

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOMECÁNICA DEL TOPE DE ROCA, FORMACIÓN ONIA, AL NOROESTE EN SANTA CRUZ DE MARA EN LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo

Tutor Industrial: Ing. Diana De Ponte

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por las TSU García Perna, Eddit Noraima y
García Pernia, Elvi Doraly
Para optar al Título de
Ingeniera Geóloga**

Caracas, 2017

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOMECÁNICA DEL TOPE DE ROCA, FORMACIÓN ONIA, AL NOROESTE EN SANTA CRUZ DE MARA EN LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo

Tutor Industrial: Ing. Diana De Ponte

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por las TSU García Pernia. Eddit Noraima y
García Pernia Elvi Doraly
Para optar al Título de
Ingeniera Geóloga**

Caracas, 2017

Los abajo firmantes del jurado Designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las TSU Elvi D. García y Eddit N. García, titulado

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOMECÁNICA DEL TOPE DE
ROCA, FORMACIÓN ONIA, AL NOROESTE EN SANTA CRUZ DE MARA
EN LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniera Geóloga e Ingeniero, y sin que ello signifique hacerse solidarios con las ideas expuestas por los Autores, lo declaran APROBADO.

Prof. Pietro Di Marco

Jurado

Prof. Omar Márquez

Jurado

Prof. Miguel Castillejo

Tutor Académico

Ing. Diana De Ponte

Tutor Industrial

DEDICATORIA

A Dios por haber permitido obtener este título.

A mi padre, por ser el mejor del mundo de ti recibí las lecciones de vida más importantes, fuiste mi guía y mi luz, saber que ya no estas, me parte el corazón, te extrañare toda la vida, te amo papito.

A mi madre por haberme apoyado en todo momento por sus consejos, sus valores, por la motivación constante, por su amor y dedicación, te amo mamita.

A Brianna Nicole mi hija adorada quien con su ternura y alegría me dio fuerza para culminar mi carrera.

A león Toro mi esposo por estar a mi lado, por su amor y por acompañarme en los momentos difíciles y forjar cada día un futuro junto a nuestra hija.

A mis hermanos, Luz Yazmín, Jesús Adonias y Noraima con quien he compartido alegrías, tristezas, buenos y malos momentos, los amo.

A mis sobrinos por brindarme su amor y cariño, por compartir sus alegrías y sonrisas.

Elvi Doraly García

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso.

A mi padre por que fuiste un gran padre, un gran hombre y que con su amor y dedicación me ayudo a lograr esta meta, siempre estarás en mi mente y en mi corazón, te amo.

A mi madre, por darme la vida, por estar apoyándome en todo momento, por sus consejos, por el amor incondicional que siempre me das por eso y mucho más te amo.

A mi hija Sara Estefanía por haber soportado como parte del sacrificio para lograr estos objetivos.

A mis hermanos, Luz Yazmín, Jesús Adonias y Doraly por estar siempre a mi lado y siempre estaremos juntos.

A mis sobrinos por su cariño y amor.

Eddit Noraima García.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso por darnos la vida y la perseverancia para poder vencer los obstáculos y problemas que se nos presentaron en el transcurso de nuestra carrera.

A nuestros amados padres, Ramón García y prudencia de García, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban por el avance y desarrollo de nuestra carrera, por su amor incondicional.

A nuestros hermanos y sobrinos por estar siempre con nosotras ayudándonos y apoyándonos en todo los sentidos.

A nuestro tutor académico profesor Miguel Castillejo, por todo el apoyo y colaboración brindada.

A nuestra tutora industrial Ing, Diana De Ponte, por colaboración, orientación y el afecto con que nos encamino durante todo el desarrollo de la tesis.

A la universidad U.C.V., nuestra casa que vence las sombras y a la escuela de geología, por habernos formado profesionalmente.

Al profesor Lenin González que nos dio aporte y asesoría en este trabajo de grado.

A los profesores que siempre nos ayudaron y aporte conocimiento para nuestra formación: Alezones, Machilanda, Rafael Falcón, David Mendel, Adonai, Maria.

A la empresa Geohidra Consultores, por facilitarnos las muestras que se utilizaron para el estudio y darnos la oportunidad de estudiar mientras trabajamos muy especialmente al sr. Antonio Gomez (el mejor jefe).

A nuestros amigos por su apoyo para la realización de esta tesis como son: Arquímedes Padrón, Diego Marchan, Francimar, Emeli, Jesús, Daniel, Yonathan Montilva, Victor Barriles y Morella de Castillo.

A dos amigos muy especiales Yonkar Morillo y Indira Varela, por estar con nosotras desde el principio de nuestra carrera y apoyarnos dándonos fuerzas cuando más las necesitamos, los queremos.

Son muchas las personas que han formado parte de nuestra vida a los que nos encantaría agradecer su amistad, consejos y apoyo, algunas están aquí con nosotras y otras en nuestro recuerdos y en nuestro corazones: Roda De Mola, Fanger Méndez, Milagros, Andrea, Lina Pantoja, Krisay, Claudia, Anderson Trejo, Karelis Malpica, Yasdey, Wuilder, Carlos Castillo, William, Martínez, Eglis, Mónica Silva.

A nuestros jefes del trabajo, Marialejandra y Mirley por su comprensión y colaboración por darnos el tiempo necesario para la culminación de esta tesis.

Elvi D. García P.

Eddit N. García P.

García P., Elvi D.

García P., Eddit N.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOMECAÁNICA DEL TOPE DE
ROCA, FORMACIÓN ONIA, AL NOROESTE EN SANTA CRUZ DE MARA
EN LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA**

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo. Tutor Industrial: Diana De Ponte

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica

Departamento de Geología - Año 2017, 383p.

Palabras Claves: Caolinita, ilita, lutita, geomecánica, mecánica de roca, resistencia a la compresión, modelo geomecánico, modelo geológico, meteorización. Formación Onia

RESUMEN

Este proyecto se llevó a cabo con la finalidad de determinar las características geológicas-geomecánicas del tope de roca de la Formación Onia ubicado en el área E-W del Lago de Maracaibo, esta investigación comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicia con la descripción visual de la litología presente en las siete perforaciones y el análisis de los estados de esfuerzos de deformación de la roca, como resultado se obtuvo distintos parámetros tales como: compresión, resistencia al corte, tracción, cohesión, ángulo de fricción densidad, composición mineral y grado de meteorización, para luego ajustarlos a los parámetros geomecánicos mediante el software *Rodacta* V4.014 para modelar un perfil geomecánico y un análisis geológico geomecánico de los núcleos de roca.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XV
INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.1. UBICACIÓN	17
1.3 JUSTIFICACIÓN	18
1.4 ALCANCE	18
1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.5.1 Objetivo General	19
1.5.2 Objetivos Específicos	19
1.6 ANTECEDENTES	19
2 MARCO TEÓRICO	22
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL	22
2.2 EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO	22
2.2.1. Cretácico	22
2.2.2. Paleoceno - Eoceno	23
2.2.3. Eoceno Tardío - Oligoceno	23
2.2.4. Mioceno - Plioceno	23
2.2.5. Pleistoceno - Reciente	23
2.3 SISTEMA DE FALLAS DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO	24
2.3.1 Falla de Oca-Ancón	25
2.3.2 Falla de Boconó	27
2.3.3 Falla de Santa Marta-Bucaramanga	27
2.4 FORMACIÓN ONIA	28
2.5 GEOLOGIA LOCAL	29
2.5.1 Perforación P-1 y P-2	29
2.5.2 Perforación P-3 y P-4:	30
2.5.3 Perforación P-5:	30
2.5.4 Perforación P-6 y P-7:	30
2.5.5 Variación Lateral del Perfil Litoestratigráfico:	32
2.6 MARCO CONCEPTUAL	33

2.6.1 Arenisca	33
2.6.2 Lutitas	34
2.6.3 Difracción de Rayos-X.....	34
2.6.4 Rocas Arcillosas	37
2.6.5 Minerales de Arcilla.....	37
2.6.6 Caolinita.....	38
2.6.7 Ilita.....	38
2.6.8 Cuarzo (SiO ₂)	39
2.6.9 Mecánica de Rocas.....	39
2.6.10 Rocas	40
2.6.11 Meteorización	40
2.6.12 Grado de Meteorización	40
2.6.13 Procesos de Meteorización	41
2.6.14 Clasificación según el Estado Físico de una Roca.....	41
2.6.14.1 Según el estado de meteorización:	41
2.6.14.2 Según la consistencia:	42
2.6.15 Esfuerzo (σ)	43
2.6.16 Esfuerzos y Tensiones en las Rocas.....	43
2.6.17 Cohesión (c).....	44
2.6.18 Resistencia y Parámetros Resistentes.....	44
2.6.19 Criterio de Rotura de Hoek-Brown	45
2.6.20 Criterio de Mohr-Coulomb.....	47
2.6.21 Índice de Resistencia Geológica (GSI)	49
2.6.22 Ensayos Geomecánicos	52
2.6.22.1 Compresión Uniaxial	52
2.6.22.2 Compresión Triaxial.....	54
2.6.22.3 Tracción Indirecta o Ensayo Brasilero	55
2.6.22.4 Corte Directo	57
3. MARCO METODOLÓGICO	59
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	59
3.3. MUESTRAS	59
3.4. MEDIOS, INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS.....	60
3.5. METODOLOGÍA.....	61
3.5.1. Etapa I: Recopilación y Análisis de Información.....	61
3.5.1.1. Recopilación de la información	61
3.5.1.2. Análisis de la Información Recopilada.....	61
3.5.2. Etapa II: Recolección de Muestras	61
3.5.2.1. Escogencia de las Muestras.....	62
3.5.3. Etapa III: Trabajo de Laboratorio	62

