensayos dinámicos permiten obtener los valores de las constantes elásticas de las rocas, las cuales son relacionables a los métodos geofísicos, ayudando esto a poder abarcar mayor cantidad de área estudiable a muy bajo costo.

Según la petrografía realizada en la zona aunada a la difracción de rayos X, se obtuvo que el Granito de Santa Rosalía es un granito biotítico, de color rosado a gris, de grano fino a grueso, con predominio de la fracción de grano medio a grueso, macizo fanerocristalino, porfídico, que en zonas restringidas muestra débil foliación. Su composición mineralógica tiende a ser bastante constante en todas las localidades donde se ha descrito, consiste de cuarzo (35%), biotita como principal componente máfico (5%) y cantidades menores de hornblenda, epidota, clorita y opacos. El Granito de Santa Rosalía intrusiona a la Formación Caicara la cual está constituida por un conjunto de rocas volcánicas predominantemente ácidas, tales como riolitas y riolitas porfídicas con matriz de grano fino a medio, seguidas en orden de abundancia por riodacitas y dacitas porfídicas.

---

Dichos ensayos dan como conclusión que la roca por ser muy cristalina presenta un comportamiento isótropo teniendo un comportamiento que a veces tiende a ser plástico.

Se caracterizó la zona para poder conseguir un rango de valores y no valores puntuales, los cuales nos dan a conocer la caracterización general de la región de Caicara.

## **9.2. RECOMENDACIONES**

Continuar el estudio del área con el fin de aumentar los datos geomecánicos que nos permitan caracterizar más la zona en cuestión.

Es recomendable ampliar la zona del estudio tanto al norte como al sur del río Orinoco, debido a que dicho río ha desgastado la roca blanda y se ensayó en la roca más dura, por lo tanto al realizar un estudio de geomecánica perpendicular al Orinoco, puede corroborar la igualdad de las rocas a ambos lados, dando un resultado geomecánico tanto de resistencia como de calidad del granito existente.

El río Orinoco aparte de ser unos de los caudales de agua dulce más importantes en el planeta, es un eje fluvial de extrema importancia estratégica para el desarrollo de la región de Bolívar, ya que dicha caracterización realizada en el Granito de Santa Rosalía y aunada a investigaciones futuras dan importantes resultados para la mejor elaboración de puertos, escolleras, diques secos, puentes.

Es recomendable realizar una petrografía por cada muestra tomada, debido a que ello nos da mayor información de la composición mineralógica de la zona.

Al realizar la mayor cantidad de ensayos de caracterización geomecánica, incluyendo el triaxial nos pueden dar la curva esfuerzo deformación, logrando esto conocer el criterio general de fractura y dureza de las rocas.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

ABRAMSON L.W. (1996), "Engineering Geology Principles". Slope stability and stabilization methods.

ÁLVAREZ, L. (2003) La Ingeniería Geológica y los grandes proyectos de infraestructura. GEOCONSUL.

R.L. Schuster and R.J. Krizek, EDS (2006) Analysis and control. TRB, National Research council, Washington D.C. pp. 11-33.

ATTEWELL P.B., FARMER I.W. (1976), "Principles of engineering geology". Chapman and Hall. John

BATES, R.L, JACKSON J.A., (1980), Glossary of Geology". 2ªed. American Geological Institute, Falls

BECHARA, L. MATOS, H. (2006) Estudio Geológico y Caracterización Geomecánica de la zona comprendida entre Charallave y Paracotos, Estado Miranda. UCV, Caracas.

BIENIAWSKI, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications. New York. John Wiley and Sons Inc: pp. 251.

BLYTH, F.G.H., FREITAS, M.II. (1984), "A Geology for Engineers", Edward Arnold, London. 325p.

Código geológico de Venezuela. (2010) PDVSA Intevep.  
<http://www.pdvsa.com/lexico/>

---

DUQUE, G. (S/F) Manual de Geología para Ingenieros. [www.geocities.com/manualgeo\\_12](http://www.geocities.com/manualgeo_12).

GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE AROZENA, J. M. y PICARD, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones Foninves Tomo I.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE AROZENA, J. M. y PICARD, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones Foninves Tomo II.

GONZALEZ DE VALLEJO, L., FERRER, M. (2002) Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid.

HOEK, E. & BROWN, E. T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Elsevier, XXXIV (8): pp. 1165-1186

MATOS, B (2006) Estudio Geológico y Caracterización Geomecánica de la zona comprendida entre Charallave y Paracotos, Estado Miranda. UCV, Caracas.

RUIZ, J. TERRIZZI, C. (1993) Reconocimiento geológico en la zona ubicada entre Caicara del Orinoco y Los Pijiguaos, edo. Bolívar. UDO, Núcleo Bolívar.

SINDE, R. TORRES, C. (2008) Caracterización geológica -geotécnica en el " Proyecto integral autopista de Los Llanos Centrales" progresiva 0+000 Km al 32+100 Km, Edo. Cojedes. UCV, Caracas.

TORRES, S (2008) Caracterización geológica - geotécnica en el " Proyecto integral autopista de Los Llanos Centrales" progresiva 0+000 Km al 32+100 Km, Edo. Cojedes. UCV, Caracas.

VELÁSQUEZ (1997) Estudio geológico del sector Los Coquitos, en la confluencia de los ríos Guaniamo y Juasjualito en la selva de Chavipira, municipio Cedeño, edo. Bolívar. UDO, Núcleo Bolívar.

WITTKE, W. (1990), Rock Mechanics, Springer-Verlag, Berlin, 1074 pp

ZURITA, O. VELÁSQUEZ, M. (1997) Estudio geológico del sector Los Coquitos, en la confluencia de los ríos Guaniamo y Juasjualito en la selva de Chavipira, municipio Cedeño, edo. Bolívar. UDO, Núcleo Bolívar.

# ANEXOS

## 11.1. ENSAYO ULTRASONICO

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

\*\*\*\*\*

### ~~~~ Ultrasonics Specimen

~~~~~

ID: granito 1 SP45  
Description: \_con Acuagel  
Type: Granite  
Height: 87.7000 mm  
Density: 2.62e-006 kg/mm^3  
Mass: 0.4 kg  
Diameter: 47.1 mm  
Volume: 152803 mm^3  
P Velocity: 2834 (m/s)  
S Velocity: 1927 (m/s)  
u - Poisson's Ratio: 0.07  
Young's Modulus: 20804986 (kPa)  
Bulk Modulus: 8060487 (kPa)  
Shear (Rigidity) Modulus: 9723634 (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: 0.08 (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: 10.00 MHz  
External Manual Gain: Off (lowest)  
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)
-----
Average      0.00  0
-----
Typical 0.02 - 0.02    3962 - 3962
-----
Results:      0.04  2834
-----
Sampling Period:      0.00  (msec)
Total Waves:      8
Data Points (Rows):  4096
    
```

S wave

```

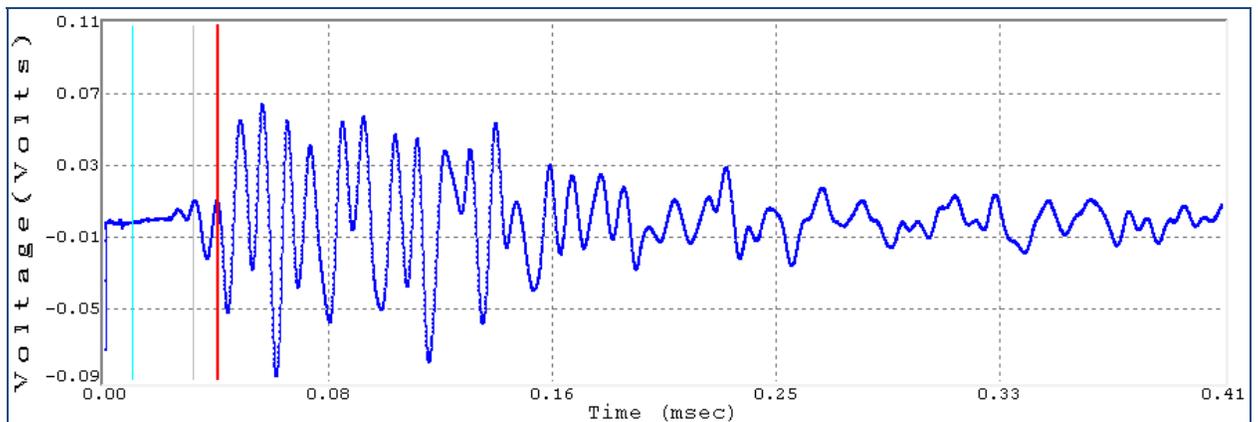
=====
---- Setup -----
Sampling Rate:      20.00 MHz (highest)
External Manual Gain: 5V (highest)
Input Automatic Gain: 20  (db)
Energy Output: 100  (%)
Damping:      0.00  (msec)
Delay: 0.00  (msec)
Filter:  NS
    
```

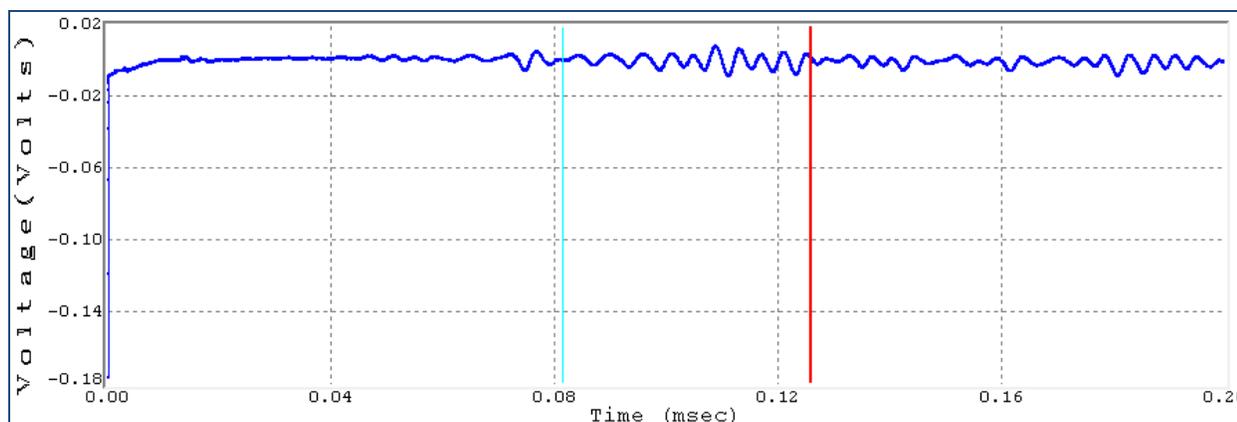
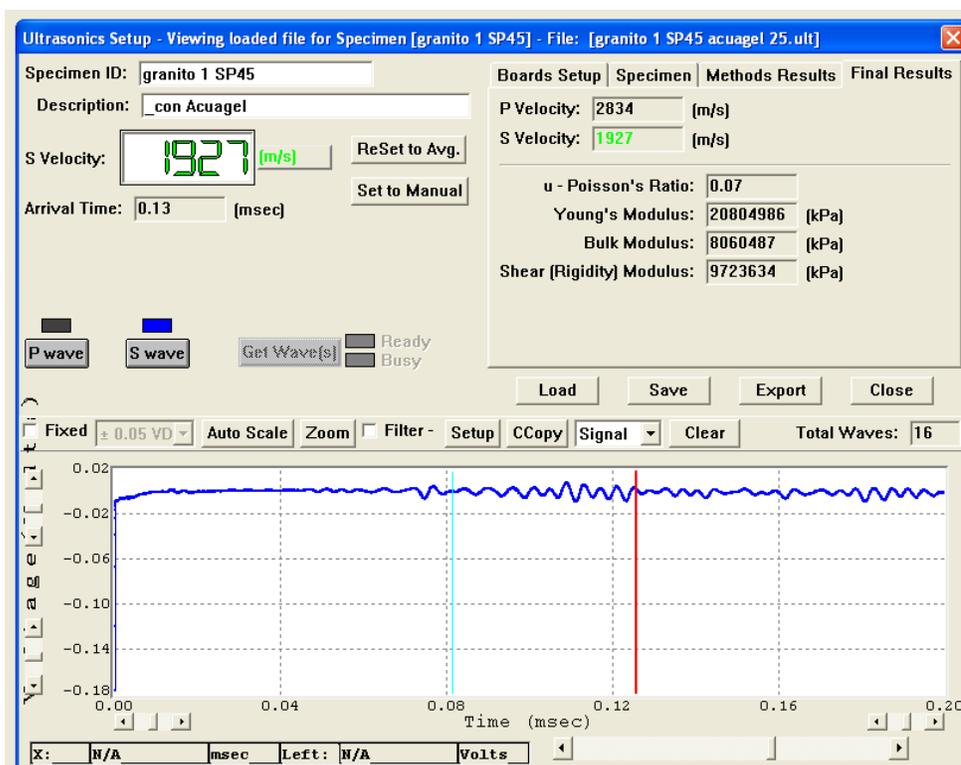
```

---- 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
-----
Typical 0.05 - 0.05    1930 - 1930
-----
Results:      0.13  1927
-----
Sampling Period:      0.00  (msec)
Total Waves:      16
Data Points (Rows):  4096
    
```





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

\*\*\*\*\*

~~~~ Ultrasonics Specimen ~~~~~

ID: GRANITO M1 SP45  
Description: con acuagel  
Type: Granite  
Height: 87.7000 mm  
Density: 2.62e-006 kg/mm^3  
Mass: 0.4 kg  
Diameter: 47.1 mm  
Volume: 152803 mm^3  
P Velocity: 6184 (m/s)  
S Velocity: 1817 (m/s)  
u - Poisson's Ratio: 0.45  
Young's Modulus: 25103006 (kPa)  
Bulk Modulus: 88600928 (kPa)  
Shear (Rigidity) Modulus: 8639651 (kPa)

===== P wave  
=====

----- Setup -----

Sampling Rate: 10.00 MHz  
External Manual Gain: Off (lowest)  
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 2619  
4 - First Peak Time: 0.05 2464  
5 - Tang. of First Peak: 0.04 2641

-----  
Average 0.04 2572

-----  
Typical 0.02 - 0.02 3962 - 3962

-----  
Results: 0.02 6184

-----  
 Sampling Period: 0.00 (msec)  
 Total Waves: 2  
 Data Points (Rows): 4096

===== S wave  
 =====

----- Setup -----

Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)  
 External Manual Gain: Off (lowest)  
 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

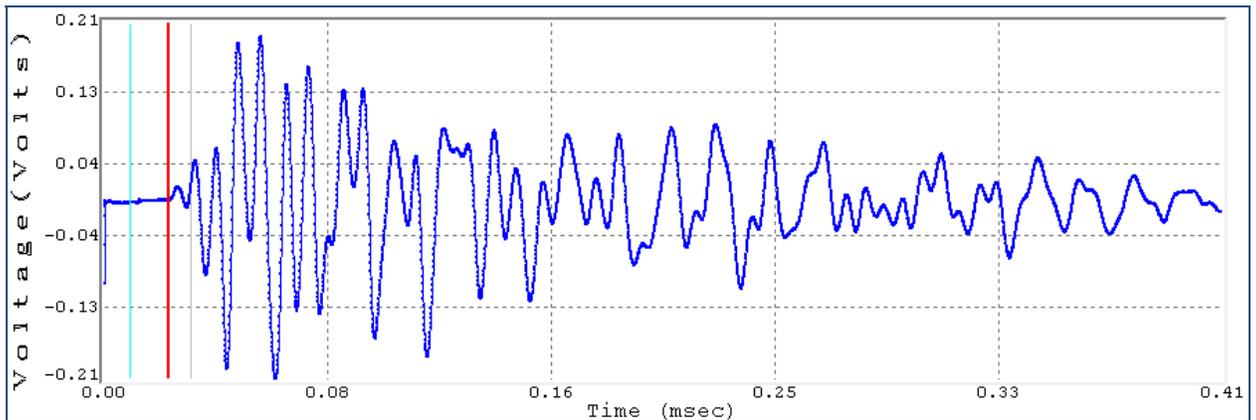
Average 0.00 0

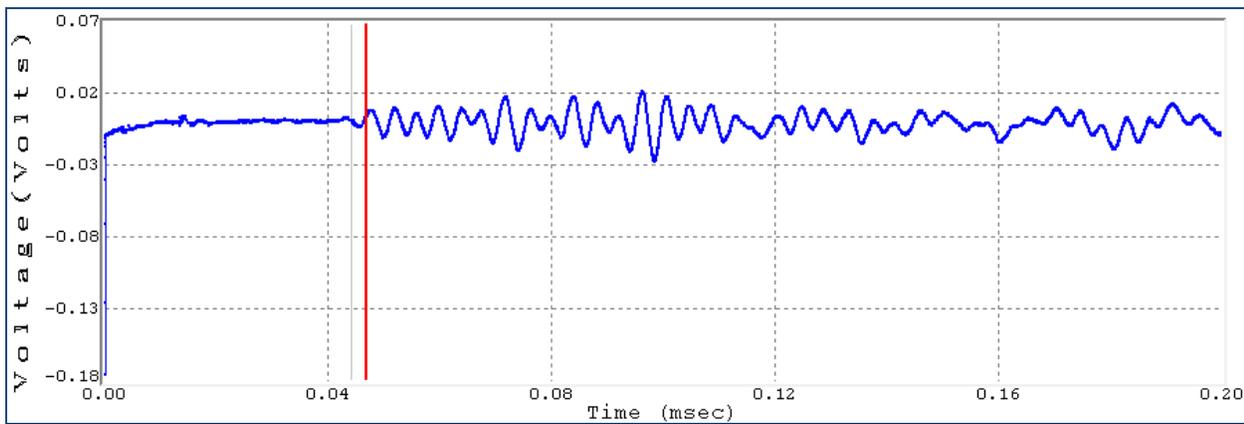
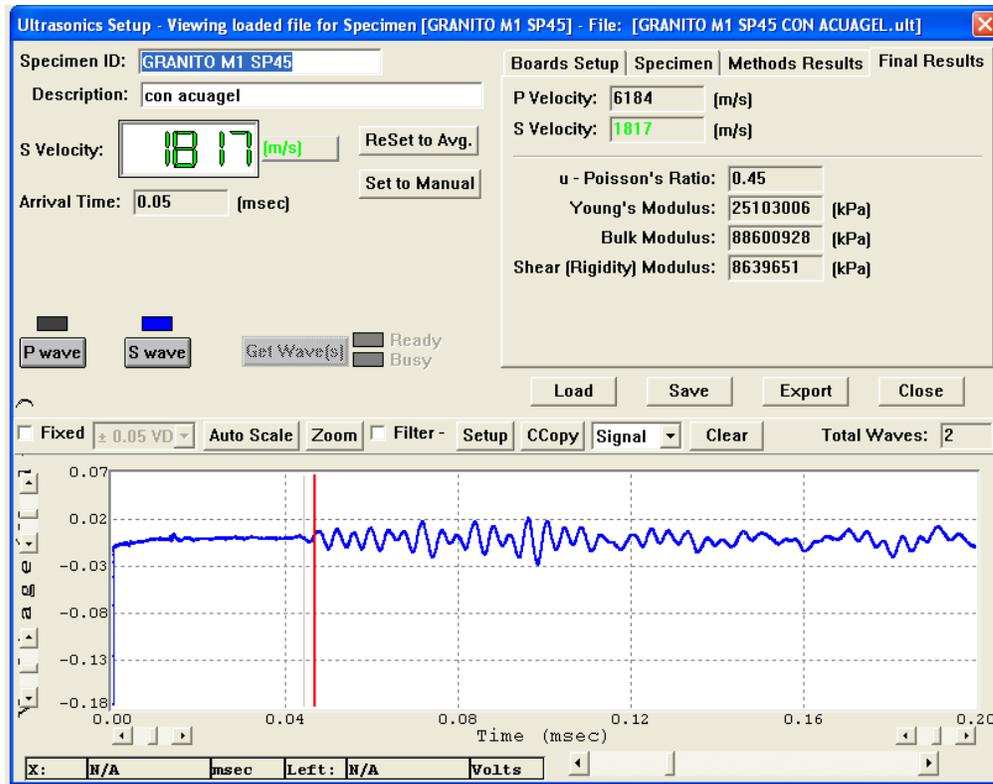
-----  
 Typical 0.05 - 0.05 1930 - 1930

-----  
 Results: 0.05 1817

-----  
 Sampling Period: 0.00 (msec)  
 Total Waves: 2

Data Points (Rows): 4096





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

\*\*\*\*\*

~~~~ Ultrasonics Specimen ~~~~~

ID: GRANITO M1 SP45  
Description: CON MIEL 25 C  
Type: Granite  
Height: 87.0000 mm  
Density: 2.65e-006 kg/mm^3  
Mass: 0.4 kg  
Diameter: 47 mm  
Volume: 150940 mm^3  
P Velocity: 4678 (m/s)  
S Velocity: 3346 (m/s)  
u - Poisson's Ratio: N/A  
Young's Modulus: 57941748 (kPa)  
Bulk Modulus: 18450668 (kPa)  
Shear (Rigidity) Modulus: 29664838 (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 2942  
 4 - First Peak Time: 0.04 2726  
 5 - Tang. of First Peak: 0.04 2965  
 -----  
 Average 0.04 2874  
 -----  
 Typical 0.02 - 0.02 3962 - 3962  
 -----  
 Results: 0.03 4678  
 -----  
 Sampling Period: 0.00 (msec)  
 Total Waves: 14  
 Data Points (Rows): 4096

===== S wave

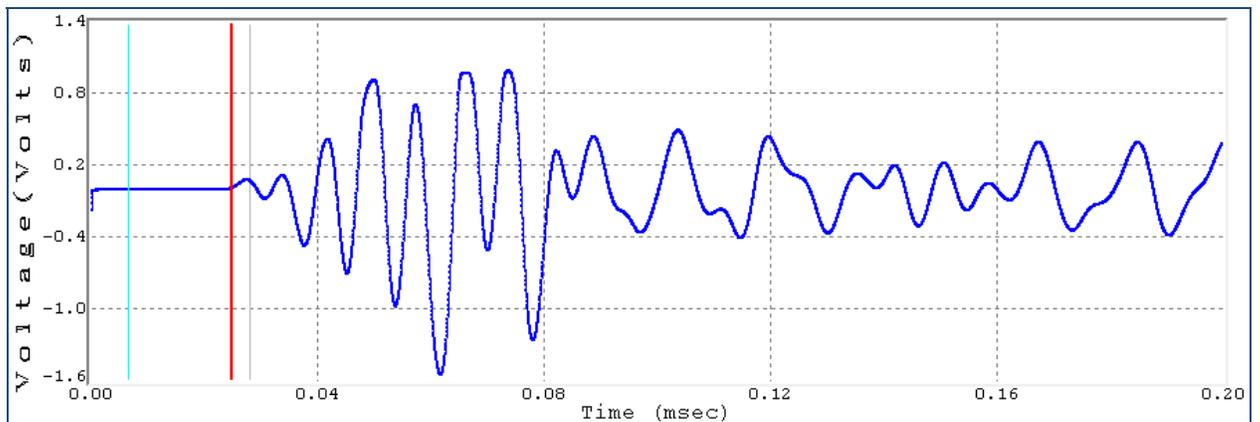
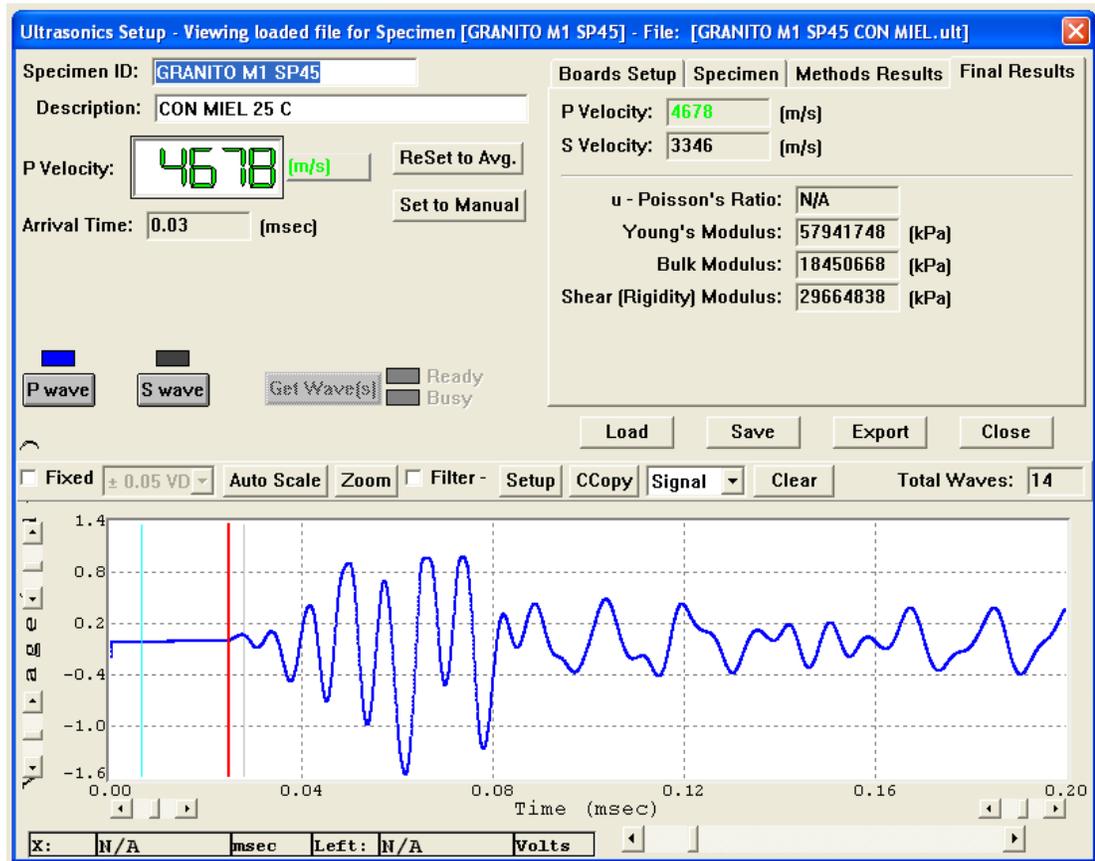
----- Setup -----