3.5.3.1. Estudio descriptivo de los núcleos	62
3.5.3.2. Estudio de Difracción de Rayos-X.....	62
3.5.3.3. Estudios Geomecánicos.....	62
3.5.4. Etapa IV: Trabajo de Oficina.....	63
3.5.4.1. Elaboración de Reportes y Análisis de los Resultados:	63
4. RESULTADOS Y ANALISIS	64
4.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA.....	64
4.2 PROPIEDADES INDICE	64
4.3 DIFRACCION DE RAYOS X.....	65
4.4 ENSAYOS GEOMECÁNICOS	66
4.4.1 Ensayo de Corte Directo (ASTM D5607-08)	66
4.4.2 Ensayos de Compresión Uniaxial (ASTM D7012-14 MÉTODO D), Tracción Indirecta (Brasilero) (ASTM D 3967-08) y Compresión Triaxial (ASTM D7012-14 MÉTODO B).....	73
4.5 ANÁLISIS GEOLÓGICO GEOMECÁNICO DE LOS NÚCLEOS DE ROCAS	77
4.5.1 Ensayos de Corte Directo en Discontinuidad	79
4.5.2 Ensayos de Compresión Uniaxial	80
4.5.3 Ensayos de Tracción Indirecta (Brasilero)	83
4.5.4 Ensayo Triaxial.....	85
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
5.1 CONCLUSIONES.....	87
5.2 RECOMENDACIONES	88
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1.	MAPA DE LA ZONA DE ESTUDIO N/E.....	17
FIGURA 2.1.	MAPA GEOLÓGICO REGIONAL. DONDE SE REFLEJA EL RECIENTE Y PLIOCENO- PLEISTOCENO DEL CUATERNARIO. EL PLEISTOCENO QUE ES LA PRIMERA Y MÁS LARGA PARTE DEL PERIODO Y ÉPOCA RECIENTE TAMBIÉN LLAMADA HOLOCENO, QUE LLEGA HASTA NUESTROS DÍAS. UBICADO EN LA PARTE NORTE DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO.....	24
FIGURA 2.2.	MARCO GEODINÁMICO DEL NORTE DE SURAMÉRICA, DONDE SE MUESTRA LA FRAGMENTACIÓN DE LA REGIÓN EN DIVERSOS BLOQUES CONTINENTALES COMO CONSECUENCIA DE LA SATURACIÓN DEL BLOQUE DEL CHOCÓ (EN VERDE) CONTRA SURAMÉRICA. SE INDICA IGUALMENTE LOS MOVIMIENTOS RELATIVOS ESPERADOS DE DISTINTOS BLOQUES TECTÓNICOS O COMPORTAMIENTOS CON REFERENCIA A SURAMÉRICA FIJA. (TOMADO DE AUDEMARD 2002).	25
FIGURA 2.3.	MAPA DE FALLAS CUATERNARIAS DE VENEZUELA (TOMADO DE AUDEMARD, F. 2004).....	26
FIGURA 2.4.	SISTEMA DE FALLAS QUE DELIMITAN EL BLOQUE DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO. TOMADO DEL SITIO WEB HTTP://GEOLOGIAVENEZOLANA.BLOGSPOT.COM/P/MAPAS-GEOLOGICOS.HTML	28
FIGURA 2.5.	MAPA DE LA UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES.....	29
FIGURA 2.6.	PERFIL GEOLÓGICO DE LAS PERFORACIONES DONDE SE DESCRIBEN LA LITOLOGÍA PRESENTE EN LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO.	31
FIGURA 2.7.	PERFIL GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO DONDE SE PUEDE OBSERVAR LOS TIPOS DE DEPÓSITOS FORMADOS POR RÍO Y LAGOS. A DEPÓSITOS LACUSTRES Y DE DELTAS. B DIRECCIÓN DEL CRECIMIENTO DE DELTAS. TOMADO: HTTP://DANIELMARIN.NAUKAS.COM/FILES/2014/12/MARS-ROVER- CURIOSITY-GUPTA-5-DELTA-CARTOON-RIVER-LAKE-PIA19071-BR2.JPG. 02/02/2016.....	32
FIGURA 2.8.	EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO, MOSTRANDO LOS DISTINTOS TIPOS DE RADIACIÓN Y LONGITUDES DE ONDA. (TOMADO Y MODIFICADO DE BARITTO 2003).....	35
FIGURA 2.9.	ESQUEMA DEL SISTEMA ÓPTICO DE UN DIFRACTÓMETRO DE RAYOS-X PHILIPS (TOMADO Y MODIFICADO DE: POPPE ET AL. 2001.).....	35
FIGURA 2.10.	ESPECTRO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE UNA MEZCLA DE CALCITA Y ARAGONITO, INDICANDO EN ROJO LOS PICOS PRINCIPALES DE ARAGONITO Y EN MORADO LOS DE CALCITA. EL EJE HORIZONTAL REPRESENTA LA POSICIÓN DE LOS PICOS EXPRESADOS EN VALORES DE ÁNGULOS Y EN EL EJE VERTICAL LA INTENSIDAD DE LOS PICOS DE DIFRACCIÓN EXPRESADO EN PORCENTAJE (TOMADO Y MODIFICADO DE POPPE ET AL 2001).	37
FIGURA 2.11	ESTRUCTURA DE LAS CAOLINITAS, ILITAS. TOMADO DE: (GONZÁLEZ DE VALLEJO, 2002).....	39

FIGURA 2.12.	DIFERENTES ESTADOS DE TENSIONES APLICADOS A PROBETAS DE LABORATORIO (TOMADO DE GONZÁLEZ DE VALLEJO 2002.).....	44
FIGURA 2.13.	ENVOLVENTES DE ROTURA DEL CRITERIO DE HOEK Y BROWN (1980) EN FUNCIÓN DE LOS ESFUERZOS PRINCIPALES (A) Y DE LOS ESFUERZOS NORMAL Y TANGENCIAL (B). TOMADO DE (GONZÁLEZ DE VALLEJO & FERRER, 2002).	47
FIGURA 2.14.	CRITERIO LINEAL DE ROTURA DE MOHR-COULOMB (TOMADO DE GONZÁLEZ DE VALLEJO 2002).	48
FIGURA 2.15.	ENVOLVENTE DE MOHR-COULOMB EN TÉRMINOS DE ESFUERZOS TANGENCIALES Y NORMALES (A) Y ESFUERZOS PRINCIPALES (B). PARA UN ESTADO TENSIONAL SITUADO POR DEBAJO DE LAS RECTAS O ENVOLVENTES NO SE PRODUCIRÁ LA ROTURA. (TOMADO DE GONZÁLEZ DE VALLEJO 2002).	49
FIGURA 2.16.	ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PROPUESTO POR. TRUZMAN (1999)	51
FIGURA 2.17.	ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL (CASTILLEJO, 1993A)	52
FIGURA 2.18.	VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN L/D. DATOS DE GREEN & PERKINS, 1968; MOGI 1966	53
FIGURA 2.19.	ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL (CASTILLEJO, 1993 ^a).....	54
FIGURA 2.20.	ESQUEMA DE ENSAYO BRASILEÑO (CASTILLEJO, 1993A).....	55
FIGURA 2.21.	DIAGRAMA DE LAS TENSIONES A LO LARGO DEL EJE Y PARA UN DISCO SOMETIDO A COMPRESIÓN DIAMETRAL CONCENTRADA Y DISTRIBUIDA EN UN ARCO DEL CIRCULO (ADDINAL & HACKET, 1964) (CASTILLEJO, M., 1993).	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO 4.4.1.1. MODELO GEOMECÁNICO UTILIZANDO EL CRITERIO DE MOHR-COULOMB PARA ESFUERZOS MÁXIMOS.....	69
GRAFICO 4.4.1.2. MODELO GEOMECANICO UTILIZANDO EL CRITERIO DE BARTON-BANDIS PARA ESFUERZOS MÁXIMOS.....	70
GRAFICO 4.4.1.3. MODELO GEOMECÁNICO UTILIZANDO EL CRITERIO DE MOHR-COULOMB PARA ESFUERZOS MÍNIMOS.....	71
GRAFICO 4.4.1.4. MODELO GEOMECÁNICO UTILIZANDO EL CRITERIO DE BARTON-BANDIS PARA ESFUERZOS MÍNIMOS.....	72
GRAFICO 4.4.2.1. MODELO GEOMECÁNICO UTILIZANDO EL CRITERIO DE MOHR COULUMB.....	75
GRAFICO 4.4.2.2. MODELO GEOMECÁNICO UTILIZANDO EL CRITERIO DE HOEK-DIEDERICHS	76
GRAFICO 4.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Σ_c) VS ABSORCIÓN (%), DONDE SE OBSERVA LA TENDENCIA DE LOS VALORES DE ABSORCIÓN.....	79
GRÁFICO 4.5.2.1. MÓDULO DE YOUNG (E) VS PROFUNDIDAD (M) DE LAS MUESTRAS DE LUTITA, EN DONDE SE OBSERVA LAS VARIACIONES EN LOS VALORES DE ELASTICIDAD.....	82
GRAFICO 4.5.2.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Σ_c) VS PROFUNDIDAD (M), DONDE SE OBSERVA LA DIFERENTES VALORES DE LA RESISTENCIA	83
GRAFICO 4.5.2.3 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Σ_T) VS PROFUNDIDAD (M), DONDE SE OBSERVA LA LÍNEA DE TENDENCIA DE LOS VALORES DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	84
GRAFICO 4.5.2.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Σ_D) VS PROFUNDIDAD (M), SE OBSERVA LA TENDENCIA DE LOS VALORES DE LA RESISTENCIA.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.6.1:	DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE METEORIZACIÓN (TOMADO DE GONZÁLEZ DE VALLEJO 2002.)	40
TABLA 2.6.2:	CLASIFICACIÓN DE ROCA (FLORES CALCAÑO, 1962)	42
TABLA 4.2.1:	PROPIEDADES ÍNDICES	65
TABLA 4.3.1:	DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	66
TABLA 4.4.1.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO	67
TABLA 4.4.1.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CONTINUACIÓN).....	68
TABLA 4.4.1.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO (CONTINUACIÓN).....	69
TABLA 4.4.2.	RESULTADOS DEL ENSAYO COMPRESIÓN UNIAXIAL, BRASILERO Y TRIAXIAL.....	74
TABLA 4.5.	RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE	78
TABLA 4.5.1.	RESULTADOS DEL ENSAYO CORTE DIRECTO	80
TABLA 4.5.2.	RESULTADOS DEL ENSAYO COMPRESIÓN UNIAXIAL.....	81
TABLA 4.5.3	RESULTADOS DEL ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA.....	84
TABLA 4.5.4	RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL.....	85

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Lago de Maracaibo tiene un potencial energético e hidrológico de gran relevancia para el país, en él están situados el mayor número de pozos petroleros, además de ser reconocido como el único Lago de agua dulce en el mundo que tiene conexión directa y natural con el mar; se conecta con el Mar Caribe a través del Golfo de Venezuela.

La geología de este lago, es muy variada y una de las formaciones presentes es la Formación Onia, dicha Formación presenta un conjunto de sedimentos jóvenes que son parte de los sistemas orogénicos continentales aun no totalmente estabilizados.

En función de ello; para el diseño del segundo puente sobre el Lago de Maracaibo se realizó un estudio geológico-geomecánico de los núcleos de roca obtenidos en las perforaciones ejecutadas sobre el alineamiento E-W ubicado entre las poblaciones Santa Cruz de Mara y Punta de Palmas en la Cuenca del Lago de Maracaibo.

Se sometió a la evaluación y caracterización de las propiedades geomecánicas presentes, con el fin de aportar información geotécnica de la zona, así como las recomendaciones pertinentes para el diseño de las fundaciones de la estructura a proyectar, contribuyendo al fortalecimiento de dicho proyecto y a su construcción, el cual ofrecerá beneficios a la población.

Para realizar el trabajo de investigación se evaluaron las siguientes variables: ubicación de las perforaciones en la cuenca, alineamiento y distancia, trabajos previos realizados en dichas zona para tener conocimiento de las propiedades geológicas, geomecánicas y mineralógicas de los núcleos de rocas extraídos de las siete perforaciones en estudio. Para su estudio se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio: Corte Directo en roca, Compresión Uniaxial en roca, Compresión Triaxial en roca, Tracción Indirecta (Brasilero) y estudio de Difracción de Rayos-X, para luego analizar los resultados empleando tablas, gráficos, ecuaciones empíricas, fotografías y correlación de datos para presentar la información obtenida y poder obtener conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Ubicación

La zona en estudio se encuentra ubicada en la parte noroccidental del estado Zulia. Limita al norte, con el Municipio Páez; al sur, con los Municipios Jesús Enrique Lossada y Maracaibo; al este, con el Lago de Maracaibo y el Municipio Almirante Padilla; y al oeste, con la República de Colombia. El Municipio Mara tiene una superficie de 3.588 km², por lo que ocupa el 6,58% de la superficie total del estado Zulia. Su capital es la ciudad de San Rafael de El Moján. La capital del Municipio (El Moján), se encuentra ubicada a 51 km. aproximadamente de la ciudad de Maracaibo (ver figura 1.1).



Figura 1.1. Mapa de la Zona de Estudio N/E Tomado <http://soymapas.com/mapa-de-zulia.html>

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el desarrollo de la ingeniería para el avance del país en áreas tales como la industria petrolera, infraestructuras viarias, ferroviarias, obras hidráulicas, obras subterráneas y otras obras que suponen movimientos de tierras, es necesario el conocimiento del terreno y es donde, la geología y la geotecnia como ciencias de La Tierra son de mayor aplicación para el diseño y ejecución de diversos proyectos así como su influencia en la valoración económica.

Este trabajo tiene por finalidad realizar un estudio geológico-geomecánico sobre siete perforaciones distribuidas a lo largo del alineamiento E-W, con el fin de determinar las propiedades geomecánicas de los núcleos de roca extraídas del subsuelo, que aporten información para la correcta recomendación de fundaciones del II puente sobre la Cuenca del Lago de Maracaibo ubicado entre las poblaciones Santa Cruz de Mara y Punta de Palmas.

El estudio geológico-geomecánico de la roca, su litología y propiedades, facilitará los elementos necesarios para la recomendación y selección de las fundaciones del puente, así como también servirá de antecedentes para futuros trabajos geológicos en dicha zona.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo permite determinar las propiedades geológicas y el comportamiento geotécnico del tope de roca encontrado en las perforaciones realizadas para definir los parámetros más adecuados para el diseño y posterior construcción de las pilas del II puente sobre la Cuenca del Lago de Maracaibo, así como servir de fuente de información geológica-geomecánica para futuras investigaciones y obras en dicha zona.

Como parte del estudio, se hizo necesario recopilar y/o generar información geológica-geomecánica, lo cual se realizó a partir de la caracterización de muestras de núcleos facilitados por la empresa Geohidra Consultores C.A, con sede en Caracas-Venezuela. De los cuales se obtendrá información de la composición y condiciones del macizo rocoso para finalmente caracterizar la Formación Onia de la Cuenca del Lago de Maracaibo.

1.4 ALCANCE

La investigación se dirigirá a la caracterización geológica y geomecánica de las rocas (Formación Onia) en el alineamiento E-W entre las poblaciones Santa Cruz de Mara y Punta de Palmas de la Cuenca del Lago de Maracaibo, a partir de la descripción visual de núcleos de roca, determinación de propiedades índices, análisis de Difracción de Rayos-X y ensayos mecánicos de: Corte Directo en roca, Compresión Uniaxial en roca, Compresión Triaxial en roca, Tracción

Indirecta (Brasilero), con la finalidad de elaborar un modelo geológico-geomecánico del área de estudio, que permita obtener información de interés del subsuelo para la construcción de las pilas del II puente sobre la Cuenca del Lago de Maracaibo.

Se seleccionaron un conjunto de siete perforaciones representativas del alineamiento del puente según tramos de homogeneidad lateral y ambiente de depositación semejantes. La selección también se realizó en función de la calidad de los núcleos encontrados.

1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo General

Determinar las características geológicas-geomecánicas del tope de roca, Formación Onia, al noroeste en Santa Cruz de Mara de la Cuenca del Lago de Maracaibo, para la construcción de las fundaciones del II puente sobre el lago de Maracaibo, estado Zulia.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar las muestras en núcleos de roca de las perforaciones a partir del análisis estructural, mineralógico y Difracción de Rayos-X.
2. Determinar propiedades índices (porosidad, densidad y absorción) de los núcleos de perforación.
3. Caracterizar geomecánicamente de las perforaciones de rocas a partir de ensayos mecánicos: Compresión Uniaxial, Compresión Triaxial, Tracción Indirecta (Brasilero), y Corte Directo.
4. Generar un modelo geológico del tope de roca de la zona de estudio.
5. Generar un modelo geomecánico del tope de roca, basados en los datos de las perforaciones y los ensayos realizados sobre los núcleos de rocas.

1.6 ANTECEDENTES

- **OLIVEROS C. y OLIVEROS C. (2014).** Realizaron la caracterización geomecánica y análisis petrográfico del macizo rocoso a través del lineamiento, que indicaron distintos

parámetros: tracción, compresión, resistencia al corte, abrasividad, cohesión, ángulo de fricción, densidad, composición mineral, donde los parámetros geomecánicos se ajustaron mediante el software RocData para modelar un perfil geomecánico y un posterior análisis de estado de esfuerzo de elementos finitos, esto permitió inferir el desplazamiento vertical del túnel.

- **BERNAL O. y CHEIK J. (2011).** Realizaron un estudio geológico geotécnico y petrográfico para caracterizar muestras de rocas provenientes de las perforaciones realizadas a lo largo de la vía férrea, entre la ciudad de Tejerías estado Aragua y Cúa, estado Miranda. Para ello, se conjugó información bibliográfica, fotogeológica, y cartográfica con ensayos geotécnicos, sondeos a máquina del subsuelo y petrográficas. En cada tramo se realizó una caracterización geológica, petrográfica y geomecánica por medio de ensayos especiales en roca con el fin de elaborar un archivo o base de datos de referencia sobre los parámetros geológico-geomecánicos de Venezuela.
- **ROMERO J. (2011).** Realizó un estudio geológico-geotécnico en base a los núcleos de limolita obtenidos en las perforaciones del III Puente Sobre el Río Orinoco, a fin de evaluar la naturaleza del sustrato encontrado. El área de estudio se ubica entre las poblaciones de Caicara del Orinoco y Cabruta y se encuentra en la Cuenca Hidrográfica del Orinoco, Esta investigación ha contemplado el análisis de 33 perforaciones distribuidas a lo largo de un transecto de 12 km lineales. Se realizaron ensayos geomecánicos y con ellos se generó un perfil geomecánico.
- **AZUARTE D. (2004).** Realizó la caracterización geológica y geomecánica de los macizos rocosos de la sección Guatire-Caucagua de la autopista Rómulo Betancourt, Estado Miranda. En primer lugar una caracterización geológica para determinar si existan las diferencias litológicas que allí se reportan y en segundo lugar, una caracterización geomecánica de los macizos rocosos de la zona. De allí se obtuvieron parámetros de resistencia al corte, que reflejaban un estado de estabilidad mecánica de acuerdo al factor de seguridad obtenido por el método de Bishop. Dada la naturaleza no predicativa del

modelo geomecánico, se restringe su uso como metodología alterna a ensayos de resistencia al corte.

- **BERTORELLI G. (1997).** Realizó una caracterización geomecánica de las diferentes facies existentes y determinación de las direcciones de los esfuerzos principales, en el yacimiento Eoceno C/VGL-3676 área 2SUR, campo Ceuta, cuenca del Lago de Maracaibo, Estado Zulia. Se estudiaron principalmente los pozos VLG-3743, VLG-3768, VLG-3780 y VLG-3782, debido a que los mismos eran los que contenían información geomecánica de núcleos y registros, generada a través de ensayos de laboratorio. Posterior se interpretaron los datos geomecánicos, obtenidos a través de los ensayos de laboratorio (ensayo de compresión simple, carga puntual y compresión triaxial), de manera de caracterizar cada una de las facies. Los resultados obtenidos permitieron determinar la resistencia de las facies, los parámetros geomecánicos estáticos y dinámicos.
- **SALCEDO, D. (1969).** En su trabajo “Hacia una definición geotécnica de suelo y roca”, presentado en el IV Congreso Geológico Venezolano, establece un lenguaje común para clasificar los materiales de la tierra en obras de Ingeniería y hace una revisión de significados de los adjetivos que se usan para definir los tipos de rocas desde un punto de vista geotécnico.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La Cuenca de Maracaibo está ubicada al noroeste de Venezuela, está limitada al sureste por el piedemonte Andino, al noreste por la zona occidental de la Sierra de Trujillo y al noroeste por la Sierra de Perijá, posee una extensión de aproximada de 50.000 km², con una cobertura sedimentaria de 10 km de espesor, la cual está compuesta por rocas que van desde el Cretácico hasta el reciente y descansa sobre un basamento metasedimentario.

2.2 EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO

La Cuenca de Maracaibo está afectada por numerosos eventos tectónicos que han controlado su configuración y tendencias estructurales, atribuidos a un control directo del origen y evolución de la placa del Caribe. A continuación se señalan los principales eventos tectónicos, desde el Cretácico hasta el reciente que intervinieron en la evolución geológica del norte de Venezuela (Ostos, 1990).

2.2.1. Cretácico

Durante el Cretácico la Cuenca experimenta una subsidencia termal hasta el Aptiense que culmina con la sedimentación de la Formación Río Negro. A lo largo de este período se tiene una transgresión generalizada que cubre totalmente la plataforma de Maracaibo. La litología es principalmente carbonática de mar poco profundo, indicando así que estas rocas se formaron en un margen pasivo (Lugo, 1991).