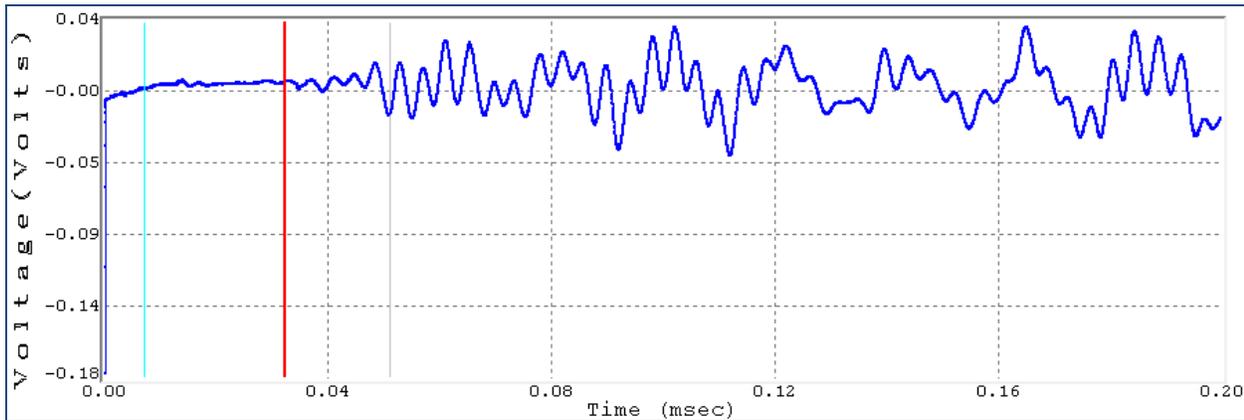
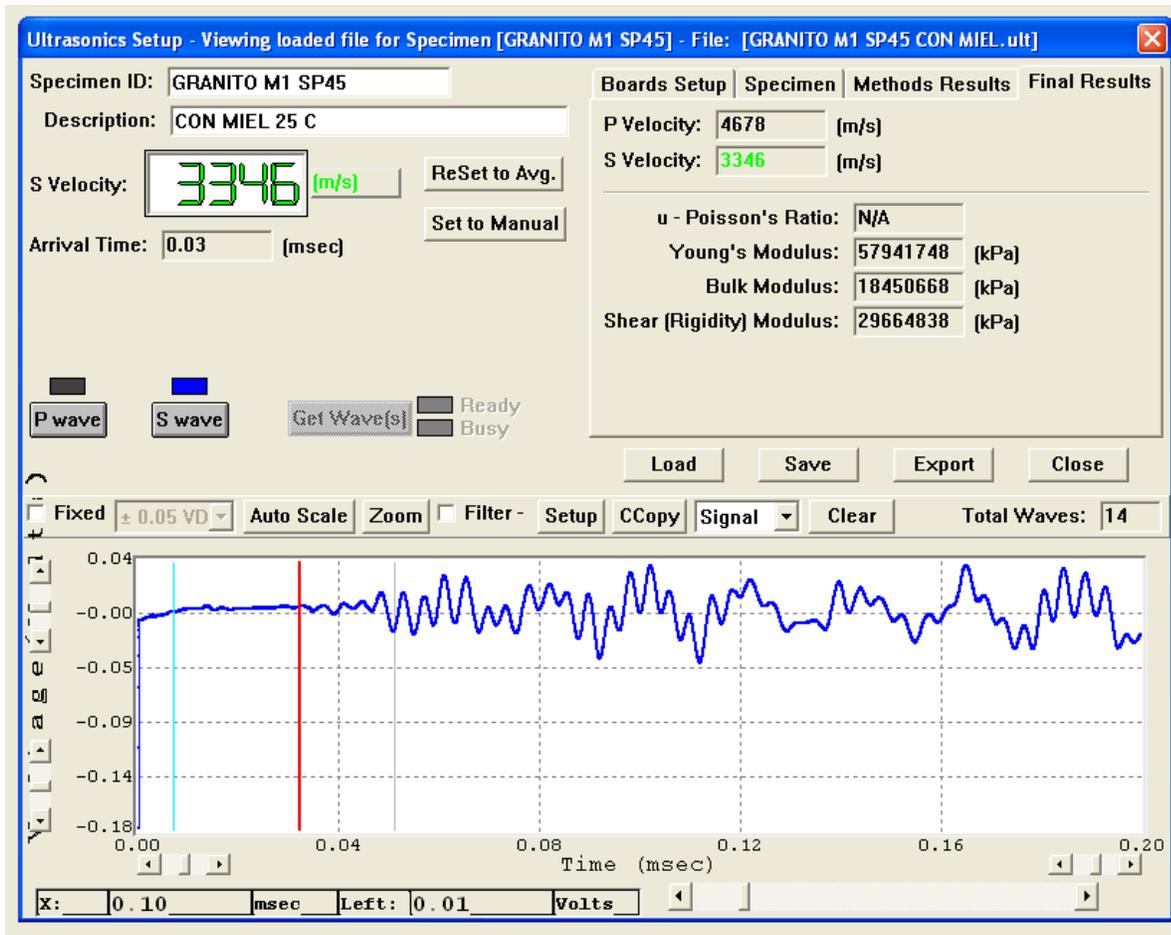
Sampling Rate: 20.00 MHz (highest)  
 External Manual Gain: 5V (highest)  
 Input Automatic Gain: 20 (db)  
 Energy Output: 100 (%)  
 Damping: 0.00 (msec)  
 Delay: 0.00 (msec)  
 Filter: NS

----- 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  
 -----  
 Typical 0.05 - 0.05 1930 - 1930  
 -----  
 Results: 0.03 3346  
 -----  
 Sampling Period: 0.00 (msec)  
 Total Waves: 14  
 Data Points (Rows): 4096





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

~~~~ Ultrasonics Specimen ~~~~~

ID: GRANITO M2 SP43  
Description: CON MIEL 25 C  
Type: Granite  
Height: 87.0000 mm  
Density: 2.64e-006 kg/mm<sup>3</sup>  
Mass: 0.4 kg  
Diameter: 47.1 mm  
Volume: 151583 mm<sup>3</sup>  
P Velocity: 3961 (m/s)  
S Velocity: 2611 (m/s)  
u - Poisson's Ratio: 0.12  
Young's Modulus: 40146776 (kPa)  
Bulk Modulus: 17407558 (kPa)  
Shear (Rigidity) Modulus: 17993044 (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

-----  
 Typical 0.02 - 0.02 3962 - 3962

-----  
 Results: 0.03 3961

-----  
 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

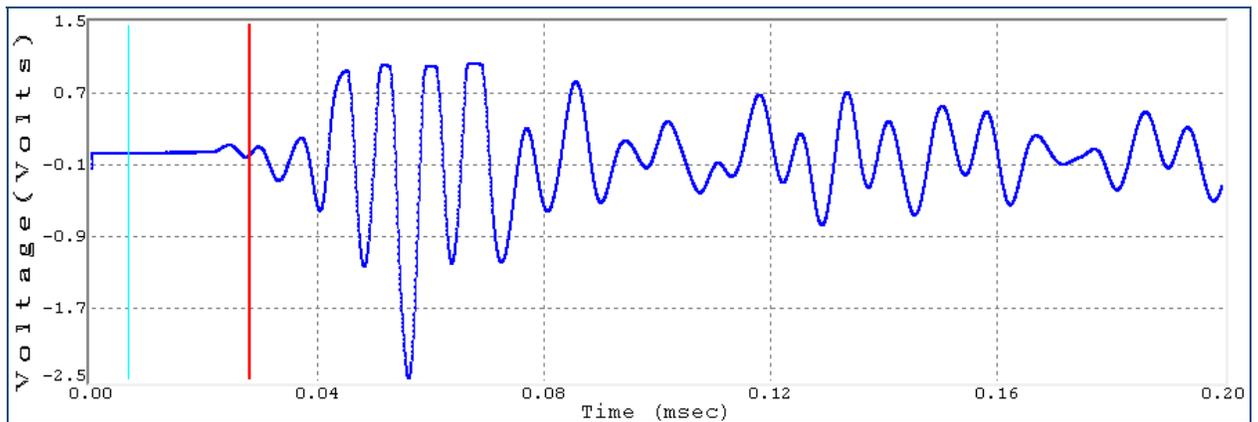
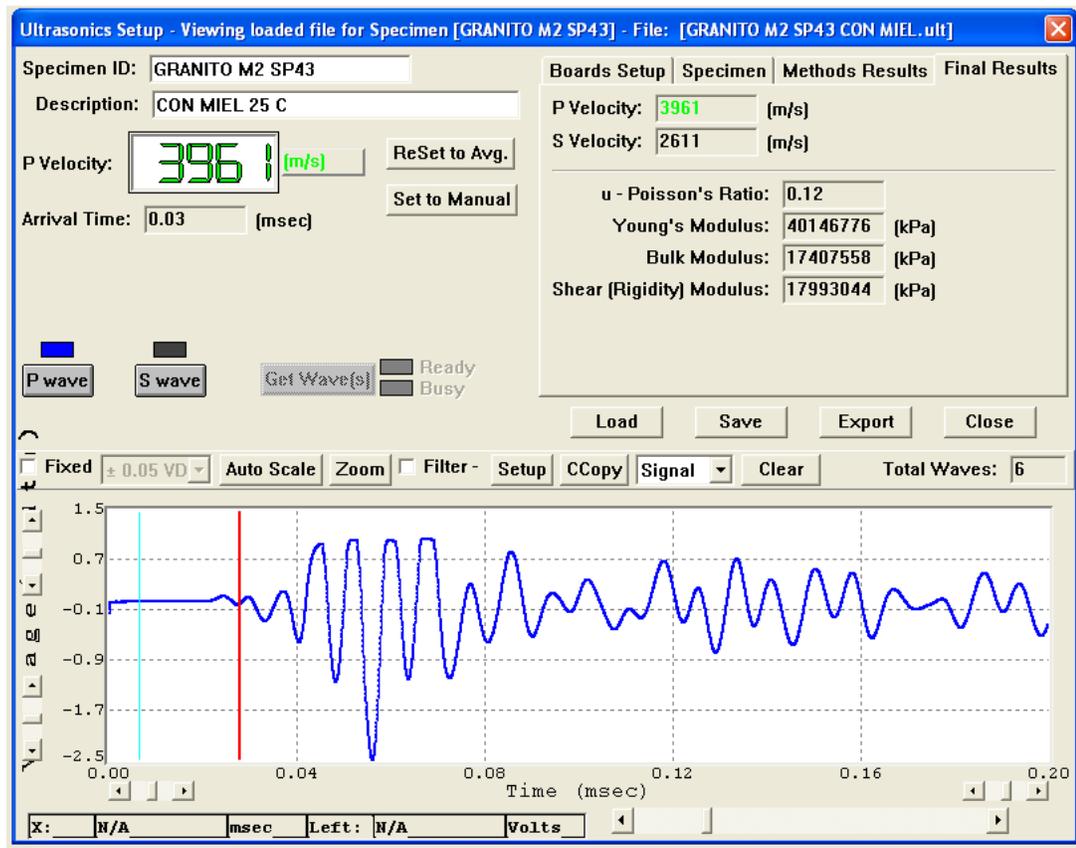
-----  
 Average 0.00 0

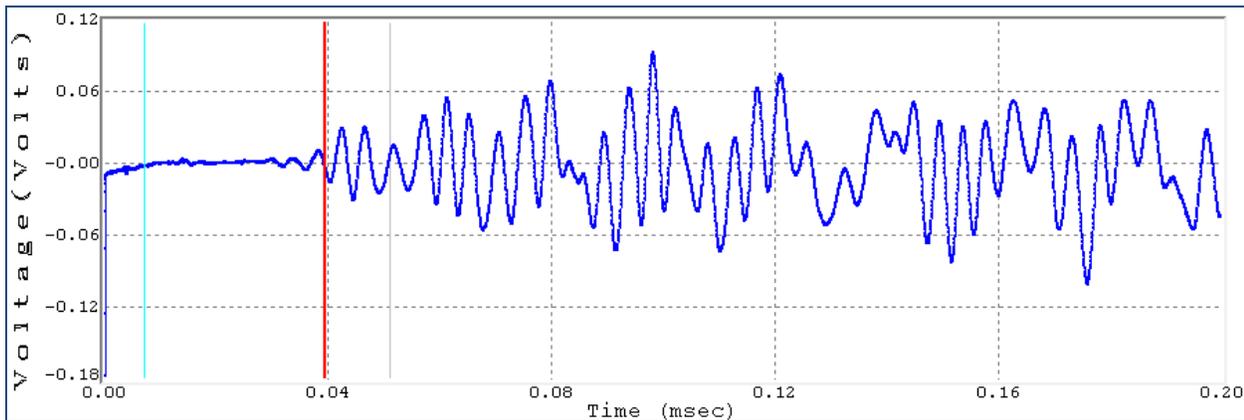
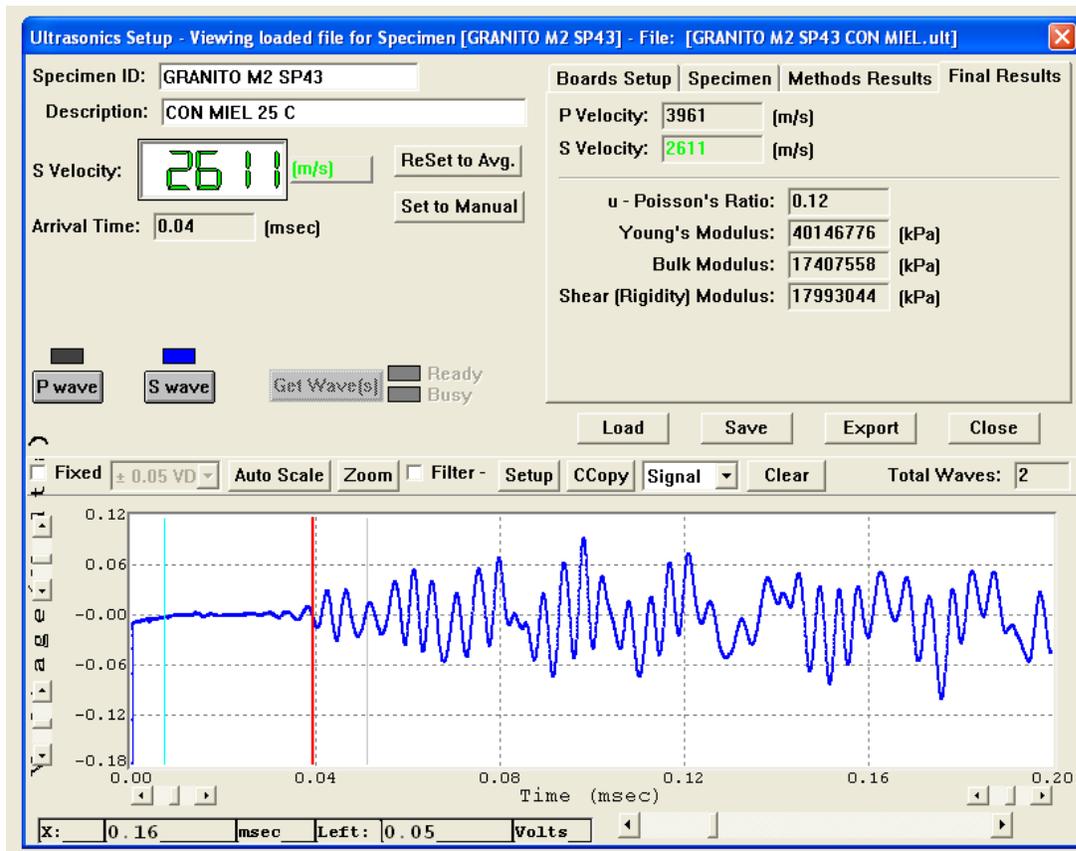
-----  
 Typical 0.05 - 0.05 1930 - 1930

-----  
 Results: 0.04 2611

-----  
 Sampling Period: 0.00 (msec)  
 Total Waves: 2

Data Points (Rows): 4096





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

~~~~ Ultrasonics Specimen ~~~~~

ID: GRANITO M3 SP46  
Description: CON MIEL 25 C  
Type: Granite  
Height: 87.0000 mm  
Density: 2.65e-006 kg/mm<sup>3</sup>  
Mass: 0.4 kg  
Diameter: 47 mm  
Volume: 150940 mm<sup>3</sup>  
P Velocity: 4630 (m/s)  
S Velocity: 2701 (m/s)  
u - Poisson's Ratio: 0.24  
Young's Modulus: 48032820 (kPa)  
Bulk Modulus: 31014156 (kPa)  
Shear (Rigidity) Modulus: 19338804 (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  2879
4 - First Peak Time:    0.04  2651
5 - Tang. of First Peak: 0.04  2903
-----
```

```
Average      0.04  2806
-----
```

```
Typical 0.02 - 0.02      3962 - 3962
-----
```

```
Results:      0.03  4630
-----
```

```
Sampling Period:      0.00  (msec)
Total Waves:  8
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)
-----
```

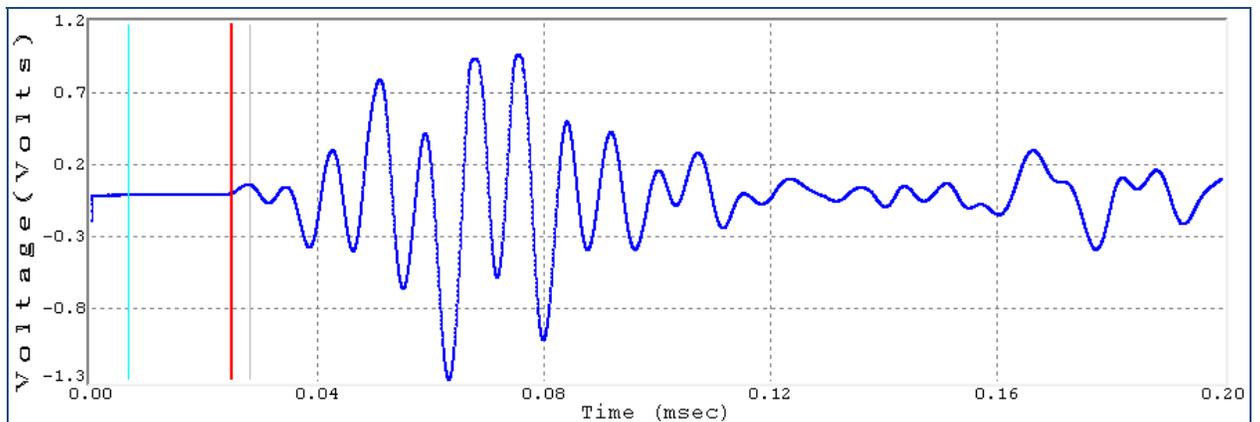
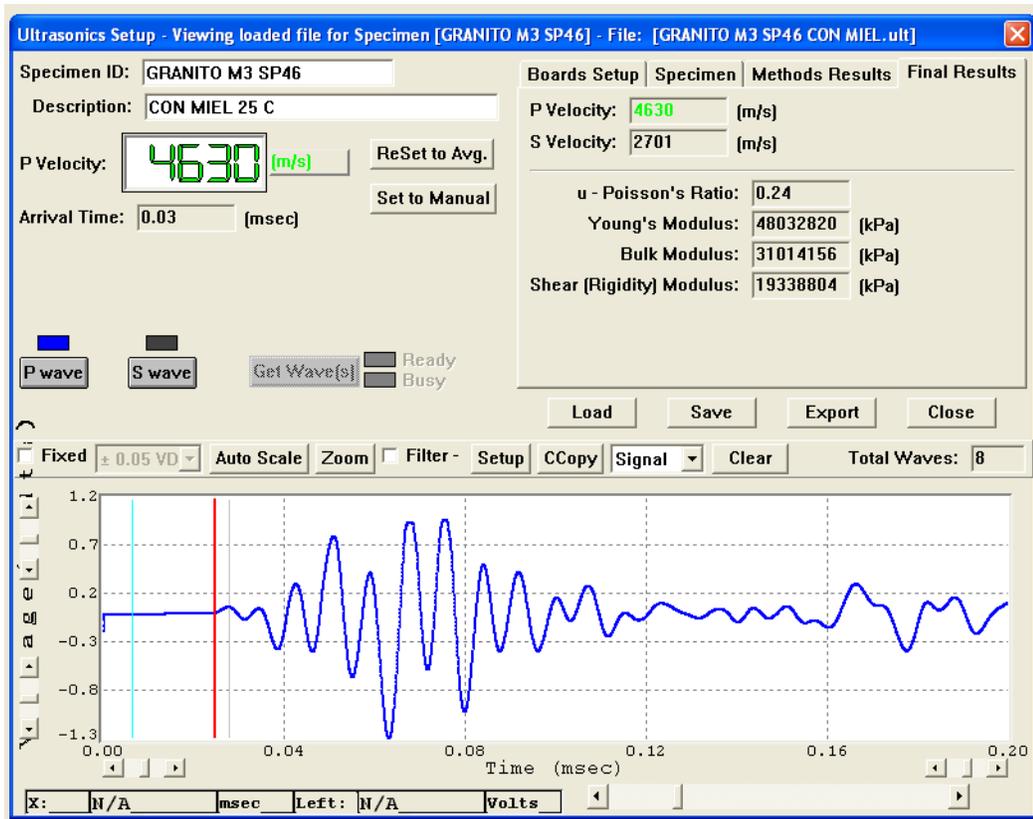
```
1 - Absolute Threshold: 0.00  0
2 - Relative Threshold: 0.00  0
3 - Rel. of First Peak:  0.00  0
4 - First Peak Time:    0.00  0
5 - Tang. of First Peak: 0.00  0
-----
```

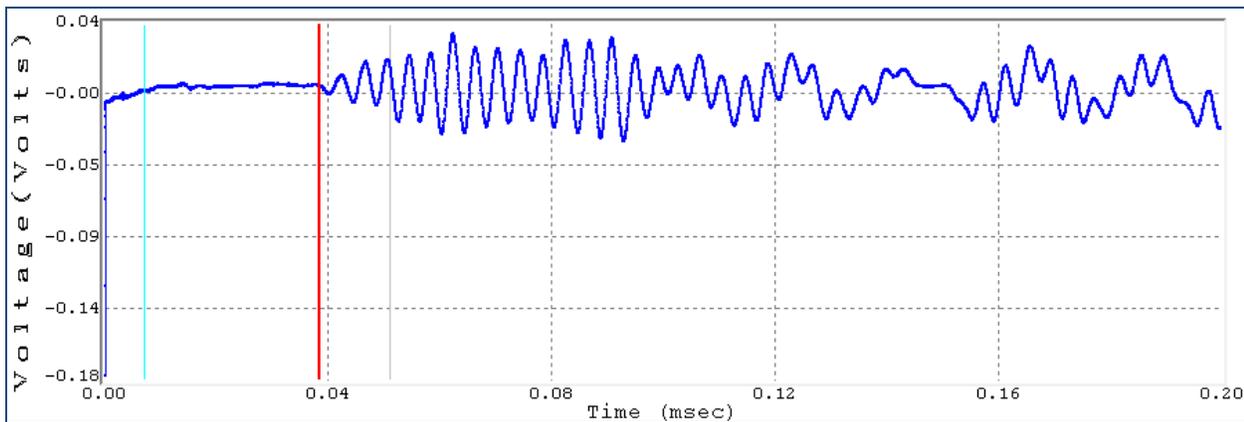
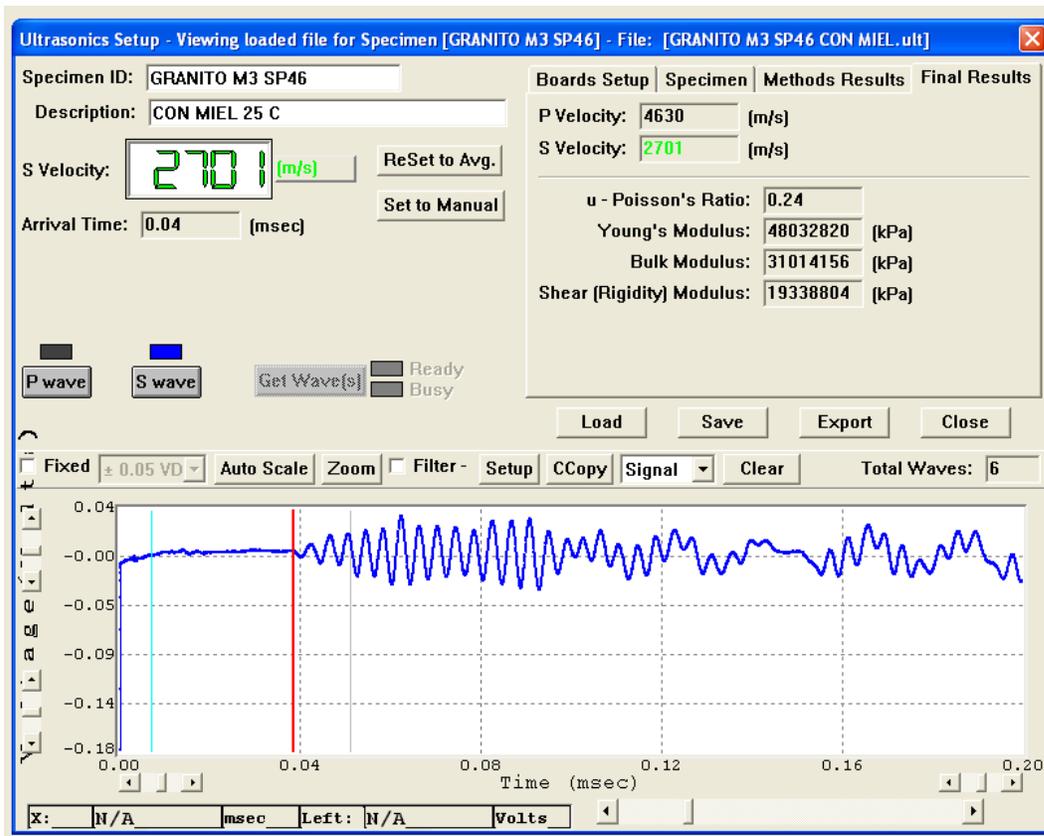
```
Average      0.00  0
-----
```