El carácter transgresivo de la Cuenca de Maracaibo se debió mayormente a la subsidencia asociada a la carga sedimentaria en la plataforma tipo Atlántico, pero en el Cretácico Tardío (Campaniense – Maastrichtiense) comienza un período regresivo representado por los depósitos de la Formación Colón, Lugo (1991). Ostos (1990) menciona que el ciclo regresivo en la Cuenca de Maracaibo es producto de la colisión del Arco de Islas del Caribe contra el bloque de Sebastopol afectando la esquina noroeste de Sudamérica. (Audemard F. , 1991).

2.2.2. Paleoceno - Eoceno

Durante este período la Placa del Caribe se desplaza con dirección hacia el este, producto de la colisión del Arco de Islas de las Bahamas contra la parte norte de la Placa del Caribe, lo que generó una rotación en sentido horario de los terrenos transpresionales de Venezuela. La migración de estos terrenos transpresionales hacia el este, generó el desarrollo diacrónico de cuencas “foredeep” perisuturales a lo largo del norte de Sudamérica, por lo que la sedimentación y la distribución de las unidades sedimentarias hacia el norte y noroeste de Venezuela estuvieron controlados por la subsidencia de estas cuencas (Ostos, 1990).

2.2.3. Eoceno Tardío - Oligoceno

Uno de los eventos importantes en este período de tiempo es el levantamiento de la Sierra de Perijá, para la cual en base a huellas de fisión determinaron que la historia de levantamiento comienza en el Oligoceno Tardío en su parte posteriormente con el levantamiento andino venezolano. Según Lugo (op. cit.) el levantamiento de Los Andes y Perijá se debe a la subducción Caribe – Nazca, el “foredeep” de Perijá asociado al levantamiento migró de oeste a suroeste del Lago de Maracaibo, y posee su frente de corrimiento convergencia al este (Lugo, 1991).

2.2.4. Mioceno - Plioceno

El Mioceno Medio después de un período de quietud, la transgresión se incrementó hacia el norte a lo largo de las fallas de Icotea y Pueblo Viejo. En el Mioceno Tardío se genera un gran relieve estructural que genera al levantamiento de los Andes, debido a un acortamiento mayor en este período de tiempo. Para el Plioceno el Bloque de Maracaibo se encuentra bajo un régimen compresional de orientación N 160, y con una marcada transgresión en sus fronteras con la Placa de Sudamérica (Lugo, 1991).

2.2.5. Pleistoceno - Reciente

Debido al contacto de la Placas de Nazca y Sudamérica que generó compresión en sentido este – oeste, trajo como consecuencia la generación y reactivación de corrimientos en dirección NS

en la Sierra de Perijá, así como en el este y oeste de la Cuenca de Maracaibo; y la migración del “foredeep” en dirección noreste (Lugo, 1991). (Ver figura 2.1).



Figura 2.1. Mapa Geológico Regional. Donde se refleja el reciente y plioceno-pleistoceno del cuaternario. El pleistoceno que es la primera y más larga parte del periodo y época reciente también llamada holoceno, que llega hasta nuestros días. Ubicado en la parte norte de la cuenca del Lago de Maracaibo.

2.3 SISTEMA DE FALLAS DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO

Este bloque está limitado por la falla sinistral de Santa Marta-Bucaramanga en Colombia de orientación NNW-SSE y la falla dextral de Boconó en Venezuela de dirección NE-SW y separado en el norte del bloque de Bonaire por la falla dextral de Oca-Ancón de orientación este-oeste, ambos bloques de Maracaibo y Bonaire están siendo expulsados hacia el NNE con respecto a Suramérica, induciendo que sobrecorran la placa Caribe al norte de las Antillas Holandesas de sotavento, donde una joven subducción plana amagnética y de polaridad sur se ha estado formando en los últimos 5 Ma (Audemard F. , 2002).

El bloque triangular de Maracaibo, delimitado por la falla sinistral de Bucaramanga y las dextrales de Boconó y Oca-Ancón, se caracterizan por estar en su sector más oriental compartimentado en bloques de eje mayor norte sur a NE-SW, los cuales están separados por fallas esencialmente sinestrales. Esta estructura mayor resulta de un mecanismo en estantería de libros (“bookshelf rotation”) generado por cupla cizallante introducida por las fallas de Boconó y Oca-Ancón. (Ver figura 2.2) (Audemard F. , 2002)

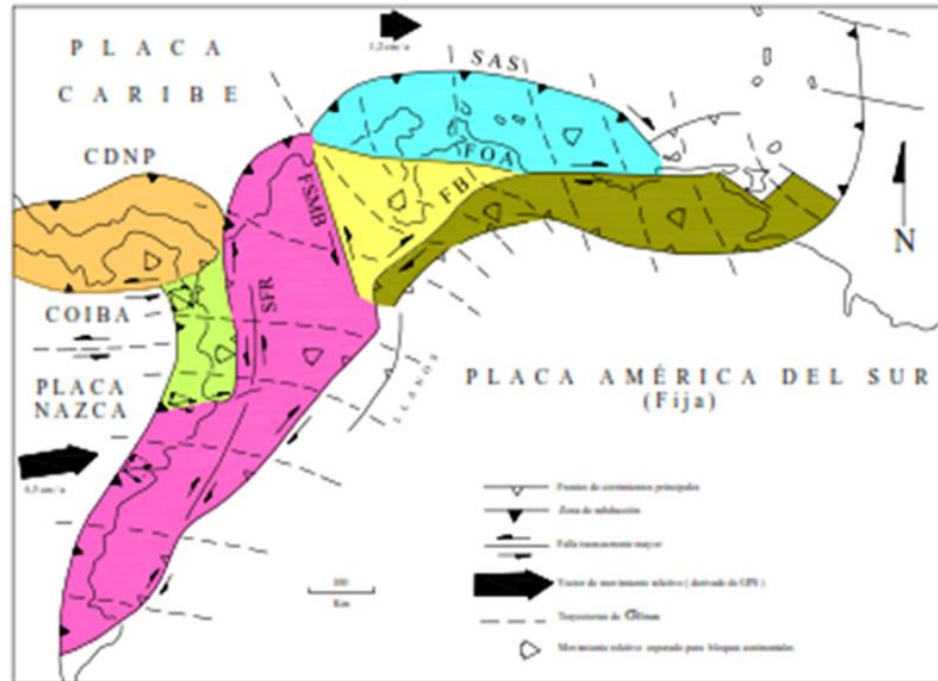


Figura 2.2. Marco Geodinámico del norte de Suramérica, donde se muestra la fragmentación de la región en diversos bloques continentales como consecuencia de la saturación del bloque del Chocó (en verde) contra Suramérica. Se indica igualmente los movimientos relativos esperados de distintos bloques tectónicos o comportamientos con referencia a Suramérica fija. (Tomado de Audemard 2002).

2.3.1 Falla de Oca-Ancón

El sistema de falla de Oca-Ancón es la mayor fuente potencial sísmica del noroeste de Venezuela, cuya traza activa fue reconocida en detalle desde la frontera Colombiana al oeste de Maracaibo y termina cerca de Puerto Cabello.

El sistema tiene una actividad sismotectónica significativa que se encuentran atestiguada por paleorupturas de superficie cosísmicas y se pueden ver evidenciadas tanto al oeste como al este del Golfo de Maracaibo y una velocidad de desplazamiento global del orden de 2 mm/año. (Audemard F. , 1997).

En el oeste de Venezuela, la frontera de placas alcanza unos 600 km de ancho y comprende un conjunto de bloques tectónicos que se acomodan y se reajustan entre las placas más grandes (Caribe, Suramérica y Nazca), por ello el bloque triangular de Maracaibo resalta. Dicho bloque

está limitado por la falla sinistral de Santa Marta-Bucaramanga en Colombia con una orientación NNW-SSE y la falla dextral de Boconó en Venezuela con una dirección NE-SW y está separado en el norte del Bloque de Bonaire por la falla dextral de Oca-Ancón con una orientación este-oeste.

Los bloques de Maracaibo y Bonaire están siendo expulsados hacia el NNE con respecto a Suramérica, induciendo que sobrecorran la placa Caribe al norte de las Antillas Holandesas donde una joven subducción plana a magmática y de polaridad sur se ha estado formando en los últimos 5 Ma la cual se asocia un prisma de acreción denominado el cinturón de deformación sur Caribe. (Ver figura 2.3) (Audemard F. , 2002).

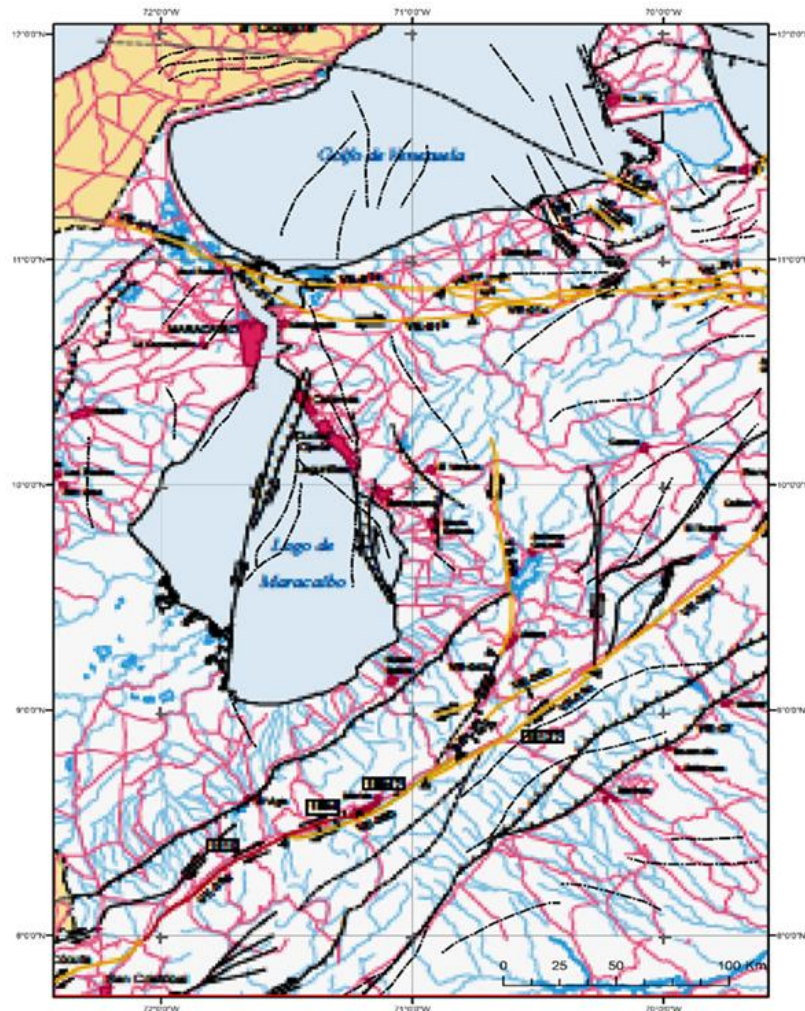


Figura 2.3. Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela (Tomado de Audemard, F. 2004)