```
Typical 0.05 - 0.05      1930 - 1930
-----
```

```
Results:      0.04  2701
-----
```

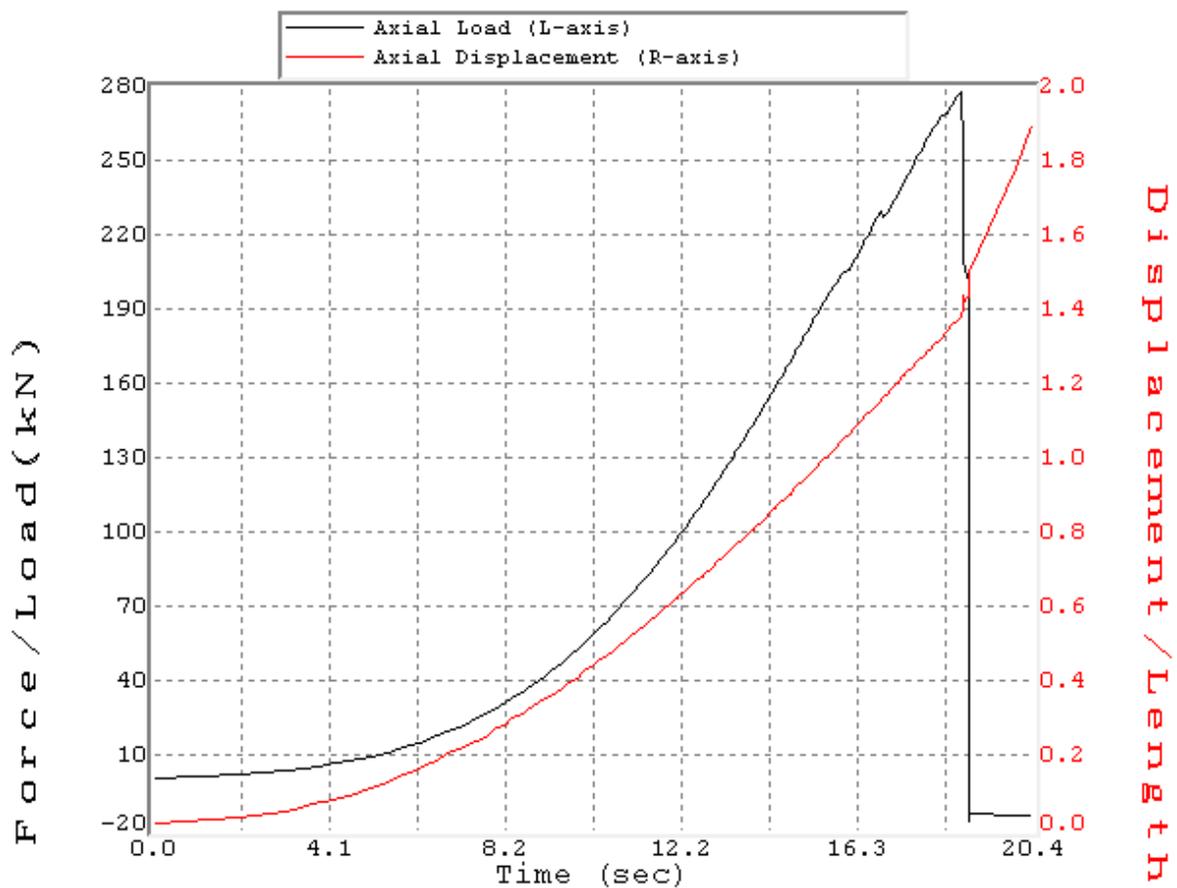
```
Sampling Period:      0.00  (msec)
Total Waves:  6
Data Points (Rows):  4096
```



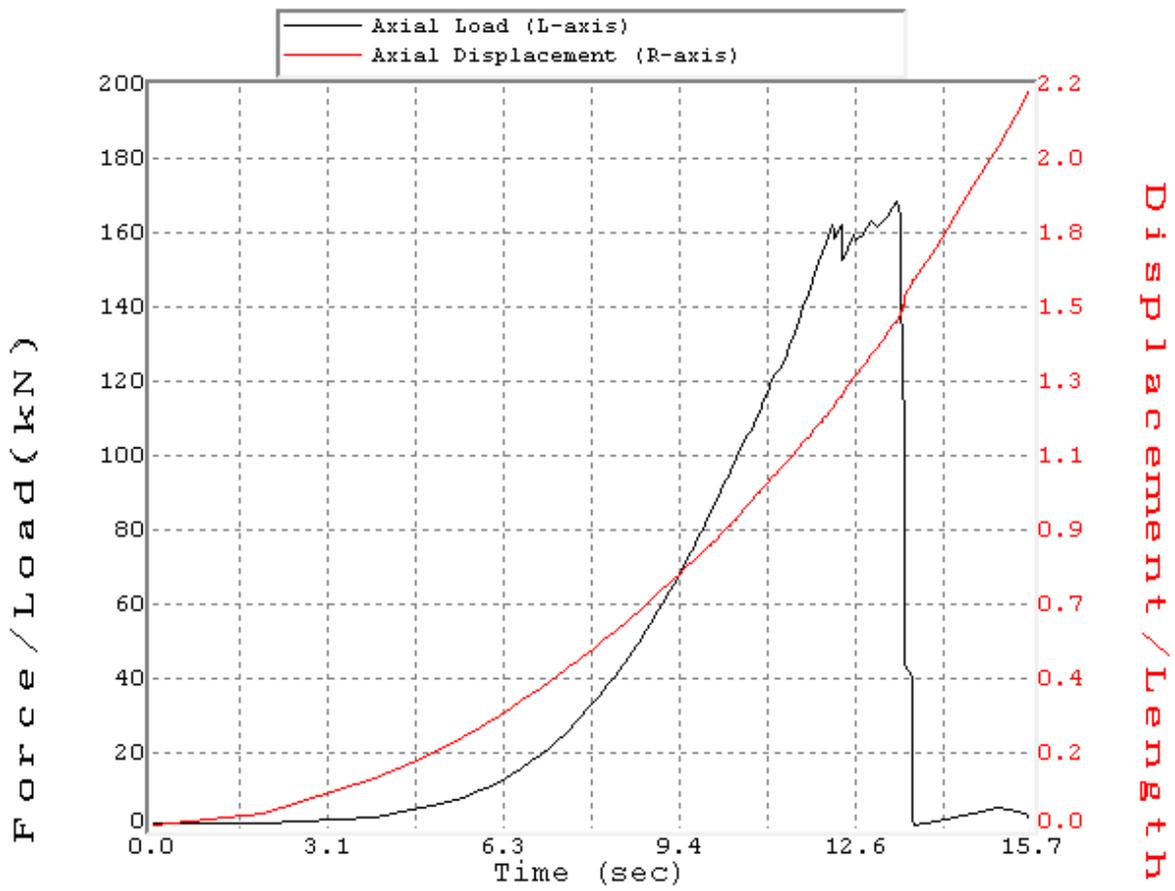


## 11.2. ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

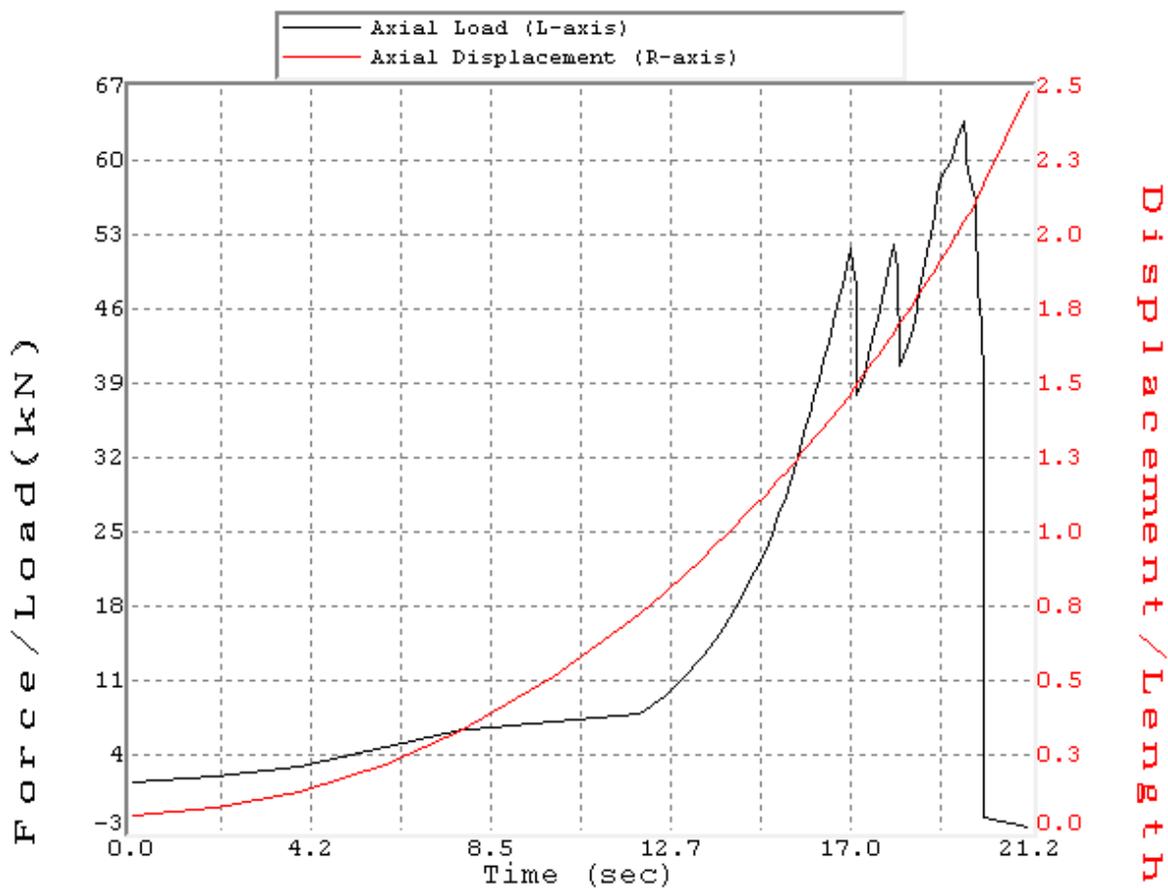
Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
Project: TESIS CAICARA  
Customer: \_LUIS PEREZ  
Sample: **SP43**  
Test: Triaxial  
Specimen: M12-1  
Number: 2  
Description: COMPRESION SIMPLE  
Container ID: -  
Type: Rock Medium  
Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
Moist Mass of Specimen: 440 (gr)  
Moist Density: 2871.6 (kg/m<sup>3</sup>)  
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: 13:00:02  
Test Results: Stopped by User  
Stages: 1  
Stage Index: 1  
Type: Static Loading  
Specimen:  
Height: 87.200 (mm)  
Axial Gauge Length: 87.200 (mm)  
Diameter: 47.300 (mm)  
Area: 17.572 cm<sup>2</sup>  
Volume: 153.225 cm<sup>3</sup>  
Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 158991 (kPa)  
Time: 18.7594 (Seconds)  
CP - Cell Pressure: 0 (kPa)  
Uw - Pore Water Pressure: -7 (kPa)  
Ea - Axial Strain: 1.594 (%)  
Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
Ev - Volumetric Strain: 1.594 (%)  
Sa - Axial Stress: 158991 (kPa)  
Sa' - Axial Effective Stress: 158998 (kPa)  
Sc' - Cell Effective Pressure: 7 (kPa)  
End (Residual) Sd - Deviator Stress: -7490 (kPa)  
Time: 20.4465 (Seconds)  
CP - Cell Pressure: 7 (kPa)  
Uw - Pore Water Pressure: -7 (kPa)  
Ea - Axial Strain: 2.182 (%)  
Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
Ev - Volumetric Strain: 2.182 (%)  
Sa - Axial Stress: -7484 (kPa)  
Sa' - Axial Effective Stress: -7477 (kPa)  
Sc' - Cell Effective Pressure: 13 (kPa)  
Data Points (Rows): 216



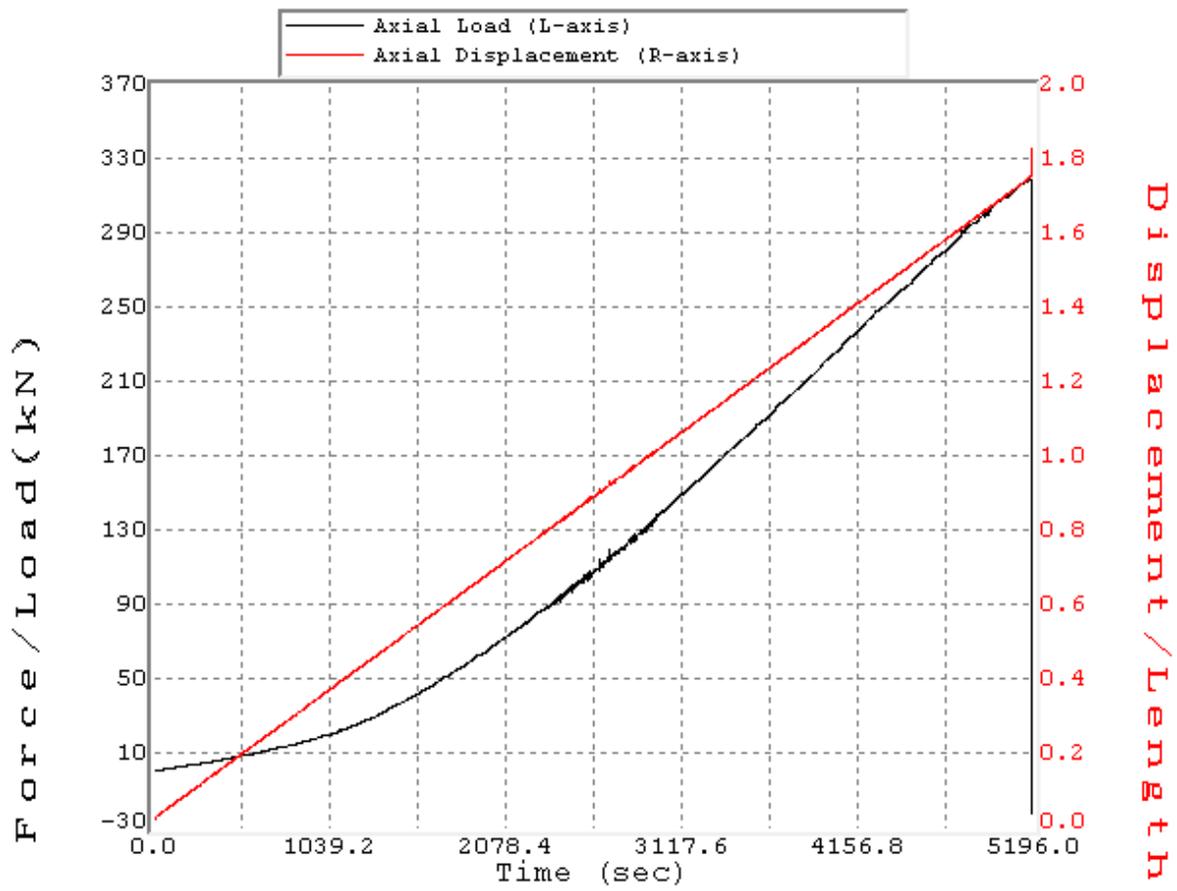
Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: **SP43**  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M12  
 Number: 1  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock Hard  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 430 (gr)  
 Moist Density: 2824.72 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 12:06:39  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 87.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 87.000 (mm)  
         Diameter: 47.200 (mm)  
         Area: 17.497 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 152.228 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 96906 (kPa)  
         Time: 13.3066 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 7 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -13 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 1.729 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 1.729 (%)  
         Sa - Axial Stress: 96913 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 96926 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 20 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: 463 (kPa)  
         Time: 15.7144 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 7 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -13 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 2.526 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 2.526 (%)  
         Sa - Axial Stress: 469 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 483 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 20 (kPa)  
 Data Points (Rows): 176



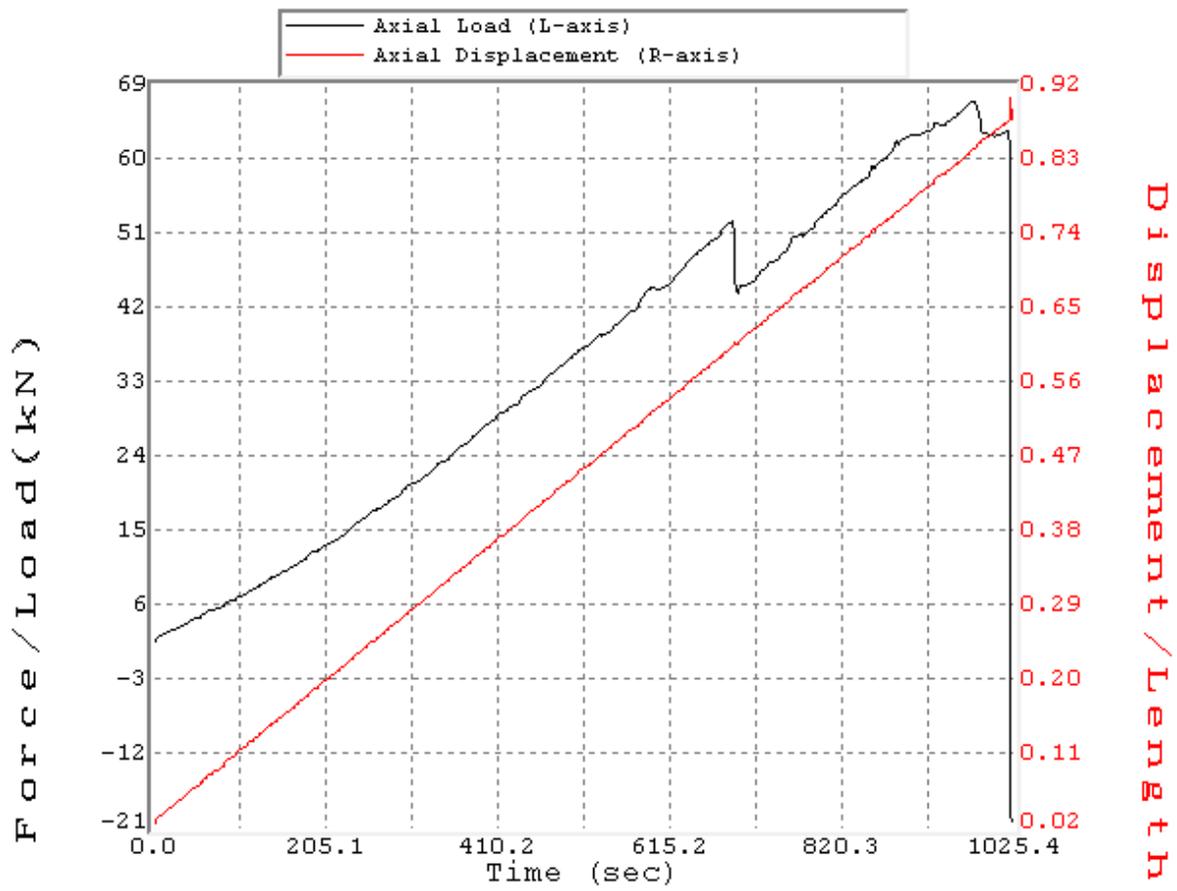
Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP44  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M11  
 Number: 1  
 Description: Compresión Simple  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)  
 Diametral Membrane Thickness: 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: 10:16:34  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 88.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 47.100 (mm)  
         Diameter: 47.100 (mm)  
         Area: 17.423 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 153.326 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 36798 (kPa)  
         Time: 19.7043 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 7 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: 13 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 0.000 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 0.000 (%)  
         Sa - Axial Stress: 36804 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 36791 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: -7 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: -1524 (kPa)  
         Time: 21.1995 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 20 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: 20 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 0.000 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 0.000 (%)  
         Sa - Axial Stress: -1505 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: -1525 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: -0 (kPa)  
 Data Points (Rows): 94  
 SP44- M11



Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP44  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 10  
 Number: 4  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock Hard  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 400 (gr)  
 Moist Density: 2650.06 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 15:39:28  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 87.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 87.000 (mm)  
         Diameter: 47.000 (mm)  
         Area: 17.349 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 150.94 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 184623 (kPa)  
     Time: 5181.48 (Seconds) => 01:26:21  
     CP - Cell Pressure: 46 (kPa)  
     Uw - Pore Water Pressure: 202 (kPa)  
     Ea - Axial Strain: 2.020 (%)  
     Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
     Ev - Volumetric Strain: 2.020 (%)  
     Sa - Axial Stress: 184669 (kPa)  
     Sa' - Axial Effective Stress: 184467 (kPa)  
     Sc' - Cell Effective Pressure: -156 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: -9451 (kPa)  
     Time: 5195.98 (Seconds) => 01:26:35  
     CP - Cell Pressure: 39 (kPa)  
     Uw - Pore Water Pressure: 202 (kPa)  
     Ea - Axial Strain: 2.029 (%)  
     Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
     Ev - Volumetric Strain: 2.029 (%)  
     Sa - Axial Stress: -9412 (kPa)  
     Sa' - Axial Effective Stress: -9613 (kPa)  
     Sc' - Cell Effective Pressure: -162 (kPa)  
 Data Points (Rows): 2719

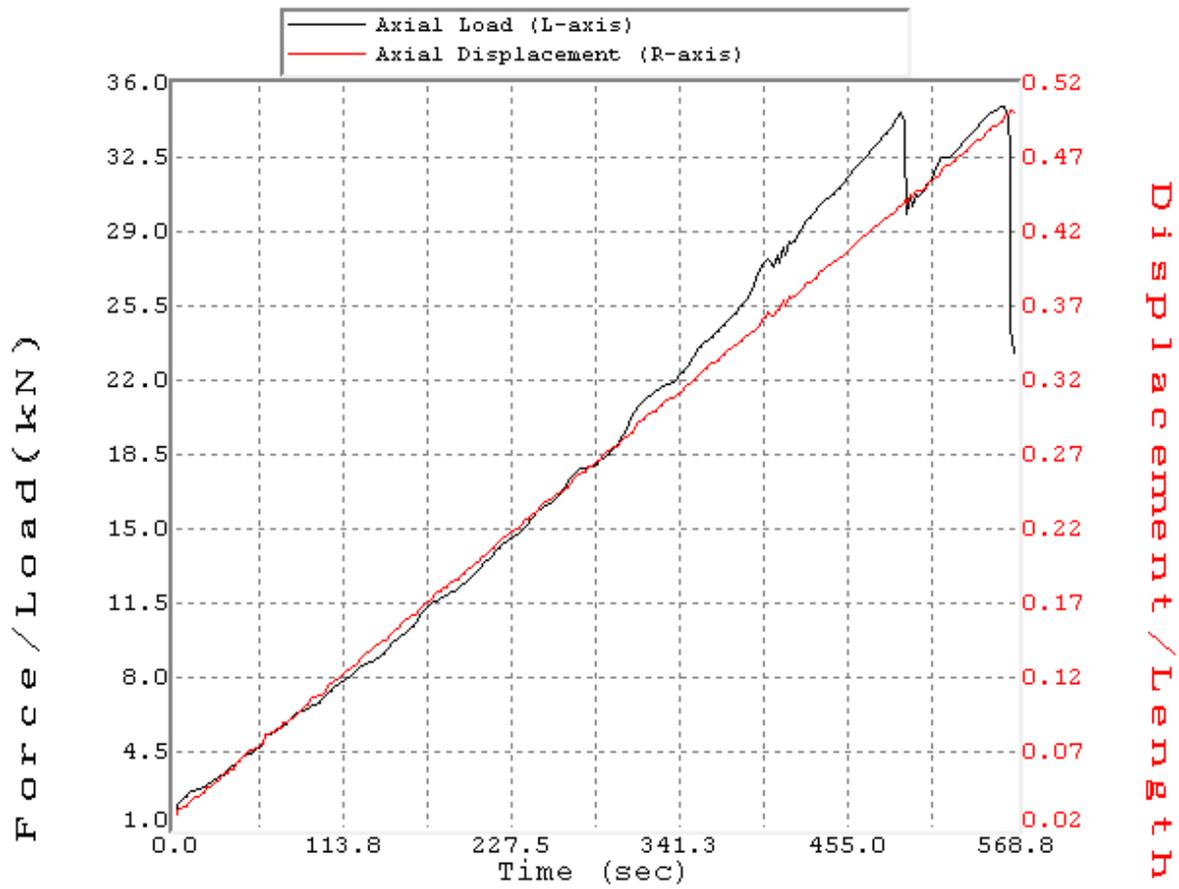


Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP44  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M11 - 11  
 Number: 6  
 Description: #11  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 550 (gr)  
 Moist Density: 3507.43 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 08/03/11  
 Starting Time: 14:17:58  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 90.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 90.000 (mm)  
         Diameter: 47.100 (mm)  
         Area: 17.423 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 156.81 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 38586 (kPa)  
     Time: 978.11 (Seconds) => 16:18  
     CP - Cell Pressure: 46 (kPa)  
     Uw - Pore Water Pressure: -7 (kPa)  
     Ea - Axial Strain: 0.937 (%)  
     Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
     Ev - Volumetric Strain: 0.937 (%)  
     Sa - Axial Stress: 38632 (kPa)  
     Sa' - Axial Effective Stress: 38639 (kPa)  
     Sc' - Cell Effective Pressure: 53 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: -11637 (kPa)  
     Time: 1025.38 (Seconds) => 17:05  
     CP - Cell Pressure: 53 (kPa)  
     Uw - Pore Water Pressure: 0 (kPa)  
     Ea - Axial Strain: 0.979 (%)  
     Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
     Ev - Volumetric Strain: 0.979 (%)  
     Sa - Axial Stress: -11584 (kPa)  
     Sa' - Axial Effective Stress: -11584 (kPa)  
     Sc' - Cell Effective Pressure: 53 (kPa)  
 Data Points (Rows): 533



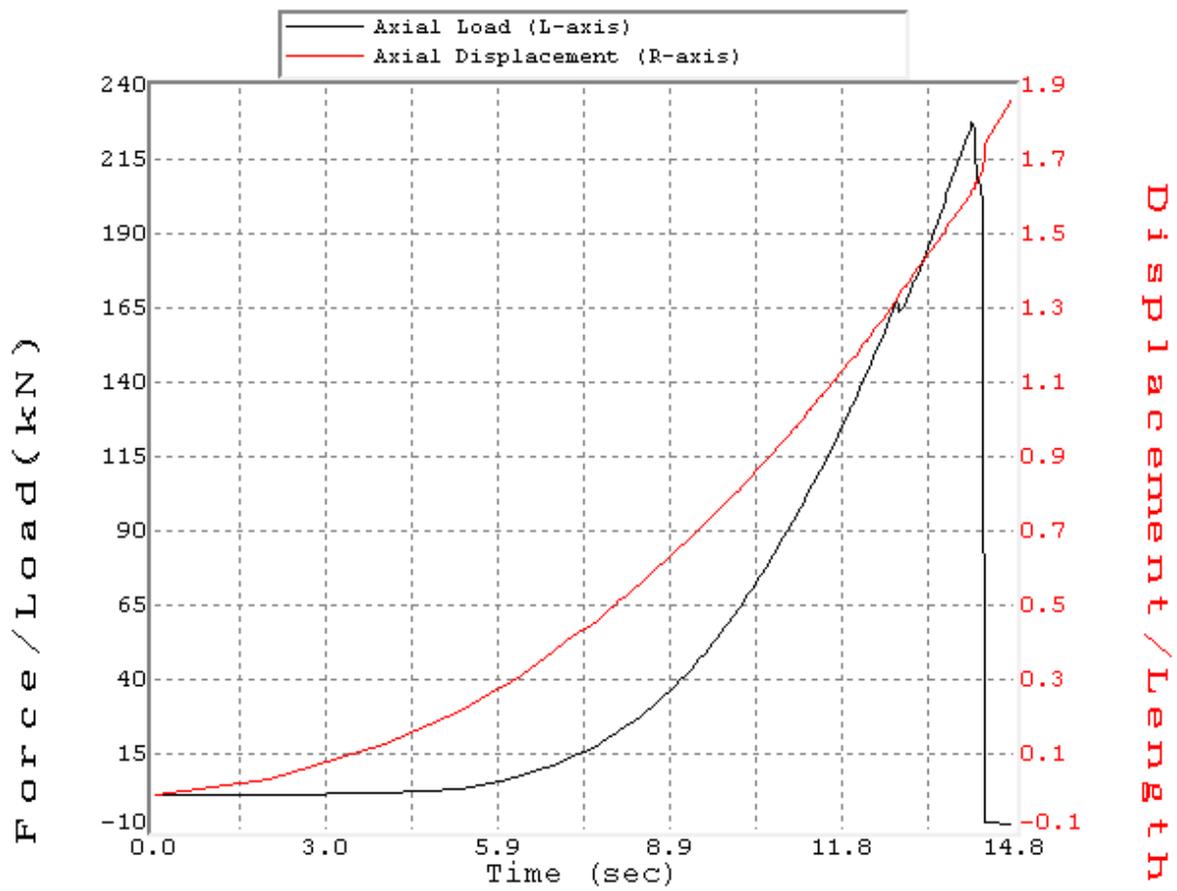
Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP44  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M13  
 Number: 5  
 Description: #12  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 0.41 (gr)  
 Moist Density: 2.71631 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 08/03/11  
 Starting Time: 14:01:40  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 87.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 87.000 (mm)  
         Diameter: 47.000 (mm)  
         Area: 17.349 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 150.94 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 20155 (kPa)  
         Time: 560.143 (Seconds) => 09:20  
         CP - Cell Pressure: 53 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: 0 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 0.572 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 0.572 (%)  
         Sa - Axial Stress: 20207 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 20207 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 53 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: 13554 (kPa)  
         Time: 568.78 (Seconds) => 09:28  
         CP - Cell Pressure: 53 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: 7 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 0.578 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 0.578 (%)  
         Sa - Axial Stress: 13607 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 13600 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 46 (kPa)

Data Points (Rows): 293



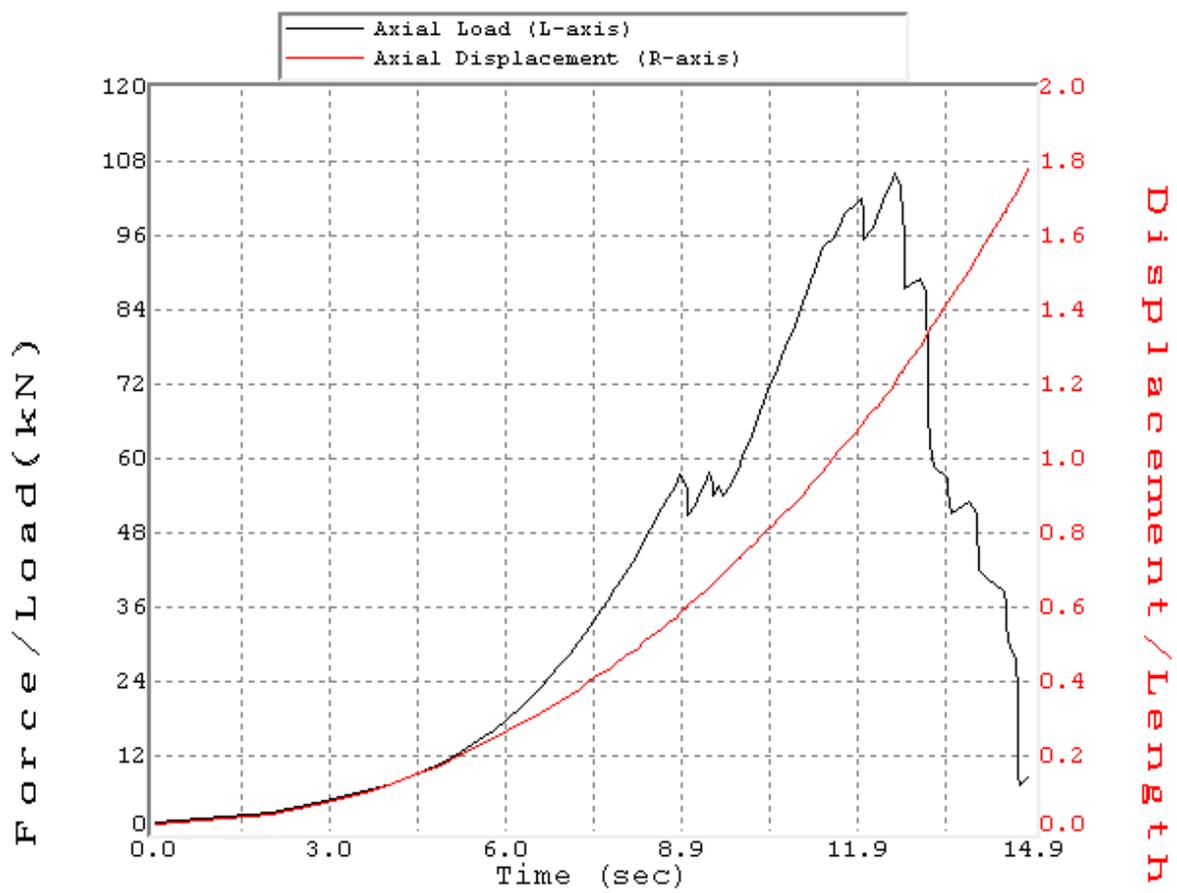
Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP44  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M12  
 Number: 2  
 Description: COMPRESION SIMPLE  
 Container ID: \_  
 Type: Rock Medium  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 430 (gr)  
 Moist Density: 2836.73 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 11:55:28  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 87.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 87.000 (mm)  
         Diameter: 47.100 (mm)  
         Area: 17.423 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 151.583 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 131793 (kPa)  
         Time: 14.1226 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 0 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -13 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 1.872 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 1.872 (%)  
         Sa - Axial Stress: 131793 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 131807 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 13 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: -4355 (kPa)  
         Time: 14.8071 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 13 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -13 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 2.155 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 2.155 (%)  
         Sa - Axial Stress: -4342 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: -4329 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 27 (kPa)

Data Points (Rows): 170



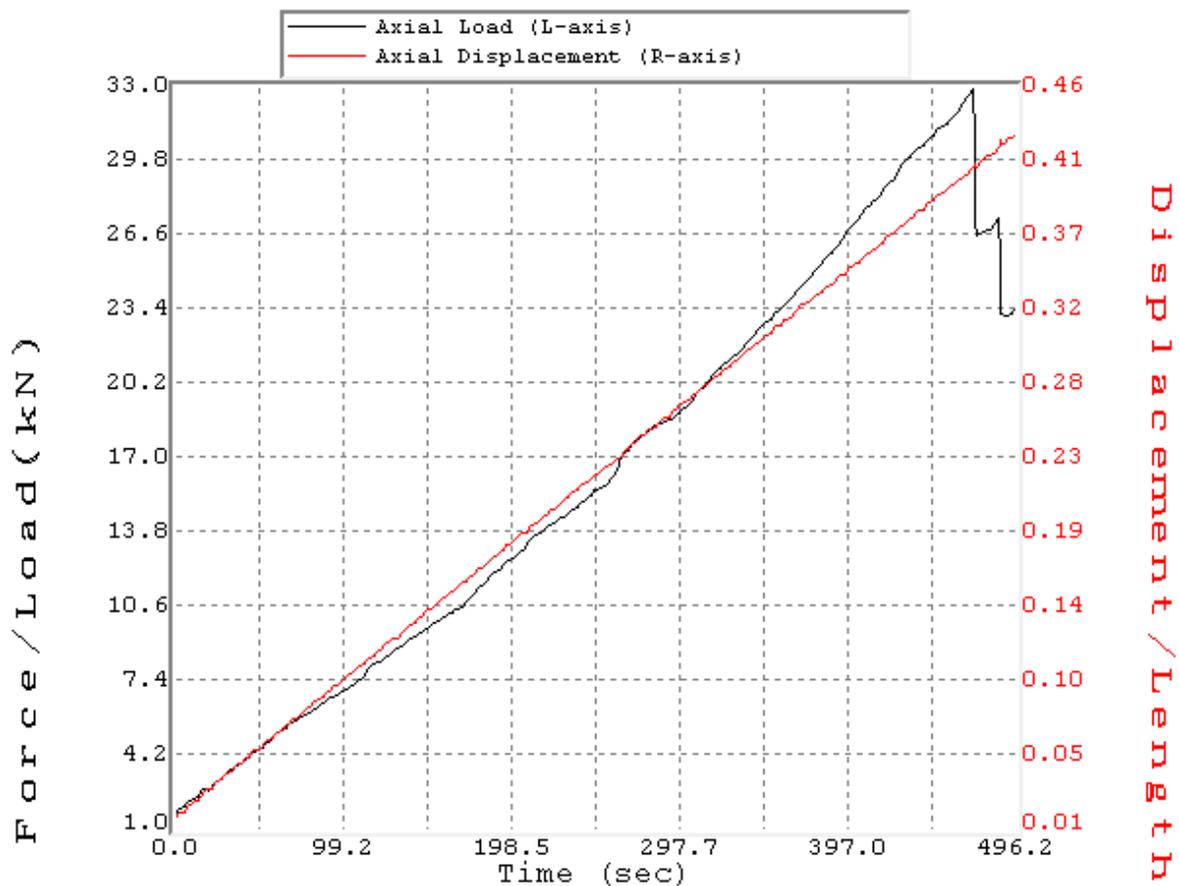
Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP44  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M12-1  
 Number: 3  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 410 (gr)  