2.3.2 Falla de Boconó

Es un accidente transcurrente dextral que se extiende por más de 500 km en el occidente venezolano en dirección SO-NE, ubicada en proximidad de la frontera con Colombia, y la población de Morrón, en la costa caribeña de Golfo Triste, más de 400 km de longitud de esta falla surcan los Andes de Mérida. En su extremidad sur, la falla se conecta con el sistema de piedemonte llanero Colombiano a través del sistema de fallas de Chinacota-Bramón, luego de sufrir dos inflexiones en ángulo recto opuestas. La falla tuerce 45° en forma horaria para conectarse con grandes fallas dextrales de dirección este-oeste que corren al norte de Venezuela Continental (fallas de San Sebastián y El Pilar). La falla de Boconó actualmente aparenta tener un rol preponderante en la fragmentación de bloques tectónicos mayores y en la tectónica de escape imperante en el noroeste de Sudamérica, limitando directamente el bloque triangular de Maracaibo por el sureste. (Audemard F. , 2002)

2.3.3 Falla de Santa Marta-Bucaramanga

Es definida como un sistema de rumbo sinistral cuyo desplazamiento es calculado en unos 100 a 110 km en dirección aproximada N20W, es el segmento con desplazamiento vertical inverso.

Su longitud es de 600 km, al Norte el aluvión que la cubre expresa topográficamente su actividad cuaternaria. Según perforaciones esta falla de dirección sudeste es una falla rumbo izquierdo. (Ver figura 2.4) (Audemard F. , 2002)

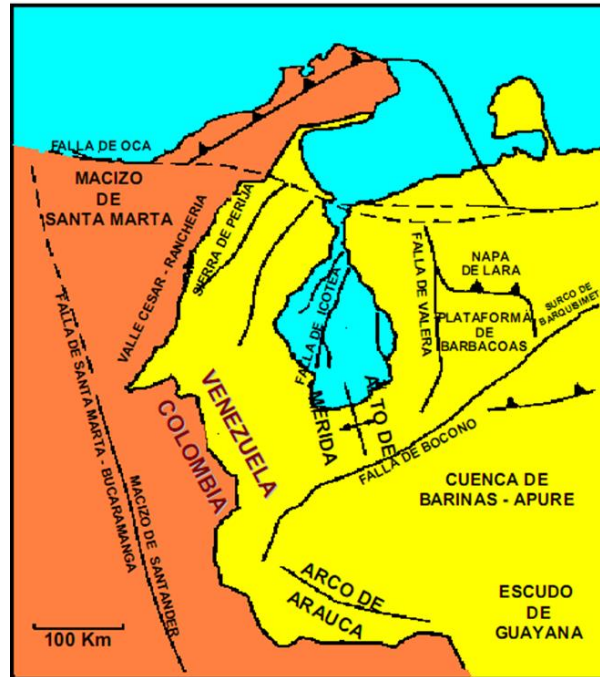


Figura 2.4. Sistema de fallas que delimitan el bloque de la Cuenca del Lago de Maracaibo. Tomado del sitio web <http://geologiavenezolana.blogspot.com/p/mapas-geologicos.html>

2.4 FORMACIÓN ONIA

Localidad tipo: Hedberg y Sass (op.cit) nombraron a la formación, según unos afloramientos en el río Onia, un tributario del río Escalante, en el Estado Mérida. Sin embargo, no publicaron la descripción. (Manger, 1938) describió una sección supuestamente equivalente, en el pozo la Rita, 2 km al este del pueblo de la Rita, distrito Bolívar, Estado Zulia. Esta sección fue posteriormente recomendada como sección tipo, por (Young, 1960).

Descripción litológica: En la sección del pozo La Rita, (Gonzalez de Juana, 1980), la Formación Onia consiste en la base al tope de 1.65 m en areniscas y limolitas abigarradas, gris verdoso, de grano grueso a fino, arcillosas, micáceas y friables, localmente con capas calcáreas amarillas, delgadas. Esta sección se correlaciona con la Capa de Onia, por su contenido de minerales pesados metamórficos. 2.30 m de areniscas micáceas friables, de color gris verdoso claro, de grano fino a grueso y angulosos. En éstas, se hallan fragmentos de madera silicificada. Estas areniscas están intercaladas con areniscas pardo-amarillas y limolitas gris claro, las cuales

(Manger, 1938) consideró como pertenecientes a la formación El Milagro (Pleistoceno) (Ministerio de Energía y Minas, 1997).

2.5 GEOLOGIA LOCAL

La litología que se describe son el resultado de las siete perforaciones de los núcleos de roca sedimentaria del área de estudio de la zona norte del Lago de Maracaibo, distribuidas a lo largo del alineamiento E-W (Ver figura 2.5, Anexo 7.7), pertenecientes a la Formaciones Onia. A continuación se describen en orden estratigráfico las perforaciones según sus similitudes litológicas:



Figura 2.5. Mapa de la Ubicación de las perforaciones.

2.5.1 Perforación P-1 y P-2

La perforación P-1 alcanzó la profundidad de 48 m bajo el lecho marino, de base a tope se caracteriza por intercalaciones de lutita con limolita y escasos lentes de 50 mm de limolita de color gris oscuro. A 32,00 m, suprayacente se encuentra un estrato de lutita gris oscuro de 4 m de espesor. La perforación P-2 de 32 m de profundidad se caracteriza desde su base y hasta 31.50 m por la presencia de lutitas de color gris oscuro con niveles de limolita. Después entre 31,50 m y 30,50 m lutitas con niveles de arenisca. Lateralmente, ambas perforaciones presentan continuidad entre las profundidades 48 y 32 m, el contacto es de tipo transicional con las intercalaciones de lutita con limolita y lentes de limolita de color gris oscuro y presencia de niveles de arenisca. El espesor aproximado del estrato de lutita es de un cm, los estratos están dispuestos de forma horizontal y la

mineralogía presente identificada a través de DRX es illita (mica), caolinita (arcilla) y cuarzo (Qz). Los espesores totales de la roca sedimentaria hasta la profundidad explorada son de 27,70 m en la perforación P-1 y 11,50 m hacia la perforación P-2, en los intervalos de 20,30 m hasta 48,0 m en P-1 y de 20,50 m hasta 32,00 m en P-2. En el tope y hasta el lecho marino, se presenta una capa/estrato de suelo.

2.5.2 Perforación P-3 y P-4:

La perforaciones P-3 alcanzo una profundidad de 54 m bajo el lecho marino de base a tope se caracteriza por lutita de color gris oscuro con intercalaciones de limolita de color gris claro, marrón y marrón rojizo y presencia de mica, con una variación vertical entre la lutita y limolita de un espesor aproximado de 50 mm. La perforación P-4 alcanzo la profundidad de 61,20 m se caracteriza desde base y hasta 47,20 m por la presencia de lutita de color gris oscuro y trazas de limolitas de color gris claro en poca proporción de 61,20 m hasta 52.20 m, luego continua intercalaciones de lutita de color gris claro y limolita de color marrón rojizo con un espesor aproximado de 50 mm que llega hasta los 47,20 m. La mineralogía presente a través de DRX es illita (mica), caolinita (arcilla) y cuarzo (Qz), los espesores totales en la P-3 es de 23,40 m y la P-4 de 14 m de profundidad de roca sedimentaria. En su tope se presenta el suelo.

2.5.3 Perforación P-5:

En la perforación P-5 que alcanzo una profundidad 64 m bajo el lecho marino de base a tope se caracteriza por areniscas de color gris claro con intercalaciones de lutita de color gris oscuro con un espesor de un cm. La mineralogía presente a partir del análisis de DRX es illita (mica), caolinita (arcilla) y Cuarzo (Qz). Presentando unas fallas normales inferidas, los cuales presenta un movimiento vertical por el cambio de litología presente en dicha perforación, su espesor total es de 7,40 m de profundidad de roca sedimentaria. En el tope se presenta el suelo.

2.5.4 Perforación P-6 y P-7:

La perforación P-6 alcanzo la profundidad de 63,40 m bajo el lecho marino, de base a tope se caracteriza por lutita de color gris oscuro con intercalaciones de limolita de color gris claro de 50

mm de espesor aproximado, presentando un contacto transicional entre la lutita y las intercalaciones de lutita y limolita. Y de la profundidad de 47,40 m, presenta niveles de arenisca de color amarillo oliva y marrón oliva con trazas de oxidación hasta la profundidad de 30,40 m. La perforación P-7 alcanza la profundidad de 62 m, se caracteriza desde su base y hasta 55 m por la presencia de intercalaciones de lutita de color gris claro y limolita de color rojizo, la mineralogía presente en las dos perforaciones a través de DRX es illita (mica), caolinita (arcilla) y cuarzo (Qz). En dichas perforaciones se encuentran unas fallas normales inferidas ya que presentan un movimiento vertical por el cambio de litología que se presenta después de la perforación P-5 y que por lo cual nos permite inferir las fallas. En el tope y hasta el lecho marino se presenta una capa de suelo. (Ver figura 2.6, Anexo 7.8).