 Moist Density: 2701.68 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 14:57:14  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 87.100 (mm)  
         Axial Gauge Length: 87.100 (mm)  
         Diameter: 47.100 (mm)  
         Area: 17.423 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 151.757 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 61528 (kPa)  
         Time: 12.5967 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 13 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -40 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 1.396 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 1.396 (%)  
         Sa - Axial Stress: 61541 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 61582 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 53 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: 4917 (kPa)  
         Time: 14.8618 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 20 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -40 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 2.060 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 2.060 (%)  
         Sa - Axial Stress: 4936 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 4977 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 60 (kPa)

Data Points (Rows): 135

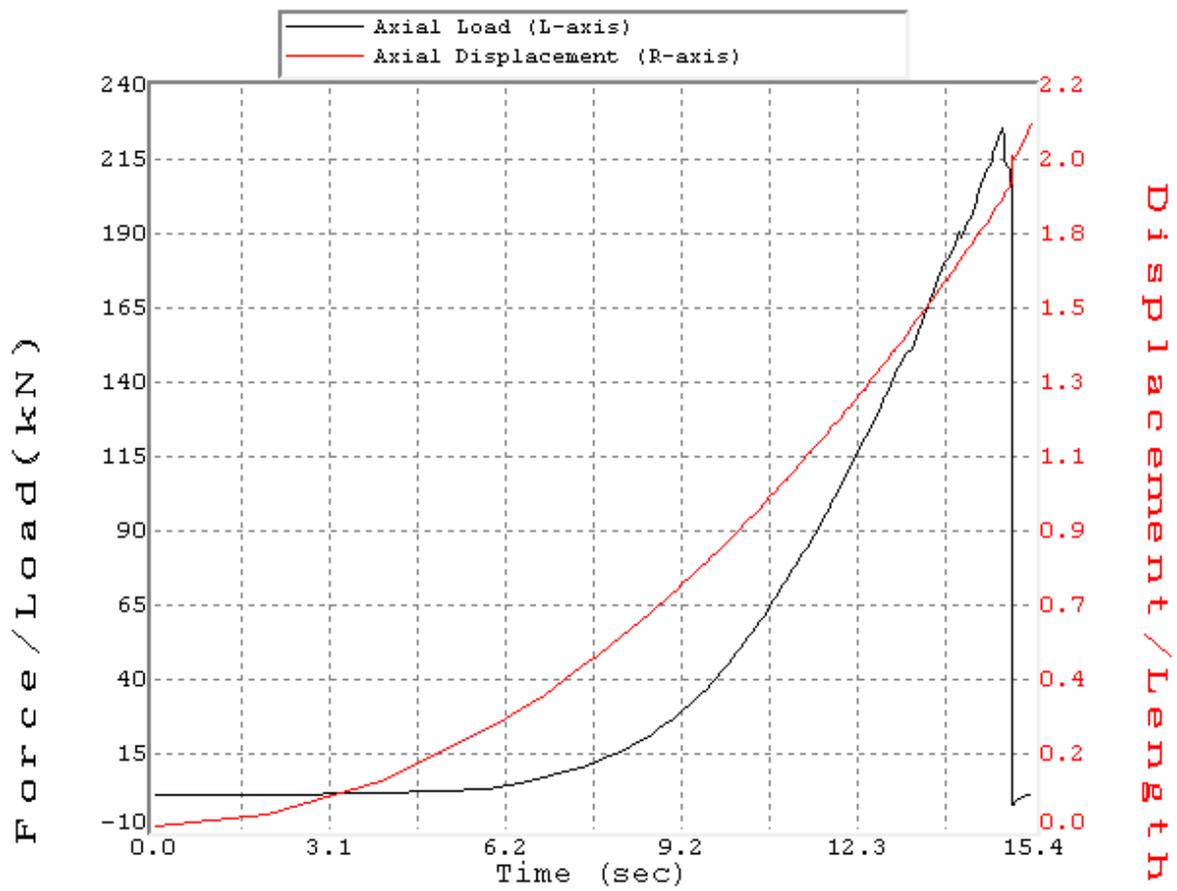


Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP45  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M11  
 Number: 1  
 Description: #14  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 430 (gr)  
 Moist Density: 2848.81 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 08/03/11  
 Starting Time: 15:07:33  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 87.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 87.000 (mm)  
         Diameter: 47.000 (mm)  
         Area: 17.349 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 150.94 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 19071 (kPa)  
         Time: 472.066 (Seconds) => 07:52  
         CP - Cell Pressure: -7 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: 7 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 0.472 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 0.472 (%)  
         Sa - Axial Stress: 19065 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 19058 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: -13 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: 13544 (kPa)  
         Time: 496.195 (Seconds) => 08:16  
         CP - Cell Pressure: 0 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: 13 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 0.496 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 0.496 (%)  
         Sa - Axial Stress: 13544 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 13531 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: -13 (kPa)

Data Points (Rows): 255

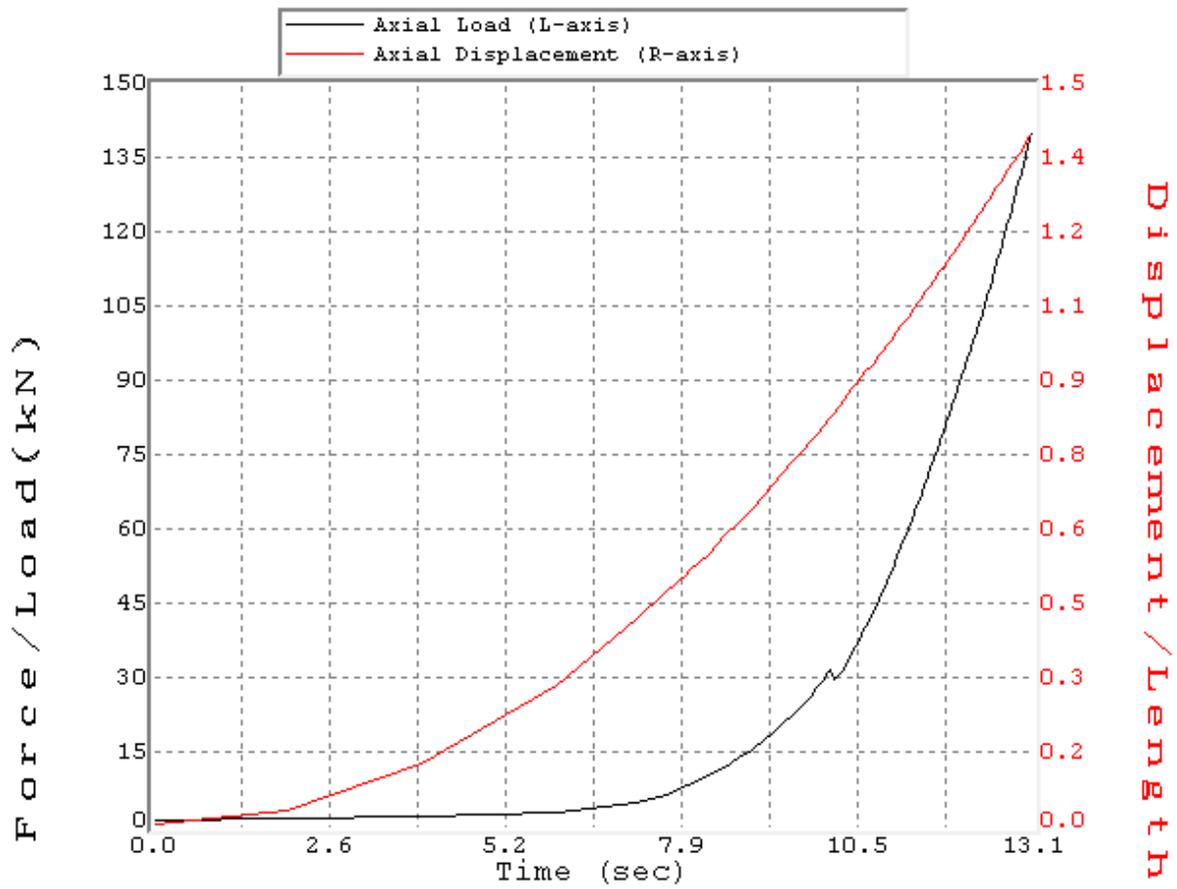


Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP45-M13  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M11  
 Number: 7  
 Description: COMPRESION SIMPLE  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 420 (gr)  
 Moist Density: 2733.89 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 11:48:08  
 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: 47.200 (mm)  
         Area: 17.497 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 153.627 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 130467 (kPa)  
         Time: 14.9112 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 7 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -7 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 2.139 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 2.139 (%)  
         Sa - Axial Stress: 130474 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 130481 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 13 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: 1266 (kPa)  
         Time: 15.4437 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 13 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -7 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 2.393 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 2.393 (%)  
         Sa - Axial Stress: 1279 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 1285 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 20 (kPa)  
 Data Points (Rows): 162



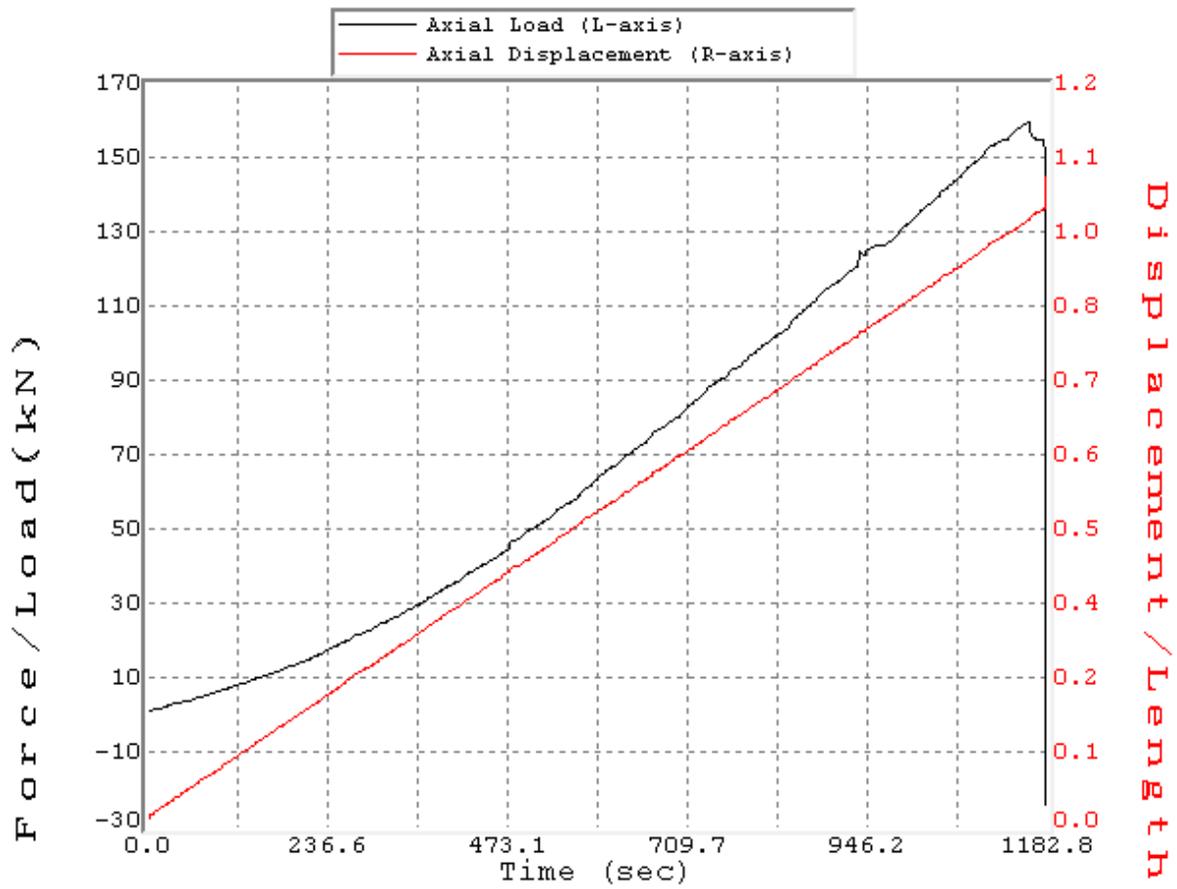
Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP45-M13  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M12  
 Number: 6  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 420 (gr)  
 Moist Density: 2770.76 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 11:35:45  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 87.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 87.000 (mm)  
         Diameter: 47.100 (mm)  
         Area: 17.423 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 151.583 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 80773 (kPa)  
         Time: 13.074 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 13 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -7 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 1.613 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 1.613 (%)  
         Sa - Axial Stress: 80786 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 80793 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 20 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: 80773 (kPa)  
         Time: 13.074 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 13 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -7 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 1.613 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 1.613 (%)  
         Sa - Axial Stress: 80786 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 80793 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 20 (kPa)

Data Points (Rows): 86



Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_LUIS PEREZ  
 Sample: SP45-M13  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M13 - 2  
 Number: 8  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 410 (gr)  
 Moist Density: 2716.31 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 08/03/11  
 Starting Time: 14:41:28  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 87.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 87.000 (mm)  
         Diameter: 47.000 (mm)  
         Area: 17.349 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 150.94 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 92557 (kPa)  
     Time: 1160.06 (Seconds) => 19:20  
     CP - Cell Pressure: -13 (kPa)  
     Uw - Pore Water Pressure: 0 (kPa)  
     Ea - Axial Strain: 1.132 (%)  
     Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
     Ev - Volumetric Strain: 1.132 (%)  
     Sa - Axial Stress: 92544 (kPa)  
     Sa' - Axial Effective Stress: 92544 (kPa)  
     Sc' - Cell Effective Pressure: -13 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: -12004 (kPa)  
     Time: 1182.81 (Seconds) => 19:42  
     CP - Cell Pressure: -7 (kPa)  
     Uw - Pore Water Pressure: 0 (kPa)  
     Ea - Axial Strain: 1.148 (%)  
     Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
     Ev - Volumetric Strain: 1.148 (%)  
     Sa - Axial Stress: -12011 (kPa)  
     Sa' - Axial Effective Stress: -12011 (kPa)  
     Sc' - Cell Effective Pressure: -7 (kPa)

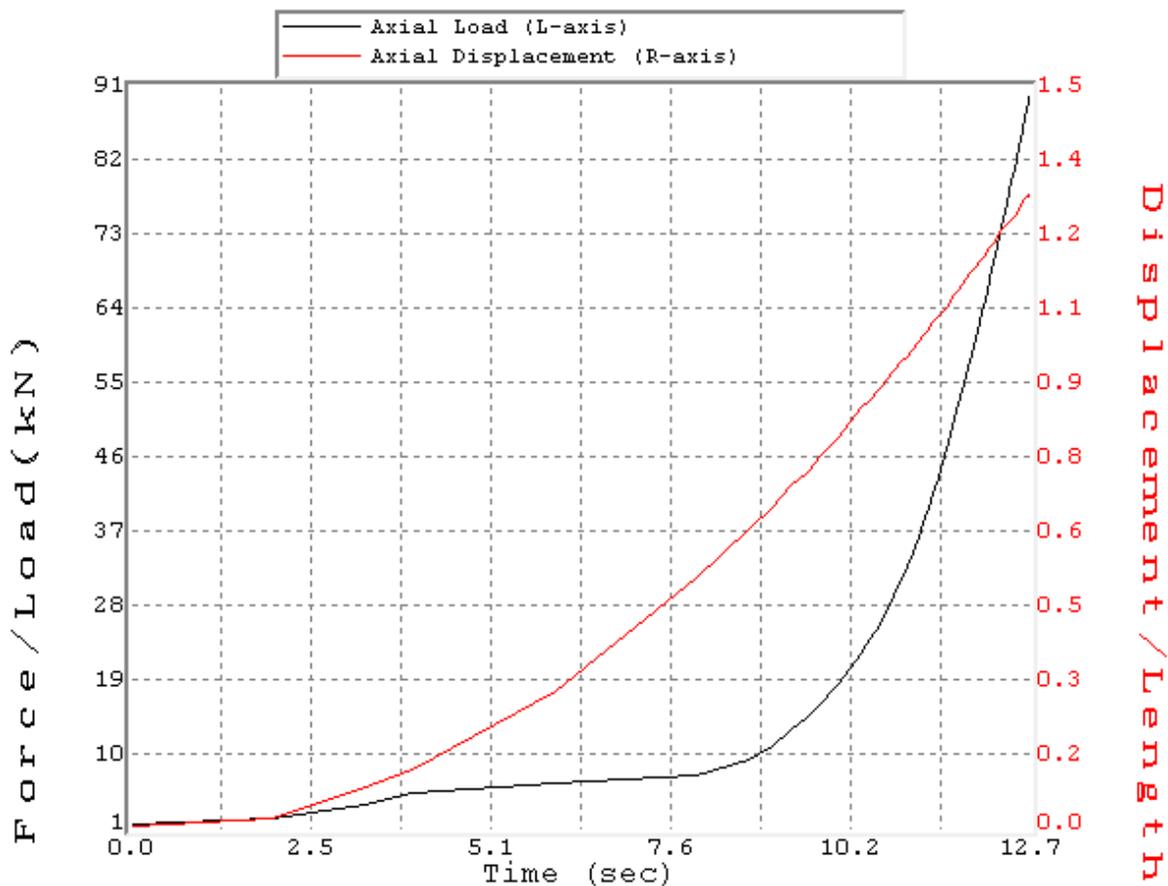
Data Points (Rows): 618



Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Sample: SP45-M13  
 Test: Triaxial  
 Specimen: M13  
 Number: 5  
 Description: RECARGA CAMBIANDO EL LIMITE DE DESPLAZAMIENTO MAXIMO  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 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: 10:02:50  
 Test Results: Completed - Input Limit Duration reached  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 87.700 (mm)  
         Axial Gauge Length: 87.700 (mm)  
         Diameter: 47.100 (mm)  
         Area: 17.423 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 152.803 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 51.897 (MPa)  
         Time: 12.6978 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 0.020 (MPa)  
         U - Pore Pressure: 0.034 (MPa)  
         Ea - Axial Strain: 1.469 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 1.469 (%)  
         Sa - Axial Stress: 51.917 (MPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 51.883 (MPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: -0.014 (MPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: 51.897 (MPa)  
         Time: 12.6978 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 0.020 (MPa)  
         U - Pore Pressure: 0.034 (MPa)  
         Ea - Axial Strain: 1.469 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 1.469 (%)  
         Sa - Axial Stress: 51.917 (MPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 51.883 (MPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: -0.014 (MPa)

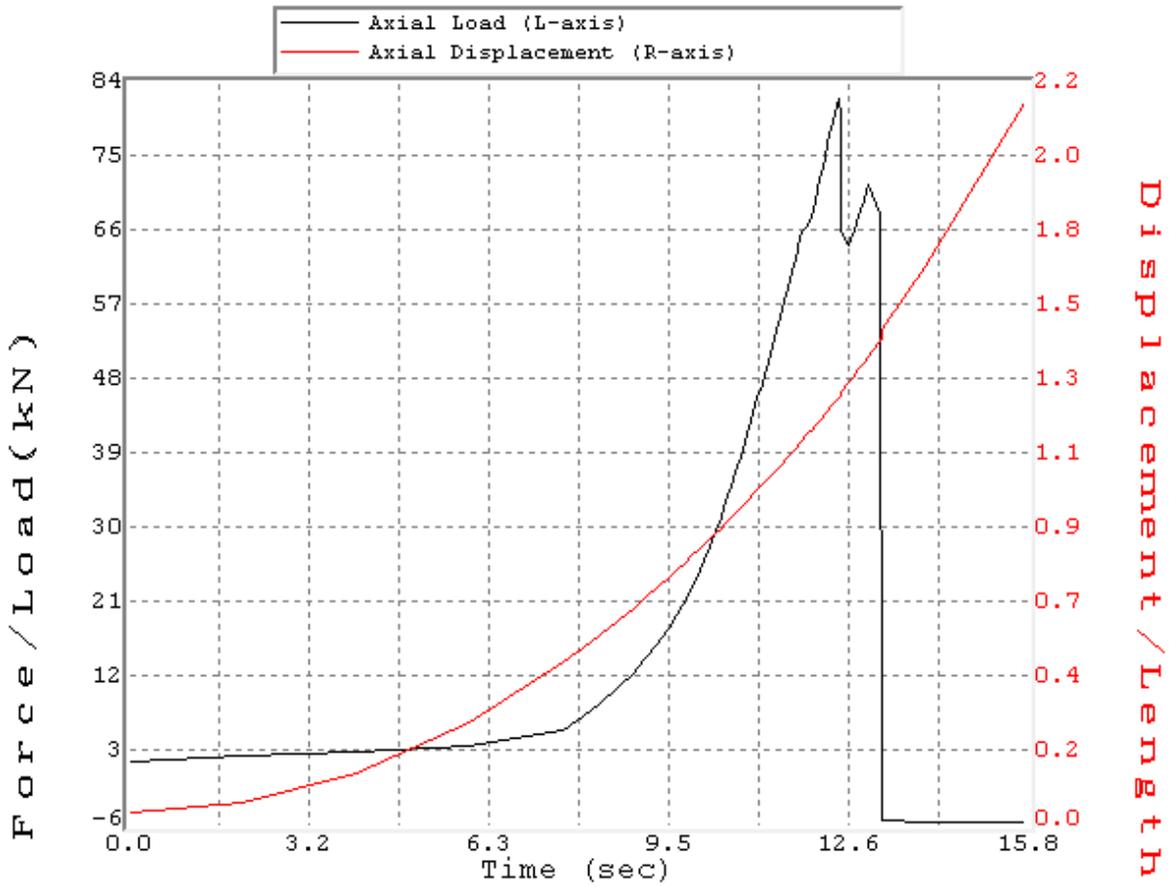
Data Points (Rows): 54

SP45-M13 – m13



Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_ODRA BERNAL  
 Sample: SP46-M13  
 Test: Triaxial  
 Specimen: m13  
 Number: 4  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock Medium  
 Triaxial Specimen Initial (before Test) Mass Information:  
 Moist Mass of Specimen: 420 (gr)  
 Moist Density: 2812.02 (kg/m<sup>3</sup>)  
 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: 11:04:07  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Static Loading  
     Specimen:  
         Height: 85.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 47.300 (mm)  
         Diameter: 47.300 (mm)  
         Area: 17.572 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 149.359 cm<sup>3</sup>  
     Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 46958 (kPa)  
         Time: 12.4945 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 13 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: -7 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 0.000 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 0.000 (%)  
         Sa - Axial Stress: 46971 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: 46978 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 20 (kPa)  
     End (Residual) Sd - Deviator Stress: -3328 (kPa)  
         Time: 15.7594 (Seconds)  
         CP - Cell Pressure: 13 (kPa)  
         Uw - Pore Water Pressure: 0 (kPa)  
         Ea - Axial Strain: 0.000 (%)  
         Er - Radial Strain: 0.000 (%)  
         Ev - Volumetric Strain: 0.000 (%)  
         Sa - Axial Stress: -3315 (kPa)  
         Sa' - Axial Effective Stress: -3315 (kPa)  
         Sc' - Cell Effective Pressure: 13 (kPa)

Data Points (Rows): 78

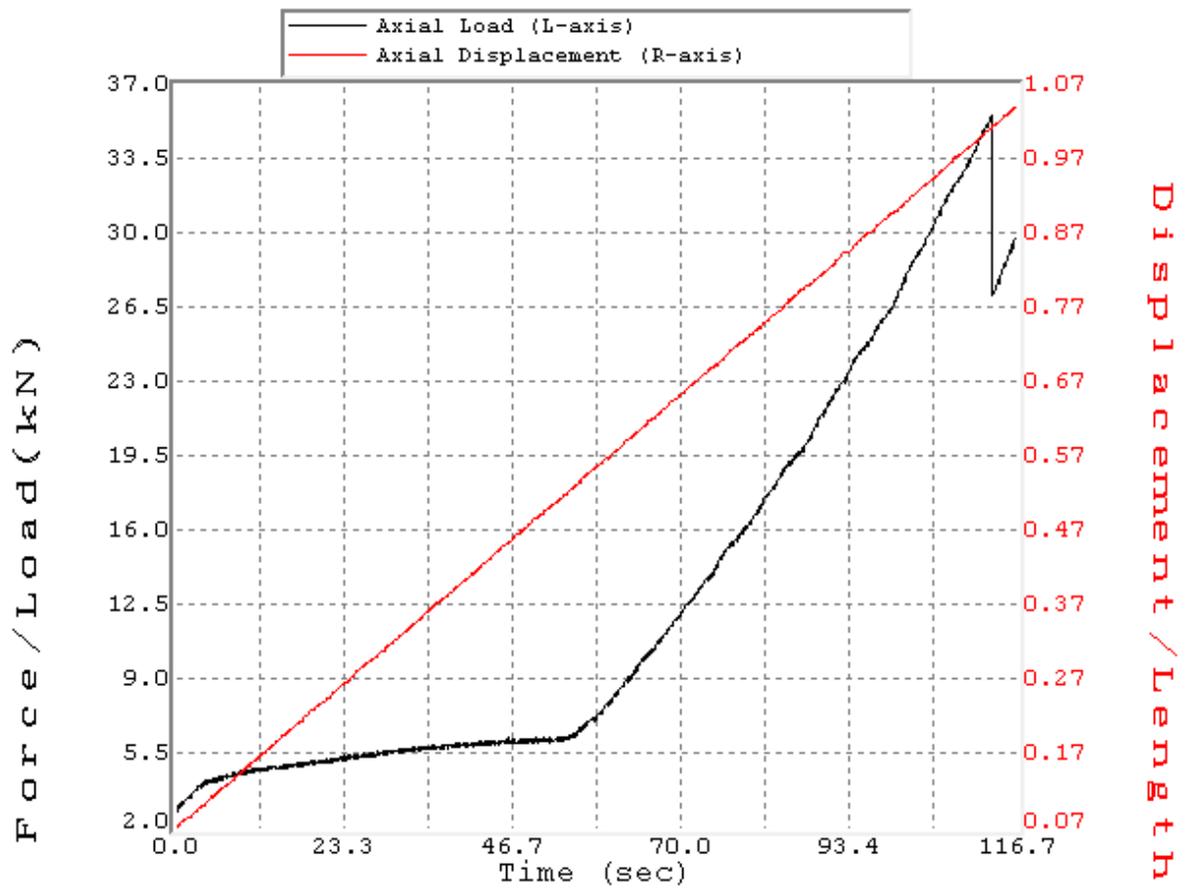


### 11.3. ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA (BRASILERO)

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Sample: SP43-M11  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 4  
 Number: 1  
 Description: -  
 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: 05/30/11  
 Starting Time: 17:02:10  
 Controller ID: 1577 SCON-2000  
 Triaxial Setup  
     Stages: 1  
     1: Universal:  
     Description: \_dcd

Phases: 1  
 Phase: 1 - Phase 1  
 Duration:  
     Timed: 10 (Minute(s))  
     Input Limit: NS  
     Until Output Completes NS  
 Data Acquisition  
     Timed Increments: 5 (Seconds)  
     Level Crossing: Selected  
     Peak/Valley: Selected  
         Master Input: AI-1: Axial Load  
         Sensitivity: 0.1 (kN)  
 Cycle Recording  
     Every Cycle  
 Data Saving  
 Data Buffer: Continuous  
 Defined Analog & Temperature Outputs:  
 0  
     Feedback AI-2: Axial Displacement  
     Waveform: Ramp  
         Initial Control Value Type: Relative  
         Target End Value: 10 (mm)  
         Rate: 0.5 (mm)/(Minute(s))  
         Duration: Continuous - Phase Duration  
 Master Output: 0  
 Digital Outputs Control: (none)  
 Times to Repeat Phase(s) above 0  
 Save Objects - Save @ each Recording:  
     Time  
     Cycles  
     Inputs: 8  
         AI-1: Axial Load  
         AI-2: Axial Displacement  
         AI-3: Cell Pressure  
         AI-5: Pore Pressure  
         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: Universal  
     Specimen:  
         Height: 135.000 (mm)  
         Axial Gauge Length: 50.000 (mm)  
         Diameter: 54.000 (mm)  
         Area: 22.902 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
         Phases: 1  
         Duration: 116.7 (sec) => 1.94 (min) => 01:56  
         Sd - Deviator Stress (MPa)  
             Max: 15.36  
             Min: 1.06  
             Range: 14.30  
             Initial: 1.06

End 12.86  
 Cell Pressure (MPa)  
     Max: 0.21  
     Min: 0.19  
     Range: 0.02  
     Initial: 0.20  
     End 0.20  
 Pore Pressure (MPa)  
     Max: 0.15  
     Min: 0.12  
     Range: 0.03  
     Initial: 0.14  
     End 0.13  
 Ea - Axial Strain (%)  
     Max: 0.0000  
     Min: 0.0000  
     Range: 0.0000  
     Initial: 0.0000  
     End 0.0000  
 Er - Radial Strain (%)  
     Max: 0.0000  
     Min: 0.0000  
     Range: 0.0000  
     Initial: 0.0000  
     End 0.0000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
     Max: 0.0000  
     Min: 0.0000  
     Range: 0.0000  
     Initial: 0.0000  
     End 0.0000  
 Axial Load (kN)  
     Max: 35.64  
     Min: 2.89  
     Range: 32.75  
     Initial: 2.89  
     End 29.91  
 Axial Displacement (mm)  
     Max: 1.04  
     Min: 0.07  
     Range: 0.97  
     Initial: 0.07  
     End 1.04  
 Data Points (Rows): 2100

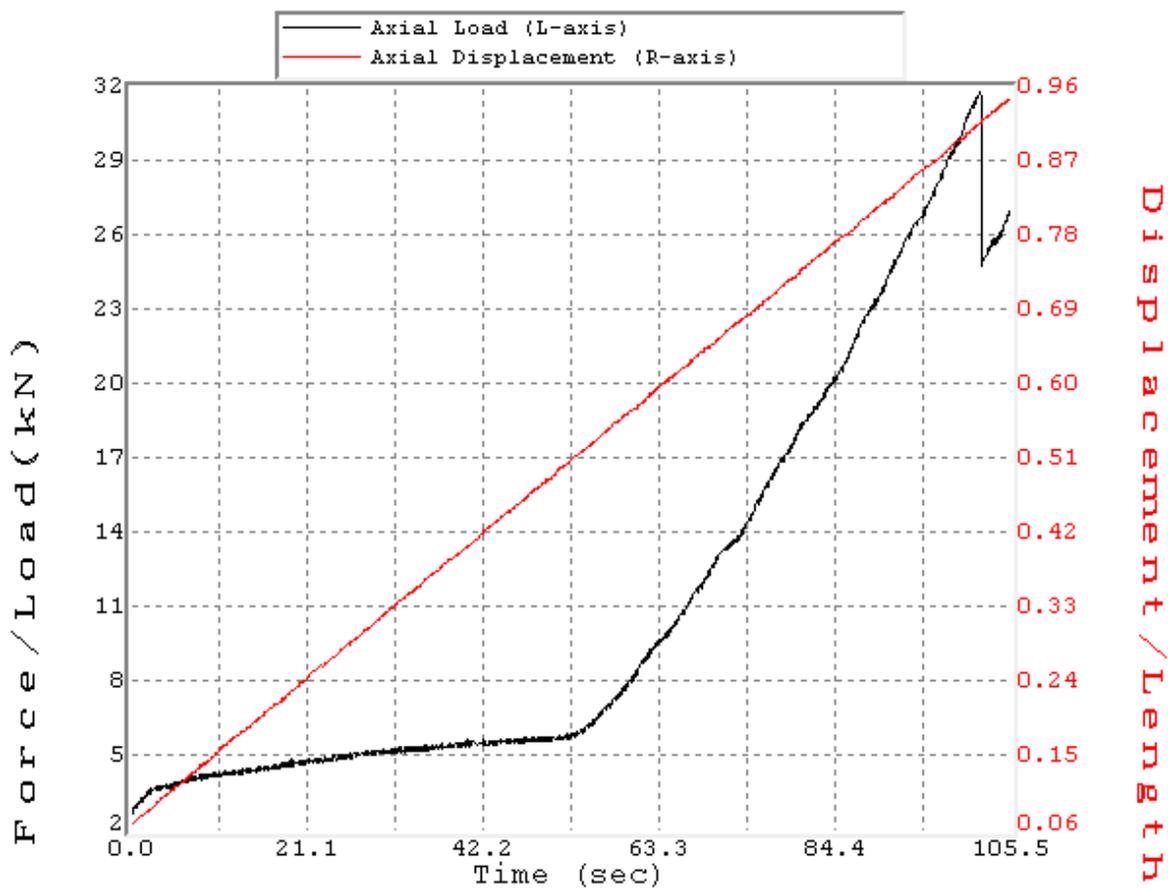




Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Sample: SP43-M11  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 5  
 Number: 2  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock Soft  
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)  
 Diametral Membrane Thickness: 0.000 (mm)  
 Mass of Initial Moist Apparatus: 0.000 (gr)  
 Mass of Final Moist Apparatus: 0.000 (gr)  
 Mass of Final Dry Apparatus: 0.000 (gr)  
 Starting Date: 05/30/11  
 Starting Time: 17:12:04  
 Controller ID: 1577 SCON-2000  
 Triaxial Setup  
     Stages: 1  
     1: Universal:  
         Description: \_dcd  
         Phases: 1  
         Phase: 1 - Phase 1  
             Duration:  
                 Timed: 10 (Minute(s))  
                 Input Limit: NS  
                 Until Output Completes NS  
             Data Acquisition  
                 Timed Increments: 5 (Seconds)  
                 Level Crossing: Selected  
                 Peak/Valley: Selected  
                 Master Input: AI-1: Axial Load  
                 Sensitivity: 0.1 (kN)  
             Cycle Recording  
                 Every Cycle  
             Data Saving  
                 Data Buffer: Continuous  
                 Defined Analog & Temperature Outputs:  
                 0  
                     Feedback AI-2: Axial Displacement  
                     Waveform: Ramp  
                         Initial Control Value Type: Relative  
                         Target End Value: 10 (mm)  
                         Rate: 0.5 (mm)/(Minute(s))  
                         Duration: Continuous - Phase Duration  
             Master Output: 0  
             Digital Outputs Control: (none)  
             Times to Repeat Phase(s) above 0  
             Save Objects - Save @ each Recording:  
                 Time  
                 Cycles  
             Inputs: 8  
                 AI-1: Axial Load  
                 AI-2: Axial Displacement  
                 AI-3: Cell Pressure  
                 AI-5: Pore Pressure  
                 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: Universal  
 Specimen:  
 Height: 135.000 (mm)  
 Axial Gauge Length: 50.000 (mm)  
 Diameter: 54.000 (mm)  
 Area: 22.902 cm<sup>2</sup>  
 Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
 Phases: 1  
 Duration: 105.5 (sec) => 1.76 (min) => 01:45  
 Sd - Deviator Stress (MPa)  
 Max: 13.72  
 Min: 1.00  
 Range: 12.72  
 Initial: 1.00  
 End: 11.60  
 Cell Pressure (MPa)  
 Max: 0.21  
 Min: 0.18  
 Range: 0.03  
 Initial: 0.20  
 End: 0.20  
 Pore Pressure (MPa)  
 Max: 0.14  
 Min: 0.11  
 Range: 0.03  
 Initial: 0.13  
 End: 0.12  
 Ea - Axial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Er - Radial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Axial Load (kN)  
 Max: 31.88  
 Min: 2.75  
 Range: 29.13  
 Initial: 2.75

End 27.03  
Axial Displacement (mm)  
Max: 0.95  
Min: 0.07  
Range: 0.88  
Initial: 0.07  
End 0.95  
Data Points (Rows): 2054





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

Project: TESIS CAICARA

Sample: SP43-M11

Test: Triaxial

Specimen: 6

Number: 3

Description: -

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: 05/30/11

Starting Time: 17:20:43

Controller ID: 1577 SCON-2000

Triaxial Setup

Stages: 1

1: Universal:

Description: \_dcd

Phases: 1

Phase: 1 - Phase 1

Duration:

Timed: 10 (Minute(s))

Input Limit: NS

Until Output Completes NS

Data Acquisition

Timed Increments: 5 (Seconds)

Level Crossing: Selected

Peak/Valley: Selected

Master Input: AI-1: Axial Load

Sensitivity: 0.1 (kN)

Cycle Recording

Every Cycle

Data Saving

Data Buffer: Continuous

Defined Analog & Temperature Outputs:

0

Feedback AI-2: Axial Displacement

Waveform: Ramp

Initial Control Value Type: Relative

Target End Value: 10 (mm)

Rate: 0.5 (mm)/(Minute(s))

Duration: Continuous - Phase Duration

Master Output: 0

Digital Outputs Control: (none)

Times to Repeat Phase(s) above 0

Save Objects - Save @ each Recording:

Time

Cycles

Inputs: 8

AI-1: Axial Load

AI-2: Axial Displacement

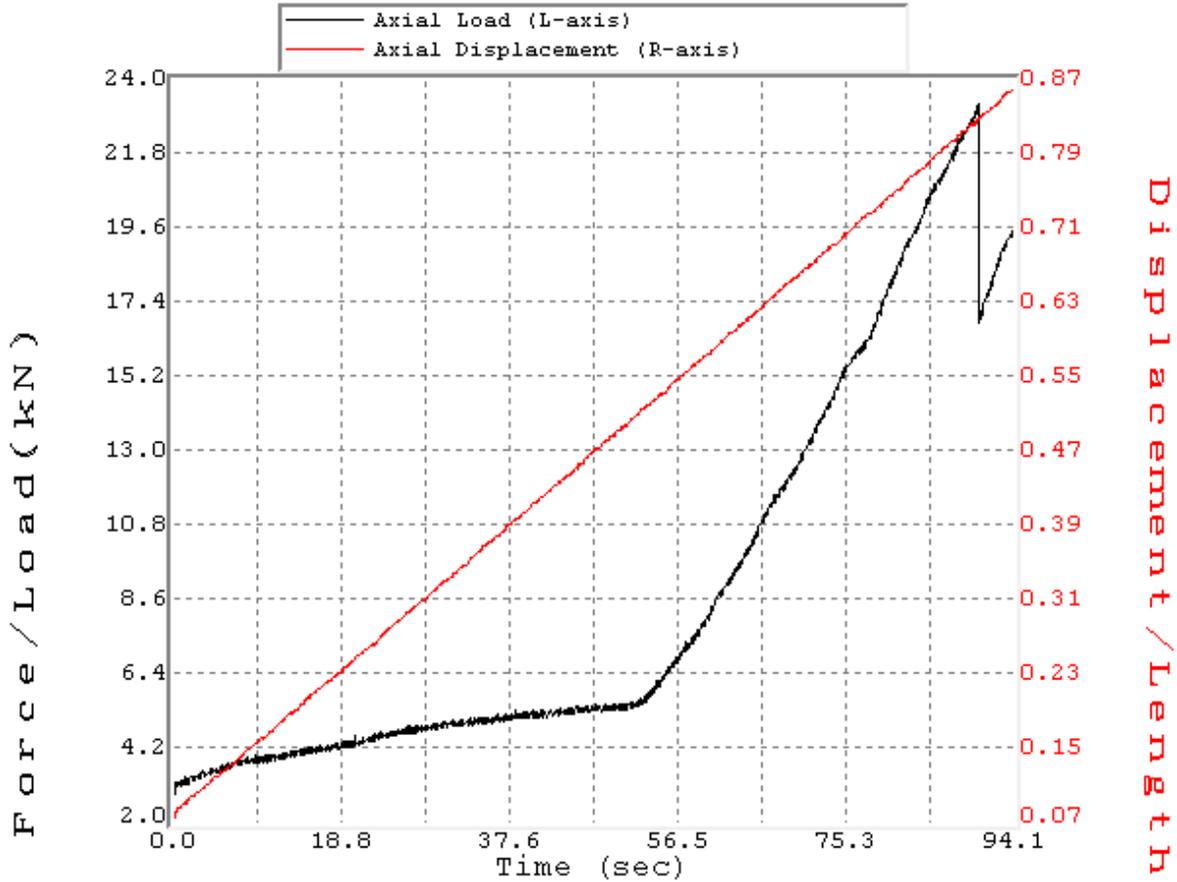
AI-3: Cell Pressure

AI-5: Pore Pressure

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: Universal  
 Specimen:  
 Height: 135.000 (mm)  
 Axial Gauge Length: 50.000 (mm)  
 Diameter: 54.000 (mm)  
 Area: 22.902 cm<sup>2</sup>  
 Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
 Phases: 1  
 Duration: 94.1 (sec) => 1.57 (min) => 01:34  
 Sd - Deviator Stress (MPa)  
 Max: 10.00  
 Min: 1.06  
 Range: 8.94  
 Initial: 1.09  
 End: 8.32  
 Cell Pressure (MPa)  
 Max: 0.22  
 Min: 0.18  
 Range: 0.03  
 Initial: 0.19  
 End: 0.20  
 Pore Pressure (MPa)  
 Max: 0.13  
 Min: 0.11  
 Range: 0.02  
 Initial: 0.11  
 End: 0.12  
 Ea - Axial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Er - Radial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Axial Load (kN)  
 Max: 23.36  
 Min: 2.89  
 Range: 20.48

Initial: 2.93  
 End 19.51  
 Axial Displacement (mm)  
 Max: 0.86  
 Min: 0.08  
 Range: 0.78  
 Initial: 0.08  
 End 0.86

Data Points (Rows): 1940

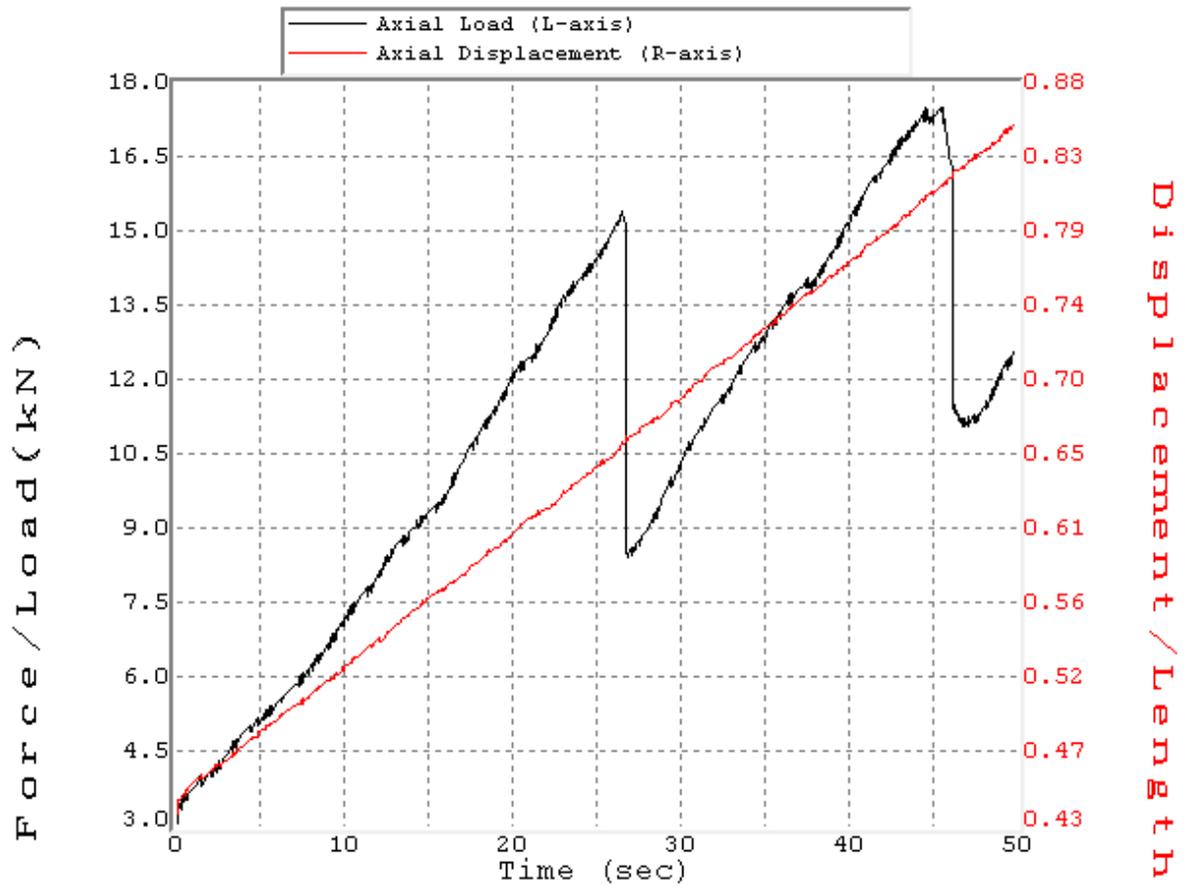


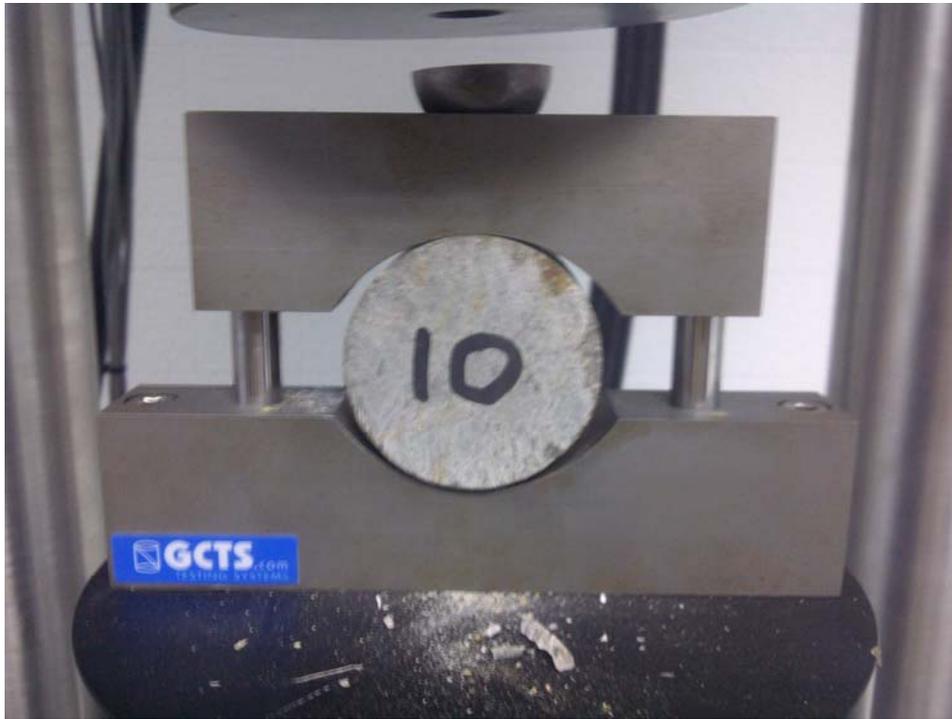


Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_ODRA BERNAL  
 Sample: SP43-M11A  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 10  
 Number: 1  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock    Soft  
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)  
 Diametral Membrane Thickness: 0.000 (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: 05/30/11  
 Starting Time: 17:41:44  
 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 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
         Phases: 1  
         Duration: 50.0 (sec)  
         Sd - Deviator Stress (MPa)  
             Max: 7.46  
             Min: 1.16  
             Range: 6.30  
             Initial: 1.16  
             End 5.33  
         Cell Pressure (MPa)  
             Max: 0.210  
             Min: 0.184  
             Range: 0.026  
             Initial: 0.197  
             End 0.190  
         Pore Pressure (MPa)  
             Max: 0.108  
             Min: 0.087  
             Range: 0.020  
             Initial: 0.101  
             End 0.094  
         Ea - Axial Strain (%)  
             Max: 0.00000  
             Min: 0.00000  
             Range: 0.00000  
             Initial: 0.00000  
             End 0.00000  
         Er - Radial Strain (%)  
             Max: 0.00000  
             Min: 0.00000

Range: 0.00000  
 Initial: 0.00000  
 End 0.00000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.00000  
 Min: 0.00000  
 Range: 0.00000  
 Initial: 0.00000  
 End 0.00000  
 Axial Load (kN)  
 Max: 17.544  
 Min: 3.115  
 Range: 14.429  
 Initial: 3.115  
 End 12.643  
 Axial Displacement (mm)  
 Max: 0.856  
 Min: 0.439  
 Range: 0.417  
 Initial: 0.439  
 End 0.856

Data Points (Rows): 962

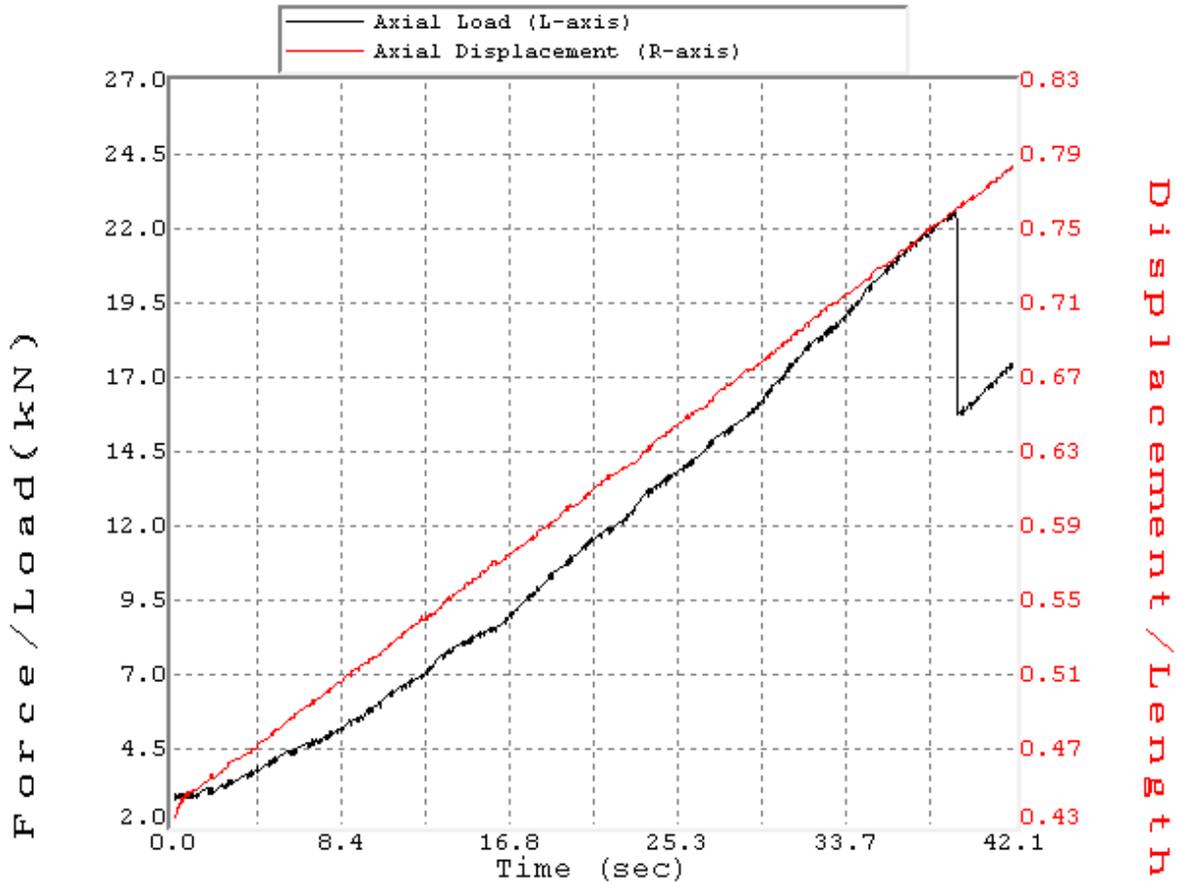




Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_ODRA BERNAL  
 Sample: SP43-M11A  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 12  
 Number: 3  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock    Soft  
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)  
 Diametral Membrane Thickness: 0.000 (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: 05/30/11  
 Starting Time: 17:47:54  
 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 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
         Phases: 1  
         Duration: 42.1 (sec)  
         Sd - Deviator Stress (MPa)  
             Max: 9.70  
             Min: 1.07  
             Range: 8.63  
             Initial: 1.09  
             End 7.44  
         Cell Pressure (MPa)  
             Max: 0.204  
             Min: 0.184  
             Range: 0.020  
             Initial: 0.190  
             End 0.197  
         Pore Pressure (MPa)  
             Max: 0.108  
             Min: 0.081  
             Range: 0.027  
             Initial: 0.094  
             End 0.094  
         Ea - Axial Strain (%)  
             Max: 0.00000  
             Min: 0.00000  
             Range: 0.00000  
             Initial: 0.00000  
             End 0.00000  
         Er - Radial Strain (%)  
             Max: 0.00000  
             Min: 0.00000

Range: 0.00000  
 Initial: 0.00000  
 End 0.00000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.00000  
 Min: 0.00000  
 Range: 0.00000  
 Initial: 0.00000  
 End 0.00000  
 Axial Load (kN)  
 Max: 22.674  
 Min: 2.886  
 Range: 19.788  
 Initial: 2.932  
 End 17.498  
 Axial Displacement (mm)  
 Max: 0.786  
 Min: 0.434  
 Range: 0.352  
 Initial: 0.434  
 End 0.786

Data Points (Rows): 882

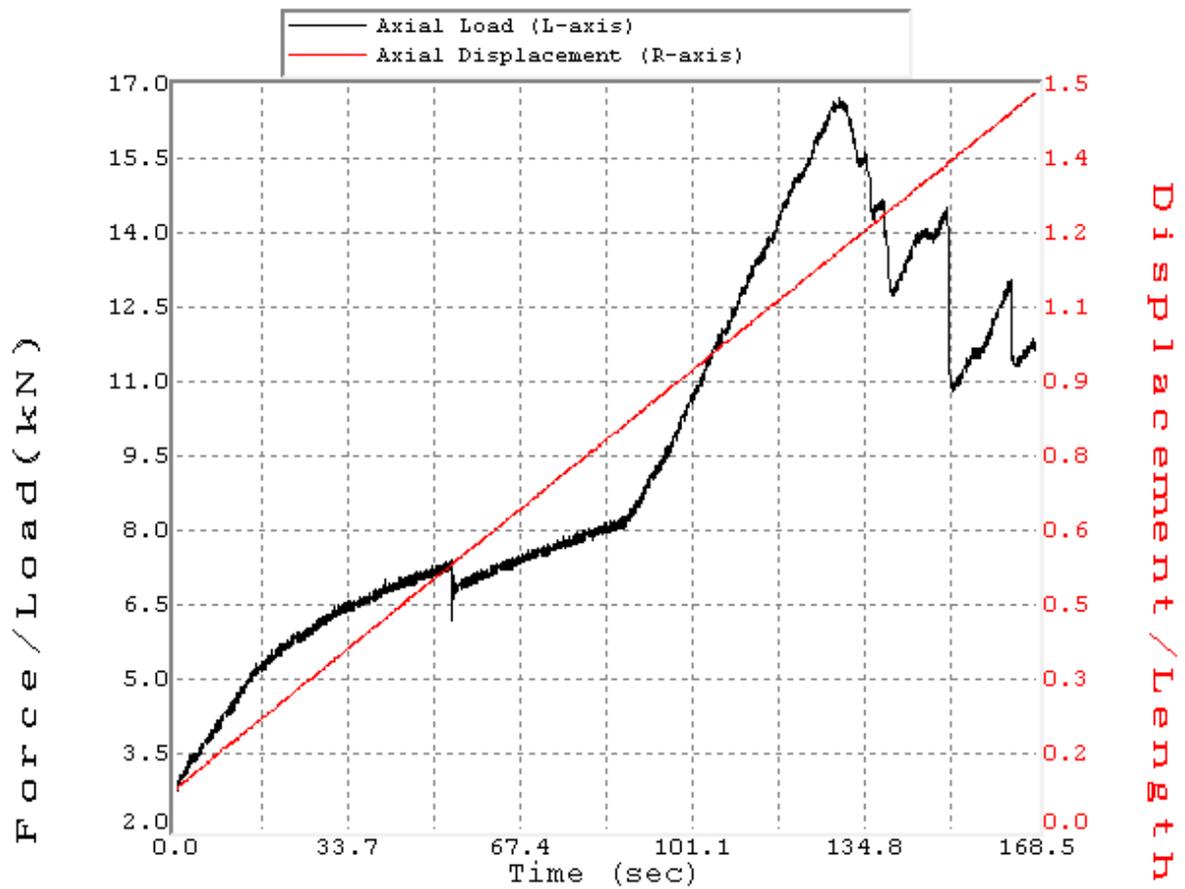




Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_ODRA BERNAL  
 Sample: SP45-M13  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 1  
 Number: 1  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock Hard  
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)  
 Diametral Membrane Thickness: 0.000 (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: 05/30/11  
 Starting Time: 16:40:13  
 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 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
         Phases: 1  
         Duration: 168.5 (sec) => 2.81 (min) => 02:48  
         Sd - Deviator Stress (MPa)  
             Max: 7.12  
             Min: 1.02  
             Range: 6.10  
             Initial: 1.02  
             End 4.94  
         Cell Pressure (MPa)  
             Max: 0.210  
             Min: 0.184  