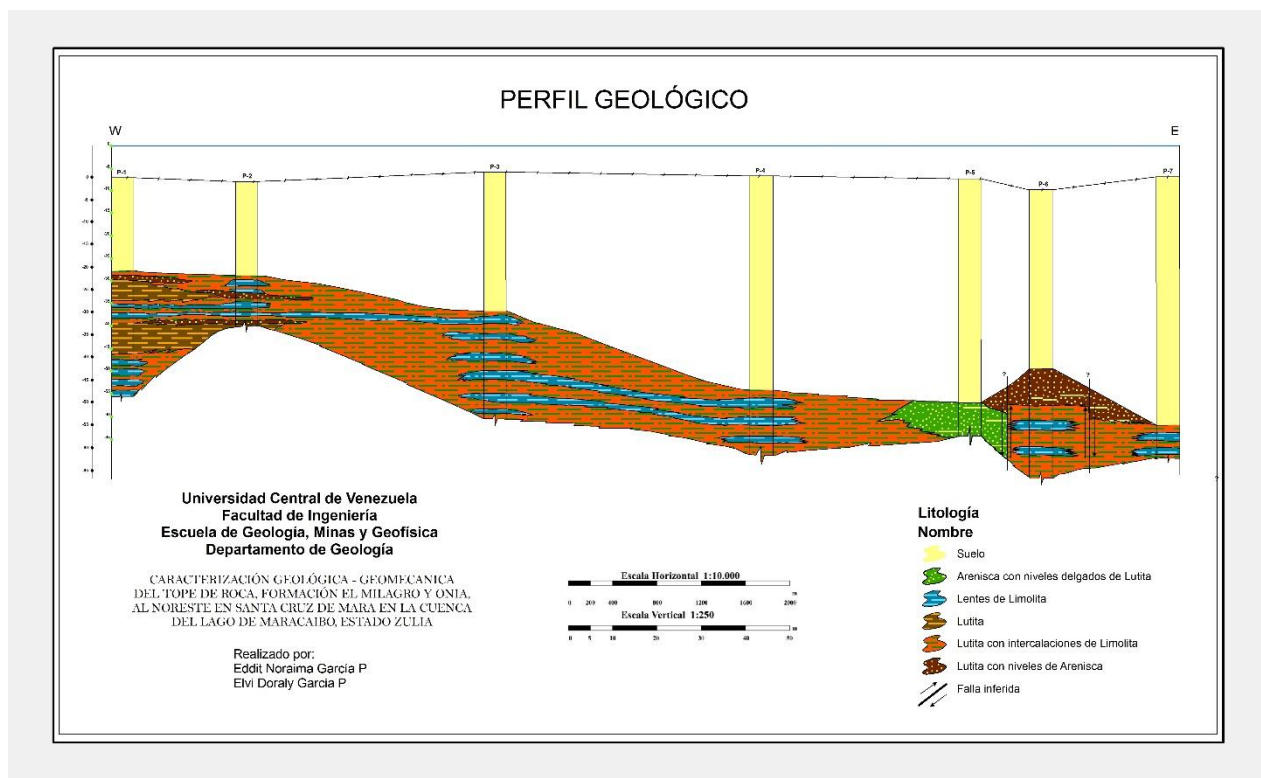


Figura 2.6. Perfil Geológico de las perforaciones donde se describen la litología presente en la Cuenca del Lago de Maracaibo.

2.5.5 Variación Lateral del Perfil Litoestratigráfico:

Los Ambientes Deltaicos presentan una gran variedad de facies. Esta variación responde a una serie de factores, dichos factores se dan en amplio rango de una ambiente geográfico formándose en zonas de interacción de agua dulce, el régimen de sedimentación es frecuentemente alto, originando un sustrato extremadamente débil y dando lugar a una importante variedad de procesos de remoción en masa, por lo tanto estos depósitos muestran una gran diversidad de geometrías y características en una secuencia vertical.

La investigación con los datos litológicos de las perforaciones constituidos por los sedimentos de la Formación Onia corresponden a un ambiente sedimentario Fluvio-Deltaico (minideltas que desembocan en el lago) (ver figura 2.7) y Lacustrino Marginal, asociado a un estado repetidamente sometido a meteorización durante el Cuaternario. En el margen Este de la Cuenca se encontró areniscas con lutita con intercalaciones de limolita y en el margen Oeste encontramos lutitas, limolitas y lutitas con niveles de arenisca, en general se aprecia uniformidad en las muestras evaluadas, lo cual nos indica que las mismas son similares en mineralogía y génesis, todas estas características indican su origen sedimentario

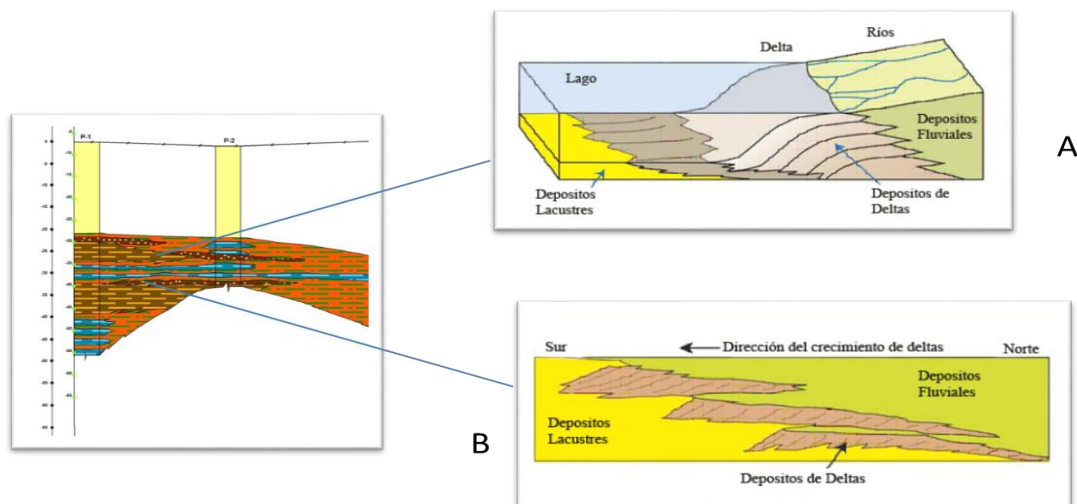


Figura 2.7. Perfil geológico de la cuenca del Lago de Maracaibo donde se puede observar los tipos de depósitos formados por río y lagos. A depósitos lacustres y de deltas. B dirección del crecimiento de deltas. Tomado: <http://danielmarin.naukas.com/files/2014/12/mars-rover-curiosity-Gupta-5-delta-cartoon-river-lake-pia19071-br2.jpg>. 02/02/2016

En el perfil se puede observar una variación lateral de cuatro secciones definidas por sus contactos litológicos, descrita a continuación de W-E.

De W-E comenzamos con la P-1 y P-2 observando una disminución de energía caracterizadas por las intercalaciones de lutita y limolita que se encuentran estratificadas en forma horizontal y se van acuñando en P-3 donde ya no aparece.

Seguidamente hacia las perforaciones P-3 y P-4 se observa un primer cambio lateral donde solo se describe la lutita con intercalaciones de limolita y los lentes de limolita y se encuentran estratificadas en forma horizontal. Cabe destacar, que estas perforaciones se encuentran en la parte central del perfil y coinciden con la zona central de la sección lacustrina, lo cual se evidencia en la granulometría más fina en todas las perforaciones.

En la perforación P-5, donde se observa un cambio en la litología de la estratificación ya que se caracteriza por areniscas con intercalaciones de lutita, allí se presenta un aumento de energía porque su grano aumenta.

Finalmente hacia el extremo del perfil, las perforaciones P-6 y P-7 presentan un significativo cambio lateral en su litología, en ella se presenta lutita con intercalaciones de limolita y lentes de limolita con niveles de arenisca, esto nos evidencia un movimiento importante por unas fallas normales inferidas.

2.6 MARCO CONCEPTUAL

2.6.1 Arenisca

“Las areniscas forman un grupo de rocas sedimentarias muy importantes ya que junto a las lutitas representan la mayor parte de las rocas clásticas. Las areniscas son fundamentales como reservorios de agua, petróleo y gas. En cuanto al tamaño de los granos están situadas entre conglomerados y limos, por lo tanto, los tamaños varían entre 2 y 0,064 μm ”. (Mendez, 2006)

2.6.2 Lutitas

“Se denominan lutitas a las rocas constituidas por granos y partículas que van desde los limos hasta las arcillas. Se le puede denominar: lodolitas, lutitas o pelitas. Tamaño: limo= 62-4 μm .; arcilla= $<4 \mu\text{m}$. Su composición formada por minerales de arcilla, cuarzo, feldespatos y fragmentos de rocas. Baja energía cinética. Acarreadas en suspensión. Corrientes suaves e intermitentes. Ambiente de aguas tranquilas. Ambientes marinos por debajo del nivel base del oleaje”. (Mendez, 2006).

2.6.3 Difracción de Rayos-X

La Difracción de Rayos-X ofrece una herramienta rápida y fiable para la identificación de minerales de rutina. La Difracción de Rayos-X es particularmente útil para la identificación de minerales de grano fino y las mezclas o intercrecimientos de minerales.

Los Rayos-X son radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia y de muy corta longitud de onda, 10 nm hasta 0,0001 nm (1 nm o nanómetro equivale a 10^{-9} m). Estos rayos se generan cuando un haz de electrones de alta energía o velocidad incide sobre la materia (Grande, 1996).

Los Rayos-X que más interesan en el campo de la difracción de rayos-X son aquellos que disponen de una longitud de onda próxima a 1 Angstrom y corresponden a una frecuencia de aproximadamente 3 millones de Thz (tera-herzios) y a una energía de 12,4 keV (kiloelectrón-voltios) (Poppe, 2001). (Ver figura 2.8).

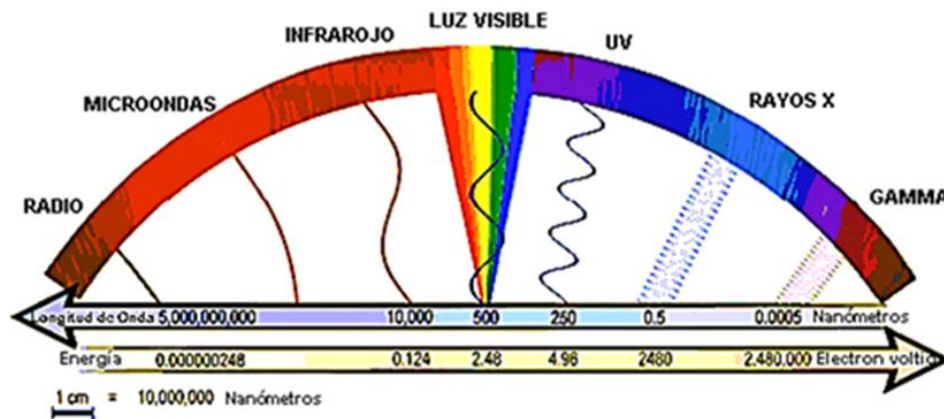


Figura 2.8. El espectro electromagnético, mostrando los distintos tipos de radiación y longitudes de onda. (Tomado y modificado de BARITTO 2003).