             Range: 0.026  
             Initial: 0.197  
             End 0.197  
         Pore Pressure (MPa)  
             Max: 0.155  
             Min: 0.128  
             Range: 0.027  
             Initial: 0.134  
             End 0.148  
         Ea - Axial Strain (%)  
             Max: 0.00000  
             Min: 0.00000  
             Range: 0.00000  
             Initial: 0.00000  
             End 0.00000  
         Er - Radial Strain (%)  
             Max: 0.00000  
             Min: 0.00000

Range: 0.00000  
 Initial: 0.00000  
 End 0.00000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.00000  
 Min: 0.00000  
 Range: 0.00000  
 Initial: 0.00000  
 End 0.00000  
 Axial Load (kN)  
 Max: 16.765  
 Min: 2.794  
 Range: 13.971  
 Initial: 2.794  
 End 11.772  
 Axial Displacement (mm)  
 Max: 1.490  
 Min: 0.085  
 Range: 1.405  
 Initial: 0.085  
 End 1.490

Data Points (Rows): 3516

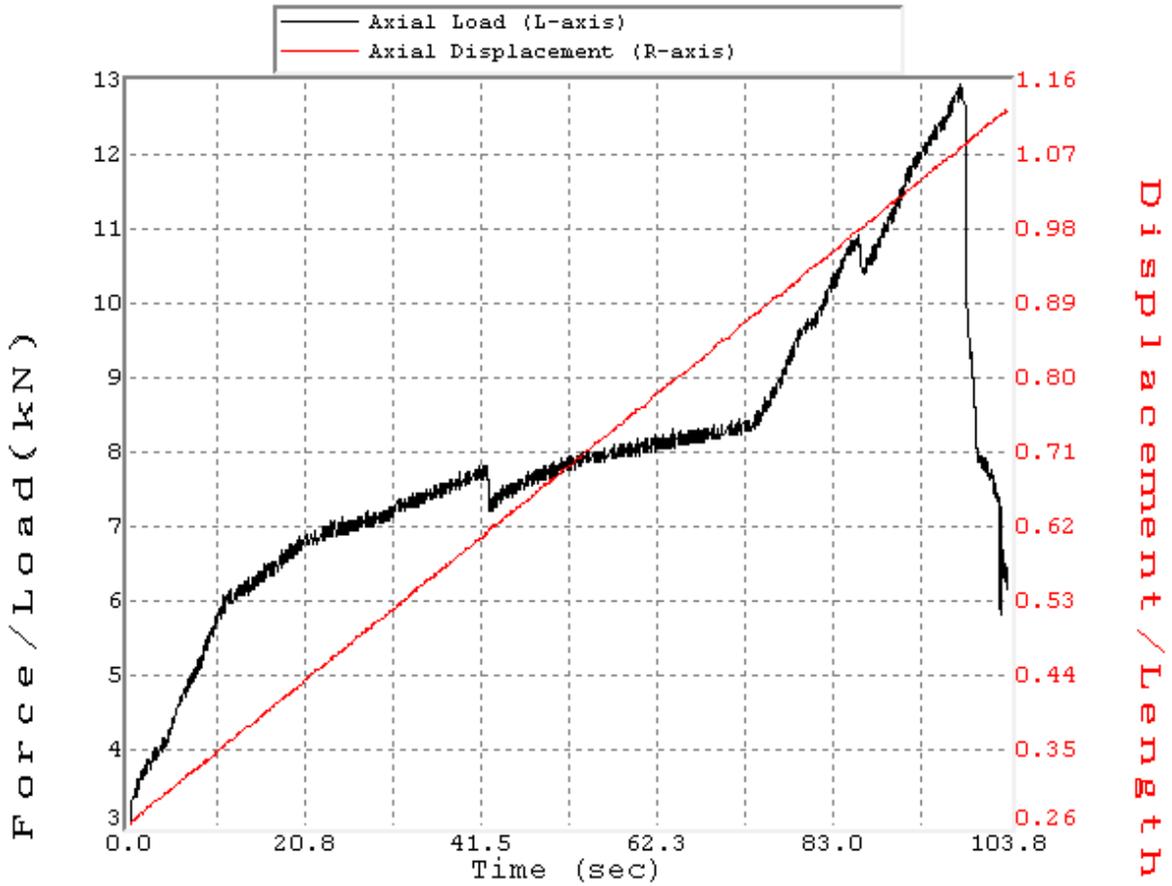




Software: GCTS C.A.T.S. Advanced      Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_ODRA BERNAL  
 Sample: SP45-M13  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 2  
 Number: 2  
 Description: -  
 Container ID: -  
 Type: Rock    Soft  
 Height of Platen(s): 0.000 (mm)  
 Diametral Membrane Thickness: 0.000 (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: 05/30/11  
 Starting Time: 16:48:23  
 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 cm<sup>2</sup>  
         Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
         Phases: 1  
         Duration: 103.8 (sec) => 1.73 (min) => 01:43  
         Sd - Deviator Stress (MPa)  
             Max: 5.34  
             Min: 1.02  
             Range: 4.32  
             Initial: 1.04  
             End 2.44  
         Cell Pressure (MPa)  
             Max: 0.217  
             Min: 0.184  
             Range: 0.033  
             Initial: 0.204  
             End 0.204  
         Pore Pressure (MPa)  
             Max: 0.161  
             Min: 0.134  
             Range: 0.027  
             Initial: 0.141  
             End 0.148  
         Ea - Axial Strain (%)  
             Max: 0.00000  
             Min: 0.00000  
             Range: 0.00000  
             Initial: 0.00000  
             End 0.00000  
         Er - Radial Strain (%)  
             Max: 0.00000  
             Min: 0.00000

Range: 0.00000  
 Initial: 0.00000  
 End 0.00000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.00000  
 Min: 0.00000  
 Range: 0.00000  
 Initial: 0.00000  
 End 0.00000  
 Axial Load (kN)  
 Max: 12.688  
 Min: 2.794  
 Range: 9.894  
 Initial: 2.840  
 End 6.046  
 Axial Displacement (mm)  
 Max: 1.127  
 Min: 0.264  
 Range: 0.864  
 Initial: 0.264  
 End 1.127

Data Points (Rows): 2053





Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Sample: SP45-M13  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 3  
 Number: 3  
 Description: -  
 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: 05/30/11  
 Starting Time: 16:54:27  
 Controller ID: 1577 SCON-2000

Triaxial Setup

Stages: 1  
 1: Universal:  
 Description: \_dcd  
 Phases: 1  
 Phase: 1 - Phase 1  
 Duration:  
 Timed: 10 (Minute(s))  
 Input Limit: NS  
 Until Output Completes NS

Data Acquisition

Timed Increments: 5 (Seconds)  
 Level Crossing: Selected  
 Peak/Valley: Selected  
 Master Input: AI-1: Axial Load  
 Sensitivity: 0.1 (kN)

Cycle Recording

Every Cycle

Data Saving

Data Buffer: Continuous  
 Defined Analog & Temperature Outputs:  
 0

Feedback AI-2: Axial Displacement  
 Waveform: Ramp  
 Initial Control Value Type: Relative  
 Target End Value: 10 (mm)  
 Rate: 0.5 (mm)/(Minute(s))  
 Duration: Continuous - Phase Duration

Master Output: 0  
 Digital Outputs Control: (none)

Times to Repeat Phase(s) above 0  
 Save Objects - Save @ each Recording:

Time  
 Cycles  
 Inputs: 8  
 AI-1: Axial Load  
 AI-2: Axial Displacement  
 AI-3: Cell Pressure  
 AI-5: Pore Pressure

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: Universal  
 Specimen:  
 Height: 135.000 (mm)  
 Axial Gauge Length: 135.000 (mm)  
 Diameter: 54.000 (mm)  
 Area: 22.902 cm<sup>2</sup>  
 Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
 Phases: 1  
 Duration: 73.0 (sec) => 1.22 (min) => 01:12  
 Sd - Deviator Stress (MPa)  
 Max: 2.78  
 Min: 1.00  
 Range: 1.78  
 Initial: 1.02  
 End: 1.79  
 Cell Pressure (MPa)  
 Max: 0.21  
 Min: 0.19  
 Range: 0.02  
 Initial: 0.20  
 End: 0.19  
 Pore Pressure (MPa)  
 Max: 0.15  
 Min: 0.13  
 Range: 0.03  
 Initial: 0.14  
 End: 0.14  
 Ea - Axial Strain (%)  
 Max: 0.4526  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.4526  
 Initial: 0.0011  
 End: 0.4526  
 Er - Radial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.4526  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.4526  
 Initial: 0.0011  
 End: 0.4526  
 Axial Load (kN)  
 Max: 6.83  
 Min: 2.75  
 Range: 4.08

Initial: 2.79  
End 4.53  
Axial Displacement (mm)  
Max: 0.61  
Min: 0.00  
Range: 0.61  
Initial: 0.00  
End 0.61

Data Points (Rows): 1366



Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Sample: SP46-M13  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 7  
 Number: 1  
 Description: -  
 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: 05/30/11  
 Starting Time: 17:26:37  
 Controller ID: 1577 SCON-2000

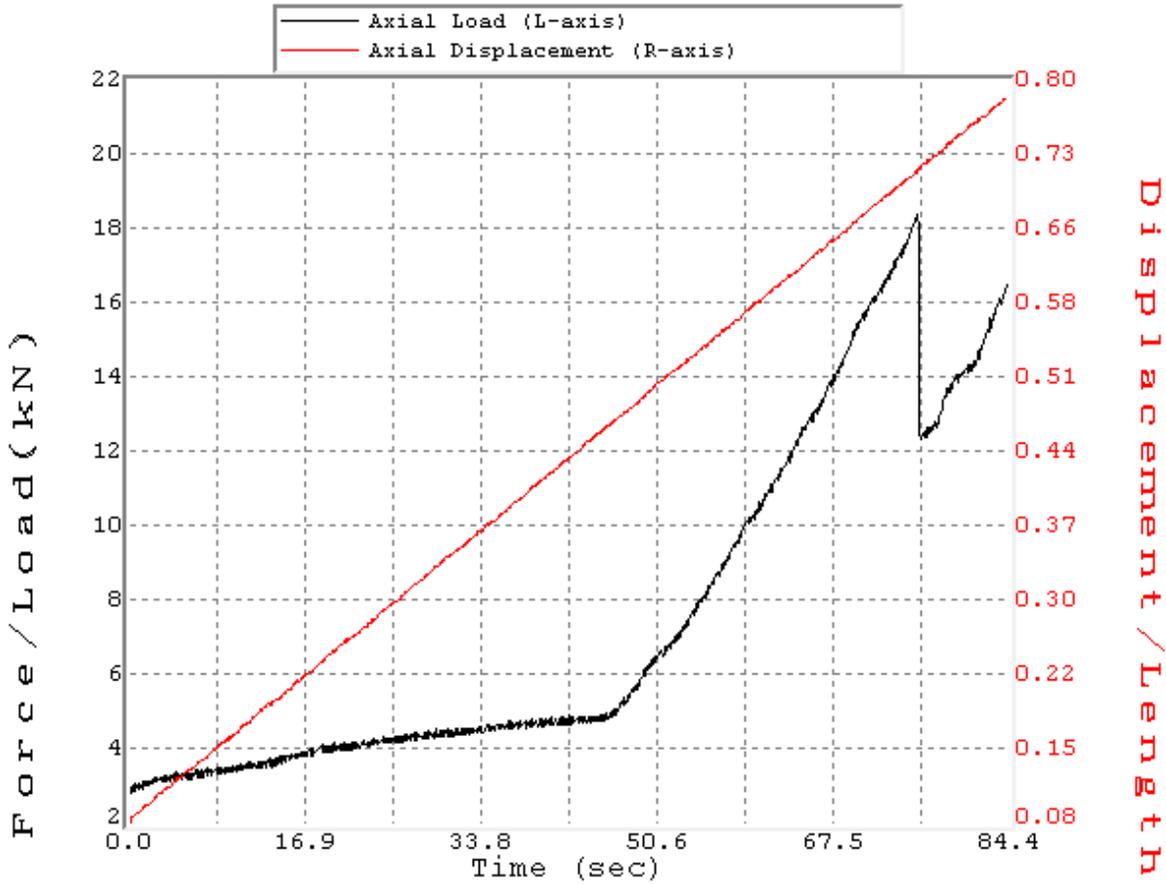
Triaxial Setup

Stages: 1  
 1: Universal:  
 Description: \_dcd  
 Phases: 1  
 Phase: 1 - Phase 1  
 Duration:  
 Timed: 10 (Minute(s))  
 Input Limit: NS  
 Until Output Completes NS  
 Data Acquisition  
 Timed Increments: 5 (Seconds)  
 Level Crossing: Selected  
 Peak/Valley: Selected  
 Master Input: AI-1: Axial Load  
 Sensitivity: 0.1 (kN)  
 Cycle Recording  
 Every Cycle  
 Data Saving  
 Data Buffer: Continuous  
 Defined Analog & Temperature Outputs:  
 0  
 Feedback AI-2: Axial Displacement  
 Waveform: Ramp  
 Initial Control Value Type: Relative  
 Target End Value: 10 (mm)  
 Rate: 0.5 (mm)/(Minute(s))  
 Duration: Continuous - Phase Duration  
 Master Output: 0  
 Digital Outputs Control: (none)  
 Times to Repeat Phase(s) above 0  
 Save Objects - Save @ each Recording:  
 Time  
 Cycles  
 Inputs: 8  
 AI-1: Axial Load  
 AI-2: Axial Displacement  
 AI-3: Cell Pressure  
 AI-5: Pore Pressure

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: Universal  
 Specimen:  
 Height: 135.000 (mm)  
 Axial Gauge Length: 50.000 (mm)  
 Diameter: 54.000 (mm)  
 Area: 22.902 cm<sup>2</sup>  
 Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
 Phases: 1  
 Duration: 84.4 (sec) => 1.41 (min) => 01:24  
 Sd - Deviator Stress (MPa)  
 Max: 7.86  
 Min: 1.06  
 Range: 6.80  
 Initial: 1.07  
 End: 7.01  
 Cell Pressure (MPa)  
 Max: 0.21  
 Min: 0.18  
 Range: 0.03  
 Initial: 0.19  
 End: 0.19  
 Pore Pressure (MPa)  
 Max: 0.13  
 Min: 0.10  
 Range: 0.03  
 Initial: 0.11  
 End: 0.11  
 Ea - Axial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Er - Radial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Axial Load (kN)  
 Max: 18.46  
 Min: 2.89  
 Range: 15.57

Initial: 2.89  
 End 16.49  
 Axial Displacement (mm)  
 Max: 0.79  
 Min: 0.08  
 Range: 0.70  
 Initial: 0.08  
 End 0.79

Data Points (Rows): 1651





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

Project: TESIS CAICARA

Sample: SP46-M13

Test: Triaxial

Specimen: 8

Number: 2

Description: -

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: 05/30/11

Starting Time: 17:31:34

Controller ID: 1577 SCON-2000

Triaxial Setup

Stages: 1

1: Universal:

Description: \_dcd

Phases: 1

Phase: 1 - Phase 1

Duration:

Timed: 10 (Minute(s))

Input Limit: NS

Until Output Completes NS

Data Acquisition

Timed Increments: 5 (Seconds)

Level Crossing: Selected

Peak/Valley: Selected

Master Input: AI-1: Axial Load

Sensitivity: 0.1 (kN)

Cycle Recording

Every Cycle

Data Saving

Data Buffer: Continuous

Defined Analog & Temperature Outputs:

0

Feedback AI-2: Axial Displacement

Waveform: Ramp

Initial Control Value Type: Relative

Target End Value: 10 (mm)

Rate: 0.5 (mm)/(Minute(s))

Duration: Continuous - Phase Duration

Master Output: 0

Digital Outputs Control: (none)

Times to Repeat Phase(s) above 0

Save Objects - Save @ each Recording:

Time

Cycles

Inputs: 8

AI-1: Axial Load

AI-2: Axial Displacement

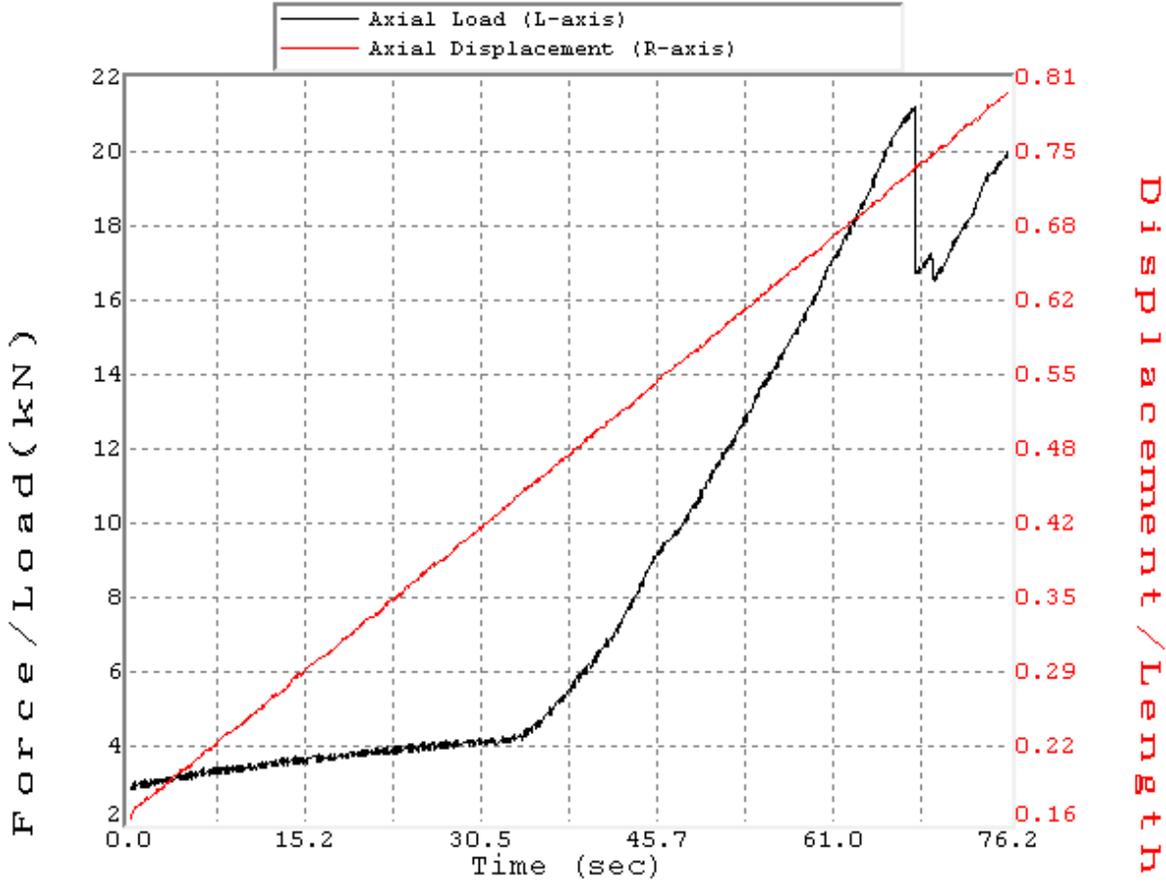
AI-3: Cell Pressure

AI-5: Pore Pressure

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: Universal  
 Specimen:  
 Height: 135.000 (mm)  
 Axial Gauge Length: 50.000 (mm)  
 Diameter: 54.000 (mm)  
 Area: 22.902 cm<sup>2</sup>  
 Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
 Phases: 1  
 Duration: 76.2 (sec) => 1.27 (min) => 01:16  
 Sd - Deviator Stress (MPa)  
 Max: 9.10  
 Min: 1.08  
 Range: 8.02  
 Initial: 1.08  
 End: 8.53  
 Cell Pressure (MPa)  
 Max: 0.21  
 Min: 0.18  
 Range: 0.03  
 Initial: 0.20  
 End: 0.19  
 Pore Pressure (MPa)  
 Max: 0.13  
 Min: 0.10  
 Range: 0.03  
 Initial: 0.11  
 End: 0.11  
 Ea - Axial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Er - Radial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Axial Load (kN)  
 Max: 21.30  
 Min: 2.93  
 Range: 18.37

Initial: 2.93  
End 19.97  
Axial Displacement (mm)  
Max: 0.80  
Min: 0.16  
Range: 0.64  
Initial: 0.16  
End 0.80

Data Points (Rows): 1423





Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Sample: SP46-M3  
 Test: Triaxial  
 Specimen: 9  
 Number: 3  
 Description: -  
 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: 05/30/11  
 Starting Time: 17:36:56  
 Controller ID: 1577 SCON-2000

Triaxial Setup

Stages: 1  
 1: Universal:  
 Description: \_dcd  
 Phases: 1  
 Phase: 1 - Phase 1  
 Duration:  
 Timed: 10 (Minute(s))  
 Input Limit: NS  
 Until Output Completes NS

Data Acquisition

Timed Increments: 5 (Seconds)  
 Level Crossing: Selected  
 Peak/Valley: Selected  
 Master Input: AI-1: Axial Load  
 Sensitivity: 0.1 (kN)

Cycle Recording

Every Cycle

Data Saving

Data Buffer: Continuous  
 Defined Analog & Temperature Outputs:  
 0

Feedback AI-2: Axial Displacement  
 Waveform: Ramp  
 Initial Control Value Type: Relative  
 Target End Value: 10 (mm)  
 Rate: 0.5 (mm)/(Minute(s))  
 Duration: Continuous - Phase Duration

Master Output: 0

Digital Outputs Control: (none)

Times to Repeat Phase(s) above 0

Save Objects - Save @ each Recording:

Time

Cycles

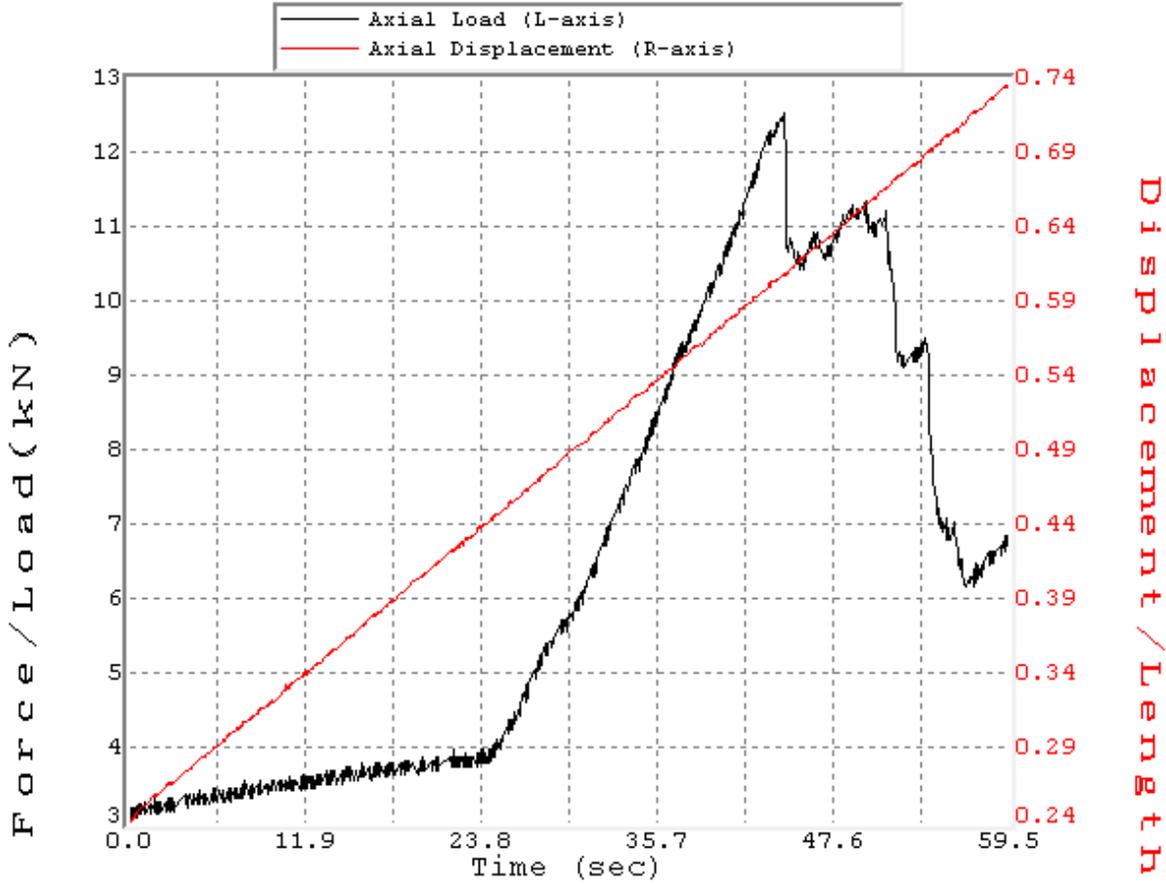
Inputs: 8

AI-1: Axial Load  
 AI-2: Axial Displacement  
 AI-3: Cell Pressure  
 AI-5: Pore Pressure  
 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: Universal  
 Specimen:  
 Height: 135.000 (mm)  
 Axial Gauge Length: 50.000 (mm)  
 Diameter: 54.000 (mm)  
 Area: 22.902 cm<sup>2</sup>  
 Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>  
 Phases: 1  
 Duration: 59.5 (sec)  
 Sd - Deviator Stress (MPa)  
 Max: 5.20  
 Min: 1.04  
 Range: 4.16  
 Initial: 1.07  
 End: 2.68  
 Cell Pressure (MPa)  
 Max: 0.20  
 Min: 0.18  
 Range: 0.02  
 Initial: 0.19  
 End: 0.20  
 Pore Pressure (MPa)  
 Max: 0.12  
 Min: 0.09  
 Range: 0.03  
 Initial: 0.09  
 End: 0.10  
 Ea - Axial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Er - Radial Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Ev - Volumetric Strain (%)  
 Max: 0.0000  
 Min: 0.0000  
 Range: 0.0000  
 Initial: 0.0000  
 End: 0.0000  
 Axial Load (kN)  
 Max: 12.37  
 Min: 2.84  
 Range: 9.53  
 Initial: 2.89

End 6.60  
 Axial Displacement (mm)  
 Max: 0.74  
 Min: 0.24  
 Range: 0.50  
 Initial: 0.24  
 End 0.74

Data Points (Rows): 1276





## 11.4. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

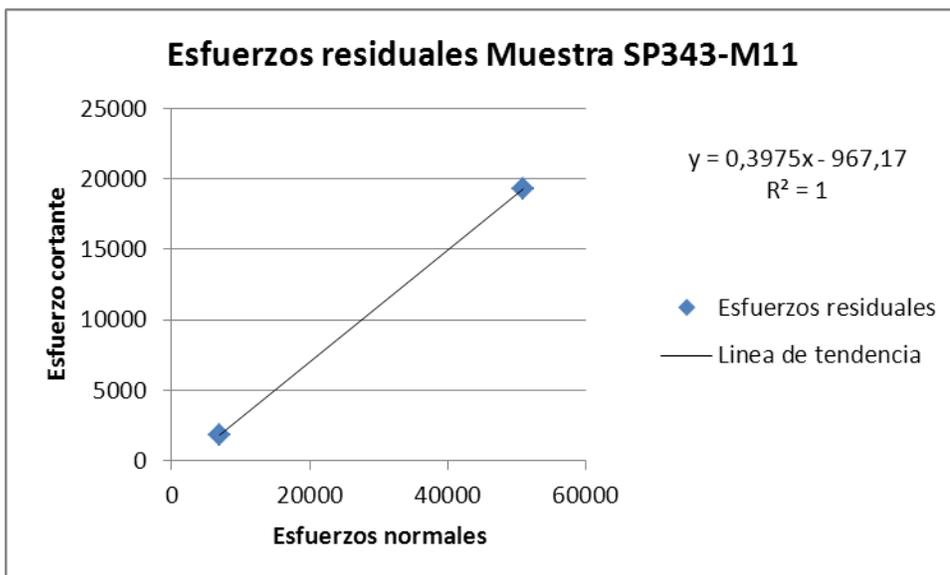
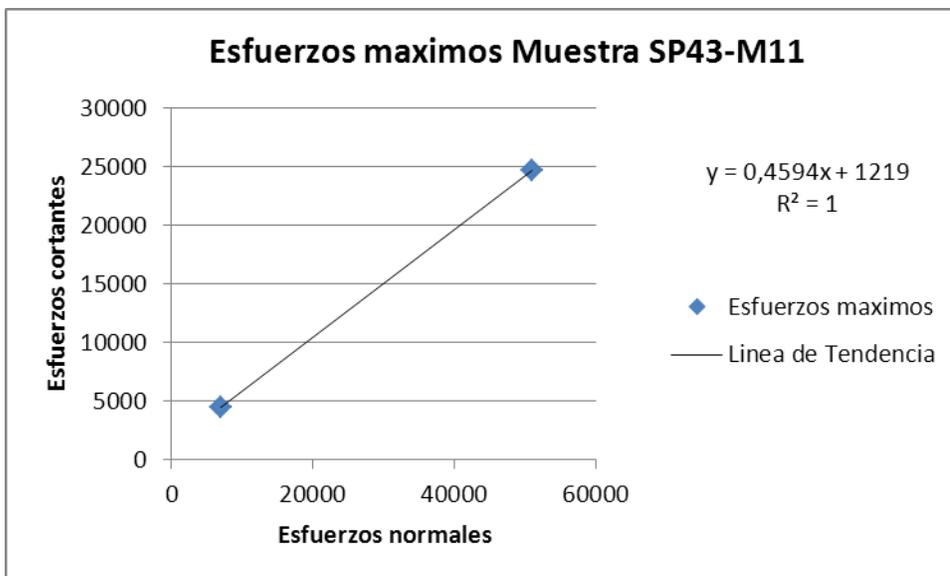
Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_DAVID ESTRAÑO  
 Sample: SP43-M11  
 Test: Direct Shear  
 Specimen: 1  
 Number: 1  
 Description: Corte Directo 40kN  
 Container ID: -  
 Type: Cylindrical  
 Height: 47.000 (mm)  
 Diameter: 87.000 (mm)  
 Shear Surface Area: Circular  
 Starting Date: 01/11/03  
 Starting Time: 03:08:24  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Universal  
     Phases: 1  
     Duration: 188.9 (sec) => 3.15 (min) => 03:08  
     Shear Displacement (mm)  
         Max: 5.003549  
         Min: -0.010925  
         Range: 5.014474  
         Initial: -0.010925  
         End 4.728869  
     T - Shear Stress (kPa)  
         Max: 4440.66  
         Min: -4.63  
         Range: 4445.28  
         Initial: -4.63  
         End 1811.89  
     Normal Box Avg. Disp (mm)  
         Max: 2.6774  
         Min: -0.0472  
         Range: 2.7246  
         Initial: -0.0454  
         End 2.6774  
     Sn - Normal Stress (kPa)  
         Max: 7012.70  
         Min: -2.57

Range: 7015.27  
Initial: -2.57  
End 6991.48  
Normal Load (kN)  
Max: 40.333992  
Min: -0.015260  
Range: 40.349251  
Initial: -0.015260  
End 39.998257  
Normal Act. Displ. (mm)  
Max: 4.038349  
Min: -0.001557  
Range: 4.039906  
Initial: -0.001557  
End 4.038349  
Shear Load (kN)  
Max: 25.946680  
Min: -0.027496  
Range: 25.974176  
Initial: -0.027496  
End 10.365841  
Data Points (Rows): 346



Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_DAVID ESTRAÑO  
 Sample: SP43-M11  
 Test: Direct Shear  
 Specimen: 2  
 Number: 2  
 Description: Corte Directo 80kN  
 Container ID: -  
 Type: Cylindrical  
 Height: 87.000 (mm)  
 Diameter: 47.000 (mm)  
 Shear Surface Area: Circular  
 Starting Date: 01/11/03  
 Starting Time: 03:14:47  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Universal  
     Phases: 1  
     Duration: 244.2 (sec) => 4.07 (min) => 04:04  
     Shear Displacement (mm)  
         Max: 6.994981  
         Min: -0.149826  
         Range: 7.144807  
         Initial: -0.001560  
         End 6.865445  
     T - Shear Stress (kPa)  
         Max: 24638.45  
         Min: -471.16  
         Range: 25109.61  
         Initial: 36.98  
         End 19255.10  
     Normal Box Avg. Disp (mm)  
         Max: 5.6796  
         Min: -0.1017  
         Range: 5.7813  
         Initial: -0.1017  
         End 5.6796  
     Sn - Normal Stress (kPa)  
         Max: 50978.07  
         Min: -140.74  
         Range: 51118.82  
         Initial: -140.74  
         End 50874.62  
     Normal Load (kN)  
         Max: 80.271194

Min: -0.244172  
Range: 80.515366  
Initial: -0.244172  
End 79.645508  
Normal Act. Displ. (mm)  
Max: 6.349318  
Min: -0.037447  
Range: 6.386765  
Initial: -0.037447  
End 6.349318  
Shear Load (kN)  
Max: 38.493839  
Min: -0.815704  
Range: 39.309544  
Initial: 0.064156  
End 30.144344  
Data Points (Rows): 467



Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_DAVID ESTRAÑO  
 Sample: SP44-M11  
 Boring: SP44.bor  
 Test: Direct Shear  
 Specimen: SP44M11\_1  
 Number: 1  
 Description: CORTE DIRECTO - CARGA NORMAL 40Kn  
 Container ID:  
 Type: Other: Function  
 Height: 47.200 (mm)  
 Starting Date: 01/07/03  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Universal  
         Phases: 1  
         Duration: 184.3 (sec) => 3.07 (min) => 03:04  
         Shear Displacement (mm)  
             Max: 3.967256  
             Min: -0.981670  
             Range: 4.948926  
             Initial: 0.000000  
             End 3.847084  
         T - Shear Stress (kPa)  
             Max: 12872.37  
             Min: -1080.86  
             Range: 13953.23  
             Initial: 3.16  
             End 7673.49  
         Normal Box Avg. Disp (mm)  
             Max: 0.4131  
             Min: -0.0464  
             Range: 0.4595  
             Initial: -0.0464  
             End 0.1528  
         Sn - Normal Stress (kPa)  
             Max: 14239.80  
             Min: 5.26  
             Range: 14234.54  
             Initial: 5.26  
             End 14192.44  
         Normal Load (kN)  
             Max: 41.295414  
             Min: 0.015260  
             Range: 41.280151

Initial: 0.015260  
End 41.158066  
Normal Act. Displ. (mm)  
Max: 1.263935  
Min: -0.001557  
Range: 1.265492  
Initial: -0.001557  
End 1.004905  
Shear Load (kN)  
Max: 37.329861  
Min: -3.134498  
Range: 40.464359  
Initial: 0.009165  
End 22.253107

Data Points (Rows): 346

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: DAVID ESTRAÑO  
 Sample: SP44-M11  
 Boring: SP44.bor  
 Test: Direct Shear  
 Specimen: SP44-M11  
 Number: 2  
 Description: CORTE DIRECTO - CARGA NORMAL 80kN  
 Container ID:  
 Type: Other: Function  
 Height: 47.200 (mm)  
 Starting Date: 01/07/03  
 Starting Time: 01:49:12  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Universal  
         Phases: 1  
         Duration: 185.3 (sec) => 3.09 (min) => 03:05  
         Shear Displacement (mm)  
             Max: 4.987943  
             Min: -0.201328  
             Range: 5.189271  
             Initial: -0.001561  
             End 4.822511  
         T - Shear Stress (kPa)  
             Max: 23985.61  
             Min: -632.36  
             Range: 24617.97  
             Initial: 0.00  
             End 18902.73  
         Normal Box Avg. Disp (mm)  
             Max: 0.9417  
             Min: -0.1003  
             Range: 1.0420  
             Initial: -0.0466  
             End 0.8133  
         Sn - Normal Stress (kPa)  
             Max: 35032.94  
             Min: 0.00  
             Range: 35032.94  
             Initial: 0.00  
             End 34912.98  
         Normal Load (kN)  
             Max: 80.225418

Min: 0.000000  
Range: 80.225418  
Initial: 0.000000  
End 79.950729

Normal Act. Displ. (mm)

Max: 5.644012  
Min: 0.000000  
Range: 5.644012  
Initial: 0.000000  
End 5.514499

Shear Load (kN)

Max: 54.927052  
Min: -1.448102  
Range: 56.375153  
Initial: 0.000000  
End 43.287247

Data Points (Rows): 352

Software: GCTS C.A.T.S. Advanced Version: 1.89  
 Project: TESIS CAICARA  
 Customer: \_DAVID ESTRAÑO  
 Sample: SP44-M11  
 Boring: SP44.bor  
 Test: Direct Shear  
 Specimen: SP44-M11\_2  
 Number: 3  
 Description: \_  
 Container ID:  
 Type: Other: Function  
 Height: 47.200 (mm)  
 Starting Date: 01/07/03  
 Starting Time: 01:55:40  
 Test Results: Stopped by User  
 Stages: 1  
 Stage Index: 1  
     Type: Universal  
         Phases: 1  
         Duration: 187.0 (sec) => 3.12 (min) => 03:07  
         Shear Displacement (mm)  
             Max: 4.992625  
             Min: -0.159190  
             Range: 5.151815  
             Initial: 0.017168  
             End 4.764766  
         T - Shear Stress (kPa)  
             Max: 30183.69  
             Min: -608.50  
             Range: 30792.19  
             Initial: -94.10  
             End 23646.97  
         Normal Box Avg. Disp (mm)  
             Max: 1.8263  
             Min: -0.0225  
             Range: 1.8488  
             Initial: -0.0015  
             End 1.8263  
         Sn - Normal Stress (kPa)  
             Max: 54843.41  
             Min: 177.57  
             Range: 54665.84  
             Initial: 177.57  
             End 54759.85  
         Normal Load (kN)  
             Max: 160.252441

Min: 0.518863  
Range: 159.733582  
Initial: 0.518863  
End 160.008270

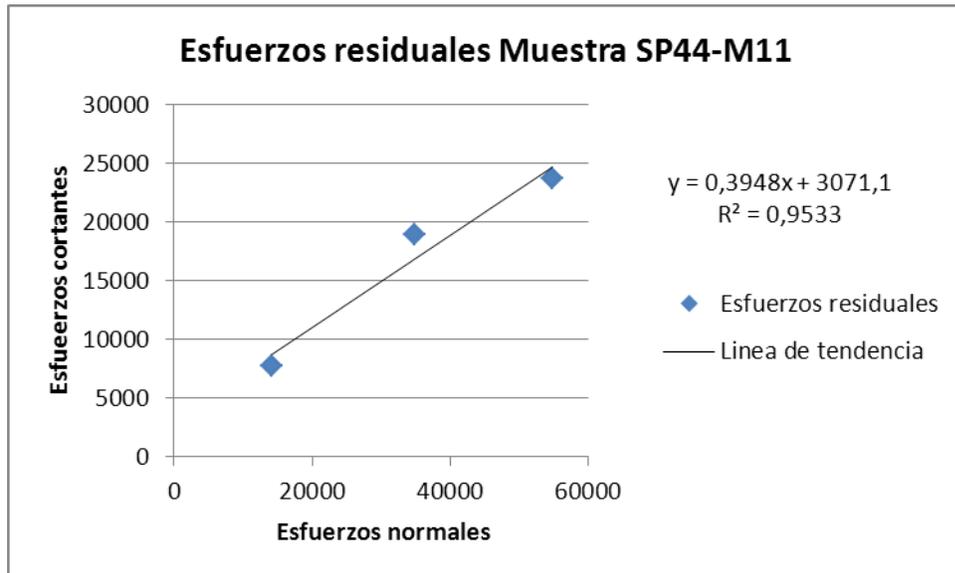
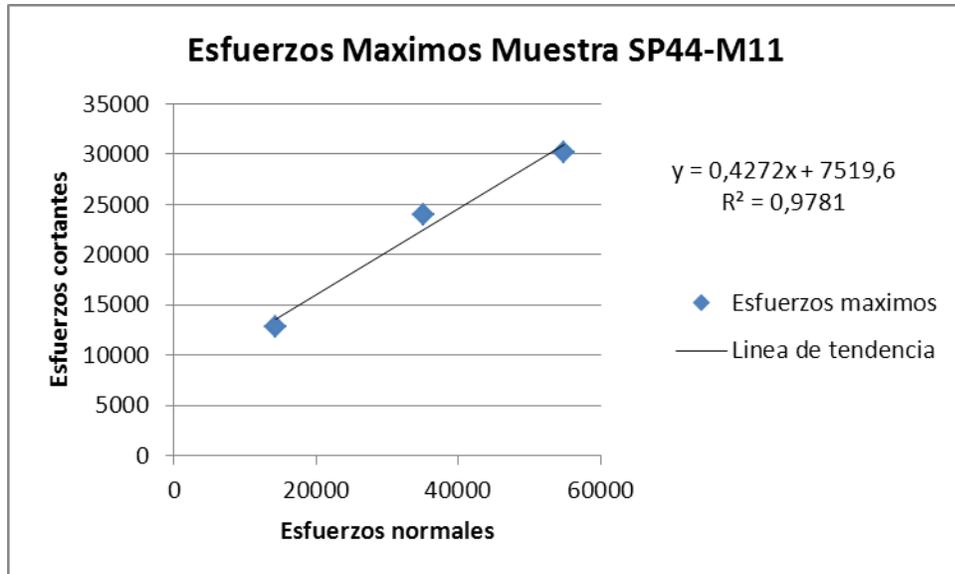
Normal Act. Displ. (mm)

Max: 4.376959  
Min: 0.521179  
Range: 3.855780  
Initial: 0.521179  
End 4.376959

Shear Load (kN)

Max: 88.196724  
Min: -1.778049  
Range: 89.974777  
Initial: -0.274956  
End 69.096451

Data Points (Rows): 347



## 11.5. ENSAYO TRIAXIAL

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

Project: October 22

Sample: 1

Test: Triaxial

Specimen: 1

Number: 1

Description: \_

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: 10/22/10

Starting Time: 15:41:21

Controller ID: 1577 SCON-2000

### Triaxial Inputs

1 Axial Load Max: 1500 (kN) Min: -1500 (kN)

Gain: 20.8674

Offset: -0.0392829 (Volts)

GCTS Board #: 1181N

Digital Filter: 200 (Hz)

Software Offset: 1.1 (kN)

Sensor ID: Axial Load

Sensor Type: SG

Model #: Tovey 5141-340K

Serial #: 108536A

Parameter: Force/Load

Range(kN): Max: 1500 Min: -1500

Calibration: Date: 09/17/09

Type: Linear - One point

Full Scale Output: 2.3876 (mV/Volt)

Offset: 0 (mV/Volt)

Negative Output Correction Factor: NS

Equation: Output ((kN)) = 628.246 \*(mV/Volt) + 0

2 Axial Displacement Max: 50.8 (mm) Min: -50.8 (mm)

Gain: 1.97628

Offset: -0.198634 (Volts)

DC Excitation: Full ( $\pm$  5 VDC)

GCTS Board #: 1166N

Digital Filter: 100 (Hz)

Software Offset: 0.0 (mm)

Sensor ID: Normal Axial Displ.  
 Sensor Type: DC  
 Model #: Gefran PZ-34-F-100  
 Serial #: 093300995  
 DC Sensor Output: Absolute  
 Parameter: Displacement/Length  
 Range(mm): Max: 50.8 Min: -50.8  
 Calibration: Date: 09/22/09  
 Type: Linear - Two point  
 Point Engineering Value (mm) Output (Volts)  
 First 50.8 4.84023  
 Second -50.8 -5.17214  
 Equation: Output ((mm)) = 10.1474 \*(Volts) + 1.68404  
 3 Cell Pressure Max: 215 (MPa) Min: -215 (MPa)  
 Gain: 17.142  
 Offset: -0.0311728 (Volts)  
 GCTS Board #: 1188N  
 Digital Filter: 200 (Hz)  
 Software Offset: -3.6 (MPa)  
 Sensor ID: Cell Pressure  
 Sensor Type: SG  
 Model #: Omega PX35S1-30KGV  
 Serial #: 254245  
 Parameter: Pressure/Stress  
 Range(MPa): Max: 210 Min: -210  
 Calibration: Date: 09/17/09  
 Type: Linear - One point  
 Full Scale Output: 2.8 (mV/Volt)  
 Offset: 0 (mV/Volt)  
 Negative Output Correction Factor: NS  
 Equation: Output ((MPa)) = 75 \*(mV/Volt) + 0  
 4 Cell Press. LVDT Max: 127 (mm) Min: -127 (mm)  
 Gain: 2.99974  
 Offset: -0.0396837 (Volts)  
 GCTS Board #: 976  
 Digital Filter: 200 (Hz)  
 Software Offset: 0.0 (mm)  
 Sensor ID: Cell Press. LVDT  
 Sensor Type: AC  
 Model #: MS PR750-5000  
 Serial #: -  
 Parameter: Displacement/Length  
 Range(mm): Max: 127 Min: -127  
 Calibration: Date: 09/21/09  
 Type: Linear - Two point  
 Point Engineering Value (mm) Output (Volts/Volt)

First -127 0.490302  
 Second 127 -0.494823  
 Equation: Output ((mm)) = -257.835 \*(Volts/Volt) + -

0.582914

5 Pore Pressure Max: 220 (MPa) Min: -220 (MPa)  
 Gain: 16.6065  
 Offset: -0.0281096 (Volts)  
 GCTS Board #: 1035  
 Digital Filter: 200 (Hz)  
 Software Offset: -1.5 (MPa)  
 Sensor ID: Pore Pressure  
 Sensor Type: SG  
 Model #: Omega PX35S1-30KGV  
 Serial #: 254216  
 Parameter: Pressure/Stress  
 Range(MPa): Max: 210 Min: -210  
 Calibration: Date: 09/17/09  
 Type: Linear - One point  
 Full Scale Output: 2.841 (mV/Volt)  
 Offset: 0 (mV/Volt)  
 Negative Output Correction Factor: NS  
 Equation: Output ((MPa)) = 73.9176 \*(mV/Volt) + 0

6 Internal LVDT 1 Max: 2.5 (mm) Min: -2.5 (mm)  
 Gain: 66.5017  
 Offset: -0.0643858 (Volts)  
 GCTS Board #: 1101  
 Digital Filter: 100 (Hz)  
 Software Offset: 0.000 (mm)  
 Sensor ID: Internal LVDT 1  
 Sensor Type: AC  
 Model #: MS PR375-100  
 Serial #: J36039  
 Parameter: Displacement/Length  
 Range(mm): Max: 2.5 Min: -2.5  
 Calibration: Date: 03/16/10  
 Type: Non-Linear  
 Non-LinearOutput ((mm)) = a0 + a1\*X + a2\*X<sup>2</sup> + a3\*X<sup>3</sup>  
 where X is in (Volts/Volt)  
 a0: -0.915105  
 a1: -114.007  
 a2: 40.9081  
 a3: 4673.94

7 Internal LVDT 2 Max: 2.5 (mm) Min: -2.5 (mm)  
 Gain: 41.7538  
 Offset: 0.0628282 (Volts)  
 GCTS Board #: 1074  
 Digital Filter: 100 (Hz)

Software Offset: 0.000 (mm)  
 Sensor ID: Internal LVDT 2  