La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos-X es la identificación de la composición mineralógica de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación X. (Poppe, 2001). (Ver figura 2.9)

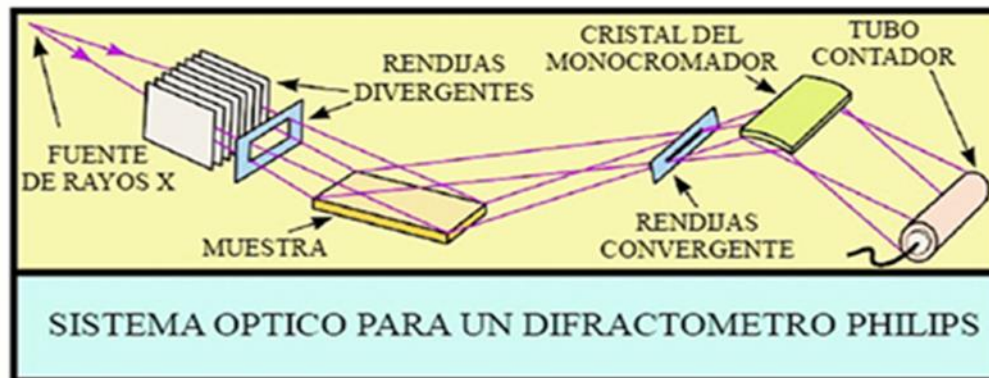


Figura 2.9. Esquema del sistema óptico de un difractómetro de rayos-X Philips (Tomado y modificado de: POPPE et al. 2001.)

Los Rayos-X son radiación electromagnética similar a la luz, pero con una longitud de onda mucho más corta. Se producen cuando se desaceleraron partículas eléctricamente cargadas de energía suficiente. En un tubo de Rayos-X, la alta tensión mantenido través de los electrodos atrae electrones hacia un blanco de metal (el ánodo). Los Rayos-X se producen en el punto de impacto,

e irradian en todas las direcciones. Tubos con objetivos de cobre, que producen su radiación característica más fuerte en una longitud de onda de alrededor de 1,5 angstroms. (Cornelius S. Hurlbut, 1982).

La naturaleza de los Rayos-X depende del metal del blanco y del voltaje aplicado. No se producen Rayos-X hasta que el voltaje alcanza un valor mínimo que depende del material del ánodo. A medida que se aumenta el voltaje aplicado al tubo aparece superpuesta sobre la radiación blanca una línea espectral o radiación característica peculiar del material del ánodo. Esta radiación característica, es muchas veces más intensa que la radiación blanca, consiste en varias longitudes de onda aisladas. (Cornelius S. Hurlbut, 1982).

Las radiaciones características más importantes en difracción de rayos X son las llamadas líneas K-alfa y K-beta, donde los electrones caen a la capa más interior del átomo. Sin embargo, además de estas longitudes de onda concretas, se produce también todo un espectro de longitudes de onda concretas, se produce también todo un espectro de longitud de onda muy próximas entre si y que se denomina radiaciones continua, debido al frenado por el material, de los electrones incidentes (Grande, 1996).

Las transiciones electrónicas de las capas más externas a capas más internas vienen acompañadas de la emisión de radiación X con longitudes de ondas específicas. Las transiciones electrónicas de la capa L a la capa K producen radiaciones $K\alpha$ y las transiciones de la capa m a la K producen radiaciones $K\beta$. (Cornelius S. Hurlbut, 1982).

Usando la corrida de muestras total en difracción se utilizan las tablas del *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) para reconocimiento de los minerales presentes en la roca.

Los picos que se encuentran en el espectro debe tener una señal lo suficientemente alto como para ser objeto de discriminación del ruido de fondo. Además, es necesario tener picos secundarios que se utilizan para confirmar el pico principal como pertenecientes a las especies minerales particulares en cuestión. (Ver figura 2.10).

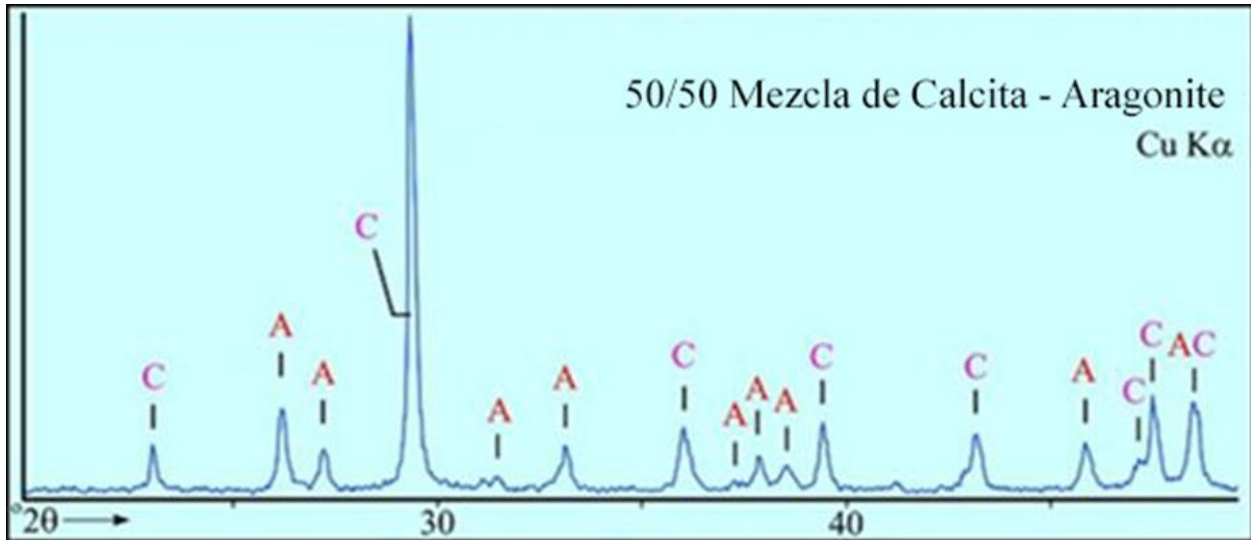


Figura 2.10. Espectro de difracción de rayos X de una mezcla de calcita y aragonito, indicando en rojo los picos principales de aragonito y en morado los de calcita. El eje horizontal representa la posición de los picos expresados en valores de ángulos y en el eje vertical la intensidad de los picos de difracción expresado en porcentaje (tomado y modificado de Poppe et al 2001).

2.6.4 Rocas Arcillosas

“Las rocas arcillosas son las más afectadas por los procesos de meteorización física y las que más sufren su influencia en las propiedades físicas y mecánicas, sin embargo es frecuente que estas rocas permanezcan mineralógicamente estables, no sufriendo meteorización química, al haberse formado a cotas superficiales y a temperatura y presión cercanas a la superficie, aunque hay rocas arcillosas que pueden contener minerales meteorizados”. (González de Vallejo, 2002)

2.6.5 Minerales de Arcilla

Los minerales de arcilla son silicatos hidratados de aluminio y se forman por meteorización o alteración hidrotermal de silicatos ricos en aluminio.

Se clasifican dentro del grupo de los filosilicatos, caracterizados por su estructura en capas. Existe una amplia gama de familias de minerales con propiedades físicas y químicas muy diversas, aunque la mayoría tienen en común hábitos con morfologías aplanadas y exfoliación perfecta entre láminas, como consecuencia de su estructura en capas.

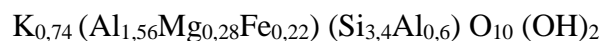
El tamaño de los cristales es muy pequeño, inferior a 2 μm ; son minerales más abundantes en la superficie de la tierra, formando parte de los suelos y de las rocas sedimentarias de grano fino. (González de Vallejo, 2002).

2.6.6 Caolinita

Posee la estructura más simple y pura en las arcillas. Se forma de los feldspatos por alteración hidrotermal y meteorización superficial. Es común en los sedimentos derivados de rocas graníticas y gneises. Tienen una composición $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, con una capa tetraédrica ocupada por Si^{4+} y una octaédrica ocupada por Al^{3+} con un espesor de 7 \AA ; se trata por lo tanto de minerales dioctaédricos que apenas presentan sustituciones isomórficas, aunque se diferencian varias especies en función del grado de desorden en el apilamiento de las capas. (González de Vallejo, 2002).

2.6.7 Illita

Tienen un espaciado basal de 10 \AA con una carga laminar comprendida entre 0,9-0,7, mostrando muchas similitudes con las micas, especialmente con la moscovita. La composición es muy variada, hasta el punto de ponerse en duda su existencia como mineral en rocas sedimentarias, hablándose de minerales ílíticos. Sin embargo, se mantiene el nombre por sus implicaciones en los interstratificados con las esmécticas. Una fórmula media simplificada tendría la siguiente composición:



Las partículas detríticas tienen morfologías densas planares, aunque se han descrito illitas fibrosas de origen diagenético en areniscas. (González de Vallejo, 2002). (Ver figura 2.11)

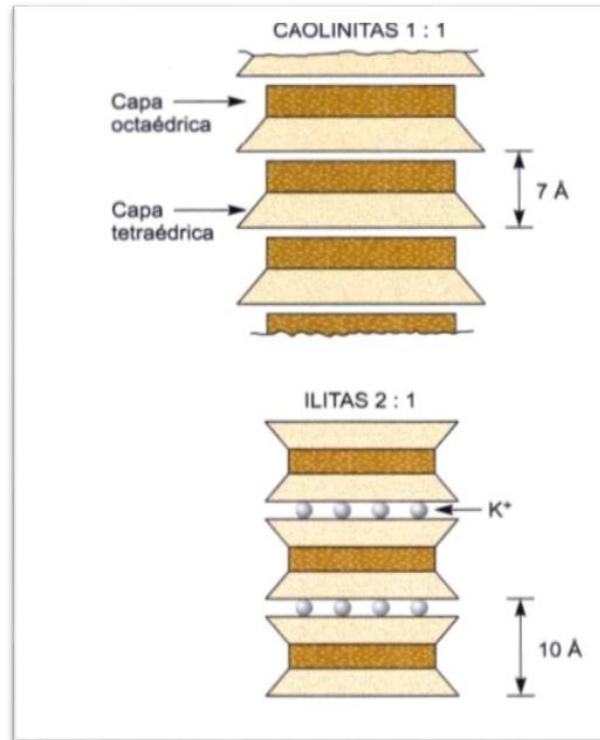


Figura 2.11 Estructura de las caolinitas, ilitas. Tomado de: (González de Vallejo, 2002)

2.6.8 Cuarzo (SiO₂)

El cuarzo es un mineral que está compuesto de sílice y es uno de los minerales más comunes de la corteza terrestre, por su dureza es muy resistente a la meteorización. El origen del cuarzo es magmático se separa en forma de granos irregulares, el cuarzo es el mineral de filones más propagado, forma vetas y nódulos en rocas sedimentarias. (Mendez, 2006).