     Sensor Type: AC  
     Model #: MS PR375-100  
     Serial #: J36046  
     Parameter: Displacement/Length  
     Range(mm): Max: 2.5 Min: -2.5  
     Calibration: Date: 03/16/10  
     Type: Linear - Two point  
     Point Engineering Value (mm) Output (Volts/Volt)  
     First -2.2390.044718  
     Second 2.499 -0.0227047  
     Equation: Output ((mm)) = -70.273 \*(Volts/Volt) +  
 0.903469  
 8 Internal LVDT 3 Max: 2.5 (mm) Min: -2.5 (mm)  
 Gain: 43.2844  
 Offset: -0.104266 (Volts)  
 GCTS Board #: 1057  
 Digital Filter: 100 (Hz)  
 Software Offset: 0.000 (mm)  
 Sensor ID: Internal LVDT 3  
     Sensor Type: AC  
     Model #: MS PR375-100  
     Serial #:   
     Parameter: Displacement/Length  
     Range(mm): Max: 2.5 Min: -2.5  
     Calibration: Date: 03/16/10  
     Type: Non-Linear  
     Non-LinearOutput ((mm)) =  $a_0 + a_1*X + a_2*X^2 + a_3*X^3$   
     where X is in (Volts/Volt)  
     a0: -0.79537  
     a1: -74.8152  
     a2: 15.03  
     a3: 1022.24  
 9 Pore Press. LVDT Max: 127 (mm) Min: -127 (mm)  
 Gain: 3.02726  
 Offset: -0.0268275 (Volts)  
 GCTS Board #: 949  
 Digital Filter: NS  
 Software Offset: 0.0 (mm)  
 Sensor ID: Pore Press. LVDT  
     Sensor Type: AC  
     Model #: MS PR750-5000  
     Serial #: 91849  
     Parameter: Displacement/Length  
     Range(mm): Max: 127 Min: -127  
     Calibration: Date: 09/22/09

Type: Linear - Two point  
 Point Engineering Value (mm) Output (Volts/Volt)  
 First -127 0.498642  
 Second 127 -0.497385  
 Equation: Output ((mm)) = -255.013 \*(Volts/Volt) +  
 0.160254  
 10 Inner Temperature Max: 500 (deg C) Min: -200 (deg C)  
 Gain: 36.9731  
 Offset: 0.118 (Volts)  
 GCTS Board #: 1172N  
 Digital Filter: 1 (Hz)  
 Temperature Reference Input: AI-12: Controller Tempert  
 Software Offset: 0.0 (deg C)  
 Sensor ID: Inner TC  
 Sensor Type: TC  
 Model #: -  
 Serial #: -  
 Thermocouple Type: K  
 Range(deg C): Max: 500 Min: -200  
 11 Wall Temperature Max: 1000 (deg C) Min: -200 (deg C)  
 Gain: 11.6056  
 Offset: 0.657044 (Volts)  
 GCTS Board #: 1164N  
 Digital Filter: NS  
 Temperature Reference Input: AI-12: Controller Tempert  
 Software Offset: -12 (deg C)  
 Sensor ID: Wall TC  
 Sensor Type: TC  
 Model #: -  
 Serial #: -  
 Thermocouple Type: E  
 Range(deg C): Max: 1000 Min: -200  
 12 Controller Tempert Max: 150 (deg C) Min: -50 (deg C)  
 DC External Excitation:  
 Max: 1 (VDC)  
 Min: 0 (VDC)  
 Digital Filter: 0.1 (Hz)  
 Software Offset: 0.0 (deg C)  
 Sensor ID: Controller Tempert  
 Sensor Type: DC  
 Model #: AD22100  
 Serial #: -  
 DC Sensor Output: Absolute  
 Parameter: Temperature  
 Range(deg C): Max: 150 Min: -50  
 Calibration: Date: 08/30/09  
 Type: Linear - Two point

Point Engineering Value (deg C)Output (Volts)  
 First -50 0.25  
 Second 150 4.75  
 Equation: Output ((deg C)) = 44.4444 \*(Volts) + -

61.1111  
 13 Pump Oil Level Max: 40 (cm) Min: 0 (cm)  
 DC External Excitation:  
 Max: 1 (VDC)  
 Min: 0 (VDC)  
 Digital Filter: 0.1 (Hz)  
 Software Offset: 0.00 (cm)  
 Sensor ID: Pump Oil Level  
 Sensor Type: DC  
 Model #: MPX5010  
 Serial #: -  
 DC Sensor Output: Absolute  
 Parameter: Displacement/Length  
 Range(cm): Max: 40 Min: 0  
 Calibration: Date: 08/30/09  
 Type: Linear - Two point  
 Point Engineering Value (cm) Output (Volts)  
 First 0 0.2  
 Second 25 1.1  
 Equation: Output ((cm)) = 27.7778 \*(Volts) + -5.55556

C) 14 Pump Oil Temperature Max: 150 (deg C) Min: -50 (deg C)  
 DC External Excitation:  
 Max: 1 (VDC)  
 Min: 0 (VDC)  
 Digital Filter: 0.1 (Hz)  
 Software Offset: 0.0 (deg C)  
 Sensor ID: Pump Oil Temperature  
 Sensor Type: DC  
 Model #: AD22100  
 Serial #: -  
 DC Sensor Output: Absolute  
 Parameter: Temperature  
 Range(deg C): Max: 150 Min: -50  
 Calibration: Date: 08/30/09  
 Type: Linear - Two point  
 Point Engineering Value (deg C)Output (Volts)  
 First -50 0.25  
 Second 150 4.75  
 Equation: Output ((deg C)) = 44.4444 \*(Volts) + -

61.1111  
 15 Not Defined  
 16 Cell Press. Volume Max: 300 (cm³) Min: 0 (cm³)

Inputs Function:  
 0.0022881 \*AI-4: Cell Press. LVDT Coefficient  
 for Inputs Function: 1  
 Software Offset: -213.8 (cm<sup>3</sup>)  
 17 Pore Press. Volume Max: 300 (cm<sup>3</sup>) Min: 0 (cm<sup>3</sup>)  
 Inputs Function:  
 0.00114009 \*AI-6: Internal LVDT 1 Coefficient  
 for Inputs Function: 1  
 Software Offset: 0.0 (cm<sup>3</sup>)  
 18 ave. LVDT1\_2 Max: 2.5 (mm) Min: -2.5 (mm)  
 Inputs Function:  
 0.5 \*AI-6: Internal LVDT 1+0.5\*AI-7: Internal LVDT 2  
 Coefficient for Inputs Function: 1  
 Software Offset: 0.000 (mm)  
 19 Not Defined  
 20 Not Defined  
 21 Not Defined  
 22 Not Defined  
 23 Not Defined  
 24 Not Defined  
 25 Not Defined  
 26 Not Defined  
 27 Not Defined  
 28 Not Defined  
 29 Not Defined  
 30 Not Defined  
 Triaxial Analog Outputs  
 1 Axial Actuator  
 Valve: Servo  
 Static  
 Max Control Error: 20 (pfs)  
 Max Control Rate: 1.5 (pfs/sec)  
 Dynamic  
 Max Control Error: 50 (pfs)  
 Peak & Valley Compensation:  
 Sensitivity: 0.25 (pfs)  
 Convergence Rate: 25 (%)  
 Dither:  
 Amplitude: 0.1 (Volts)  
 Frequency: 150 (Hz)  
 Digital Output Control: 0  
 Control Type: AO:On=>DO:On AO:Off=>DO:Off \*  
 Primary Feedbacks  
 Force/Pressure: 0  
 Displacement/Volume: 1  
 2 Cell Pressure  
 Valve: Servo

Static

Max Control Error: 20 (pfs)  
Max Control Rate: 1.5 (pfs/sec)

Dynamic

Max Control Error: 50 (pfs)  
Peak & Valley Compensation:  
Sensitivity: 0.25 (pfs)  
Convergence Rate: 25 (%)

Dither:

Amplitude: 0.5 (Volts)  
Frequency: 150 (Hz)

Digital Output Control: 2

Control Type: AO:On=>DO:On AO:Off=>DO:Off \*

Primary Feedbacks

Force/Pressure: 2  
Displacement/Volume: 3

3 Pore Pressure

Valve: Servo

Static

Max Control Error: 20 (pfs)  
Max Control Rate: 1.5 (pfs/sec)

Dynamic

Max Control Error: 50 (pfs)  
Peak & Valley Compensation:  
Sensitivity: 0.25 (pfs)  
Convergence Rate: 25 (%)

Dither:

Amplitude: 0.5 (Volts)  
Frequency: 150 (Hz)

Digital Output Control: 3

Control Type: AO:On=>DO:On AO:Off=>DO:Off \*

Primary Feedbacks

Force/Pressure: 4  
Displacement/Volume: 5

Triaxial Temperature Outputs

1 Temperature

Temperature Control:

Heater Output: DO-6: Temperature Control  
Temperature Input: AI-10: Inner Temperature  
Max Control Rate: 5.0 °C/min

Secondary Temperature Limit Control:

Secondary Input: AI-11: Wall Temperature  
Temperature Offset: 10 °C

Coolant Control: NS

Circulation Control: NS

Duty Cycle: Medium (6 sec) - cooling

Triaxial Configuration

Control

Axial Actuator: 1  
 Cell Pressure: 2  
 Pore Pressure: 3  
 Air Pore Pressure: None - Manual

Hardware

Loading Piston Area: 0.0022881 m<sup>2</sup>  
 Seating/Contact Stress: 1.0 (MPa)  
 Lateral Deformation Measurement: Circumferencial  
 Chain Length: 151.130 (mm)  
 Roller Radius: 3.940 (mm)  
 Pore Pressure Drain Valve Control: Manual Valve

Inputs

Axial Load: AI-1: Axial Load  
 Frame Axial Displacement: AI-2: Axial Displacement  
 Gauge Axial Deformation: UFI-3: ave. LVDT1\_2  
 CP - Cell Pressure: AI-3: Cell Pressure  
 U - Pore Pressure: AI-5: Pore Pressure  
 Lateral Deformation: AI-8: Internal LVDT 3  
 External (Cell) Volume: UFI-1: Cell Press. Volume  
 Pore Volume: UFI-2: Pore Press. Volume  
 Ua - Pore Air Pressure: (none)

Specimen

Calculation of Radial Strain - Er:  $E_r = \text{measured } dr/R$   
 Calculation of Volumetric Strain - Ev:  $E_v = E_a + 2E_r$   
 Strain Handling Threshold: 0.050 (%)

Triaxial Setup

Stages: 1  
 1: Static: brent

Axial Actuator

Control Feedback: TI-1: Ea - Axial Strain  
 Mode: Ramp  
 Initial Value: Relative  
 Ramp Rate: 0.1 (%)/(Minute(s))  
 Final Value: 10 (%)

Cell Pressure

Control Feedback: AI-3: Cell Pressure  
 Mode: Constant  
 Constant Value: Relative

Pore Pressure

Control Feedback: None - Control Undefined

Stage End

Maximum Axial Strain: 10.000 (%)  
 Maximum Time for Static Loading Stage: 102 (Minute(s))  
 Input Limit: NS  
 Peak Reversal:  
 Input: TI-7: Sd - Deviator Stress

Reversal Value: 10.0 (MPa)

Threshold: 1.0 (MPa)

Data Acquisition

Timed Increments: 5 (Seconds)

Level Crossing: Selected

Master Input: TI-7: Sd - Deviator Stress

Sensitivity: 0.5 (MPa)

Type: Drained

Beginning of Stage - Handling Strains:

Zero Deformations

Save Objects - Save @ each Recording:

Time

Inputs: 16

AI-1: Axial Load

AI-2: Axial Displacement

AI-3: Cell Pressure

AI-4: Cell Press. LVDT

AI-5: Pore Pressure

AI-6: Internal LVDT 1

AI-7: Internal LVDT 2

AI-8: Internal LVDT 3

AI-10: Inner Temperature

UFI-1: Cell Press. Volume

UFI-2: Pore Press. Volume

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: Completed - Peak Reversal activated

Stages: 1

Stage Index: 1

Type: Static Loading

Specimen:

Height: 135.000 (mm)

Axial Gauge Length: 50.000 (mm)

Diameter: 54.000 (mm)

Area: 22.902 cm<sup>2</sup>

Volume: 309.18 cm<sup>3</sup>

Max (Peak) Sd - Deviator Stress: 339.0 (MPa)

Time: 269.059 (Seconds) => 04:29

CP - Cell Pressure: 50.0 (MPa)

U - Pore Pressure: 0.5 (MPa)

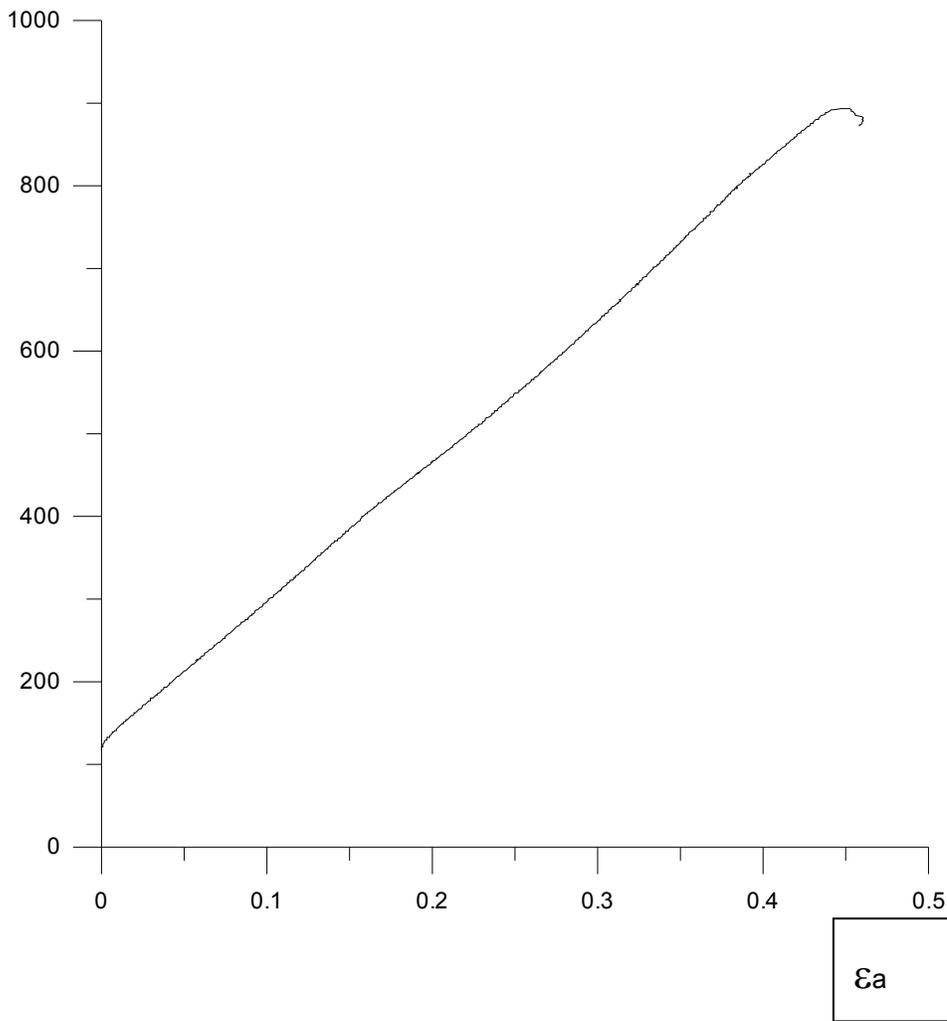
Ea - Axial Strain: 0.449 (%)

Er - Radial Strain: -0.202 (%)

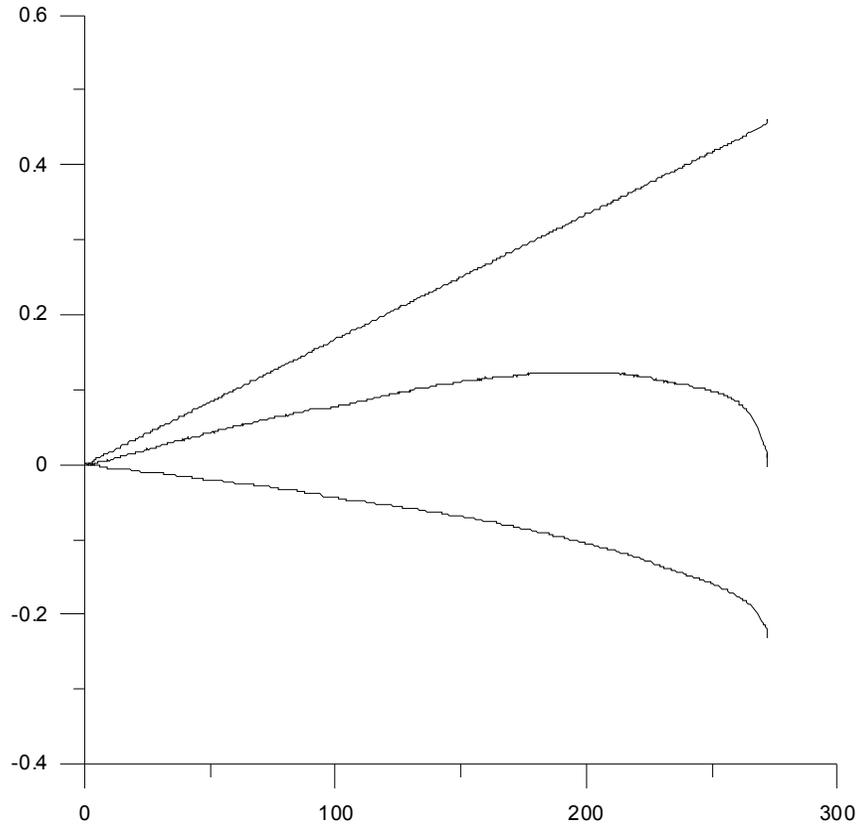
Ev - Volumetric Strain: 0.046 (%)

Sa - Axial Stress: 389.0 (MPa)  
 Sa' - Axial Effective Stress: 388.5 (MPa)  
 Sc' - Cell Effective Pressure: 49.5 (MPa)  
 End (Residual) Sd - Deviator Stress: 328.9 (MPa)  
 Time: 272.466 (Seconds) => 04:32  
 CP - Cell Pressure: 50.0 (MPa)  
 U - Pore Pressure: 0.5 (MPa)  
 Ea - Axial Strain: 0.458 (%)  
 Er - Radial Strain: -0.232(%)  
 Ev - Volumetric Strain: -0.004(%)  
 Sa - Axial Stress: 378.9 (MPa)  
 Sa' - Axial Effective Stress: 378.4 (MPa)  
 Sc' - Cell Effective Pressure: 49.5 (MPa)

Data Points (Rows): 716



T



Ea - Axial Strain  
Er - Radial Strain  
Ev - Volumetric Strain



# 11.7. FICHA DEL “CATALOGO DE PARAMENTROS GOMECANICOS DE VENEZUELA”

## Catalogo de parámetros Geológicos-Petrográficos-Geomecánicos de Venezuela

### Localidad: Caicara del Orinoco, edo. Bolívar

Datos obtenidos del T.E.G. “CARACTERIZACION GEOLOGICA DE PARAMETROS GEOLOGICOS, PETROGRAFICOS Y GEOMECANICOS DE UNA LOCALIDAD AL SUR DE CAICARA DEL ORINOCO- ESTADO BOLIVAR”. Elaborado por David R. Estraña C. y Luis A. Pérez B.

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Caracas, Dto. Capital, Año 2011

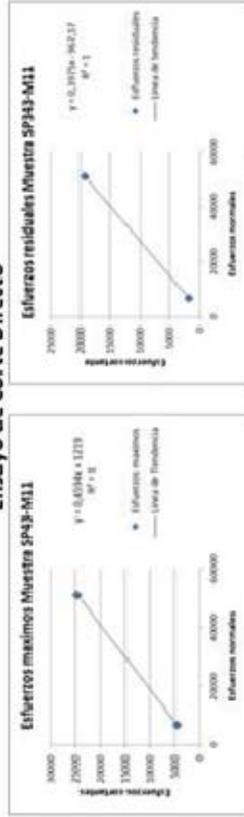
### Granito de Santa Rosalía

#### Parámetros Geomecánicos

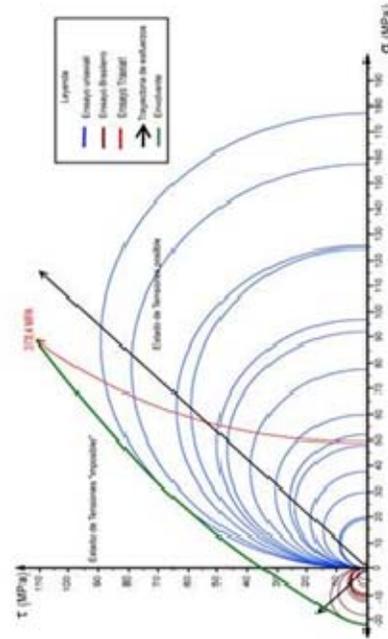
##### Ensayo Ultrasonico Ensayo Carga Puntual

| Valores           | Promedio | Cargas                      | Promedio |
|-------------------|----------|-----------------------------|----------|
| Vp                | 4458 m/s | Carga Máxima                | 28,5 MN  |
| Vs                | 1817 m/s | Is (50)                     | 360 MPa  |
| Modulo de Young   | 66 MPa   | Resistencia a la compresión | 76,8 MPa |
| Modulo de bulk    | 8,06 GPa |                             |          |
| Modulo de shear   | 9,72 GPa |                             |          |
| Modulo de Poisson | 0,29     |                             |          |

##### Ensayo de Corte Directo



##### Ensayos de Compresión Simple, Brasilero y Triaxial



#### Parámetros Petrográficos

Composición Mineralógica Promedio

| Minerales                         | Porcentaje %   |
|-----------------------------------|----------------|
| Cuarzo                            | 35%            |
| Feldespato                        | 20%            |
| Plagioclasa                       | 15%            |
| Moscovita                         | 15%            |
| Biotita                           | 5%             |
| Opaco, Horbenda, Zircón y Apatito | 2%, 3%, 2%, 3% |