2.6.9 Mecánica de Rocas

“Se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico” (González de Vallejo, 2002).

2.6.10 Rocas

“Son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferente minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica”. (González de Vallejo, 2002).

2.6.11 Meteorización

“La meteorización es la desintegración y/o descomposición de los materiales geológicos en superficie. El termino incluye todas aquellas alteraciones de carácter físico o químico que modifican las características y propiedades de los materiales” (González de Vallejo, 2002).

2.6.12 Grado de Meteorización

“El grado de meteorización de la roca es una observación importante en cuanto que condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia”. (González de Vallejo, 2002). (Ver la Tabla 1)

Tabla 2.6.1: Descripción del Grado de Meteorización (Tomado de González de Vallejo 2002.)

Termino	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos 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

2.6.13 Procesos de Meteorización

Los procesos de meteorización de las rocas dan lugar finalmente a los suelos, que pueden permanecer en su lugar de origen sobre la roca madre (suelos residuales) o pueden ser transportados como sedimentos; estos últimos pueden litificarse formando nuevamente rocas o permanecer como suelos (suelos transportados: aluviales, eólicos glaciares, etc). El contacto entre el suelo y la roca puede ser neto o gradual, este último característico de suelos residuales. El grado de meteorización del material rocoso juega un papel muy importante en sus propiedades físicas y mecánicas (González de Vallejo, 2002).

Los materiales rocosos meteorizados pueden ser definidos en una amplia aceptación, como aquellos que se encuentran en la transición entre roca y suelo, presentando un amplio rango de propiedades geotécnicas y características mixtas de los suelos y de las rocas según el grado de meteorización. En ocasiones se emplean los términos de rocas blandas o débiles para hacer referencia genérica a los materiales meteorizados, aunque no todas las rocas blandas (lutitas, limolitas, margas, etc). Son únicamente producto de la meteorización. (González de Vallejo, 2002).

2.6.14 Clasificación según el Estado Físico de una Roca

Esta clasificación, antiguamente conocida como la “Clasificación de Flores Calcaño”, fue mejorada y propuesta por Salcedo (1969), la cual toma en cuenta para la clasificación del estado físico de la roca varios aspectos geológicos cualitativos y cuantitativos como:

2.6.14.1 Según el estado de meteorización:

1. **Roca fresca:** Aquella roca que conserva sus características originarias y no muestra efectos de la meteorización.
2. **Roca meteorizada:** Aquella cuya composición química, textura, estructura y color han sido levemente alterados y son próximos a los de la roca original.
3. **Roca muy meteorizada:** Aquella cuyas propiedades mencionadas han sido muy alteradas, puede haber cambios en la composición química, el arreglo de sus componentes ha perdido

la rigidez original, hay cambios notables en el color original de la roca y ha perdido mucho de su consistencia original.

4. **Roca descompuesta:** Aquella que sólo conserva restos de su textura y estructura original.

2.6.14.2 Según la consistencia:

1. Roca dura: Aquella roca para la cual es necesario el uso de explosivos para su remoción. En caso de estar muy fracturada, se pueden usar medios mecánicos de gran intensidad.
2. Para la obtención de muestras mediante perforaciones es imprescindible la utilización de taladros con brocas de vidia o diamante.
3. Roca blanda: Aquella roca que se puede disgregar por medios mecánicos. Para la obtención de muestras de este tipo, basta el uso de métodos a percusión.

A continuación se presenta la nomenclatura correspondiente:

Tabla 2.6.2: Clasificación de Roca (Flores Calcaño, 1962)

NOMENCLATURA	DEFINICIÓN
R	Roca
RD	Roca descompuesta
RM	Roca meteorizada
RF	Roca fresca
B	Blanda
D	Dura
F	Fracturada
S	Sana
RDb	Roca descompuesta, blanda*
RMb	Roca meteorizada, blanda*
RMd	Roca meteorizada, dura*
RMbf	Roca meteorizada, blanda fracturada*
RMdf	Roca meteorizada, dura fracturada*
RFds	Roca fresca, dura sana
(*) Casos más comunes	

De los símbolos anteriormente mencionados podemos resumir lo siguiente:

1. La primera letra, o sea la R, se refiere siempre a la roca.
2. La segunda letra, usada después de la R, indica grados de meteorización y la escala, en orden de menor a mayor meteorización será:
 - a. Fresca (F) → Meteorizada (M) → Descompuesta (D)
3. La tercera letra indica la consistencia y la escala varía de:
 - a. Dura (d) → Blanda (b)
4. La cuarta letra es indicadora del grado de fractura, el cual variará de:
 - a. Sana (s) → Fracturada (f)

2.6.15 Esfuerzo (σ)

Es la reacción interna de un cuerpo a la aplicación de una fuerza o conjunto de fuerzas; es una cantidad que no se puede medir directamente, ya que lo que se mide es la fuerza que se aplica, si la fuerza actúa uniformemente sobre una superficie o un plano, el esfuerzo o tensión indica la intensidad de las fuerzas que actúan sobre ese plano. Es importante señalar que el esfuerzo sobre un plano no varía si la fuerza es aplicada uniformemente sobre éste, pero si esto no sucede, es decir que la fuerza no se aplica de manera uniforme sobre todo el plano, el esfuerzo variará para las diferentes áreas del mismo. Al igual que las fuerzas, los esfuerzos compresivos son positivos, y los distensivos o traccionales, son negativos. El esfuerzo se puede representar como un vector σ y como tal puede descomponerse en sus componentes normal σ_n y tangencial τ o $\sigma\tau$ (González de Vallejo, 2002).

2.6.16 Esfuerzos y Tensiones 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, donde σ_1 es el esfuerzo principal mayor y σ_3 es el esfuerzo principal menor ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$). Adicionalmente, también se

encuentran sometidas a esfuerzos tangenciales t , 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 (González de Vallejo, 2002). (Ver figura 2.12)

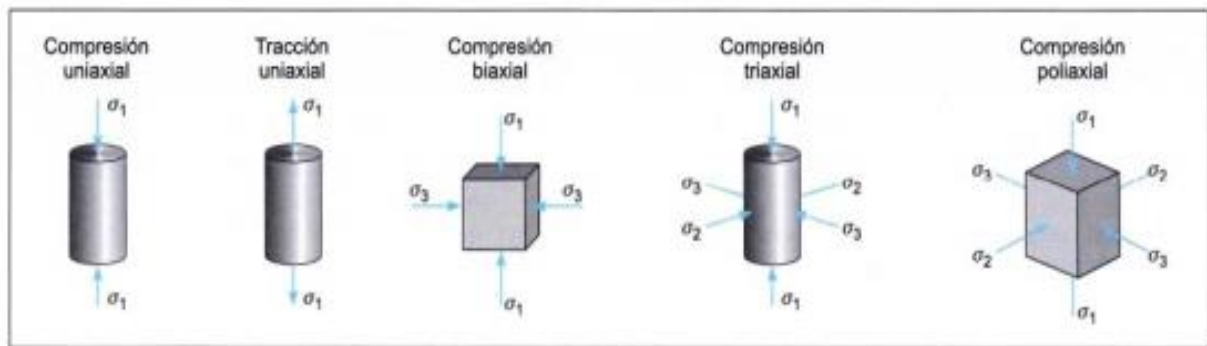


Figura 2.12. Diferentes estados de tensiones aplicados a probetas de laboratorio (tomado de González de Vallejo 2002.)

2.6.17 Cohesión (c)

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. Este parámetro de la mecánica de rocas es utilizado para representar la resistencia al esfuerzo cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión (Diaz, 1998).

2.6.18 Resistencia y Parámetros Resistentes

El comportamiento mecánico de las rocas está definido por su resistencia y su deformabilidad. La resistencia, como se ha definido anteriormente, es el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones.

Las rocas rompen a favor de superficies de fractura que se generan al superarse su resistencia de pico. La resistencia es función de las fuerzas cohesivas y friccionales del material. La fuerza friccional depende del ángulo de fricción y del esfuerzo normal, σ_n actuando sobre el plano considerado.

La resistencia de la roca no es un valor único, ya que además de los valores de c y ϕ , depende de otras condiciones, como la magnitud de los esfuerzos confinantes, la presencia de agua en los poros o la velocidad de aplicación de la carga de rotura. (González de Vallejo, 2002).

2.6.19 Criterio de Rotura de Hoek-Brown

El criterio original de rotura de Hoek & Brown fue desarrollado a finales de 1970 para proporcionar entrada para el diseño de las excavaciones subterráneas, pero fue en 1980 (Hoek & Brown, 1980).

Las ecuaciones originales de Hoek & Brown no era única, una ecuación idéntica se utilizaba para describir la falla de concreto en 1936. La importante contribución de Hoek & Brown, fue vincular a la ecuación observaciones geológicas. Se reconoció el criterio no tendría ningún valor práctico a menos que los parámetros pueden ser estimados a partir de observaciones geológicas simples en el campo. (Hoek, Carranza-Torres, & Corkum, 2002).

Se trata de un criterio no lineal, puramente empírico que permite valorar de manera sencilla, la rotura de un medio rocoso mediante la introducción de las principales características geológicas y geotécnicas. El uso del criterio no sólo en macizos rocosos duros, sino también en macizos de rocas débiles, ha supuesto una reformulación del criterio, así como la introducción de nuevos parámetros.

El factor de alteración del criterio de rotura de Hoek & Brown, es un factor que depende principalmente del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo alteraciones debidas a la relajación de esfuerzos, causados por excavaciones por voladuras mecánicas o por otras causas.

El propuesto por el Hoek & Brown en 1980 es un criterio empírico de rotura no lineal válido para evaluar la resistencia de la matriz rocosa isótropa en condiciones triaxiales. (Hoek E. y., 1980)

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{0.5}$$

σ_1 y σ_3 : son los esfuerzos principales efectivos.

σ_{ci} : es la resistencia a compresión uniaxial del material intacto.

m y s : son las constantes del material, donde $s = 1$ para roca intacta.

Actualmente, el uso del criterio no solo se basa en macizos rocosos duros, sino también en macizos de rocas débiles, donde ha supuesto una reformulación del criterio, así como la introducción de nuevos parámetros. Su última versión se expresa:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde m_b es un es valor reducido de la constante del material m_i y está dado por:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

s y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$s = \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

D es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por efecto de las voladuras o por la relajación de esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.

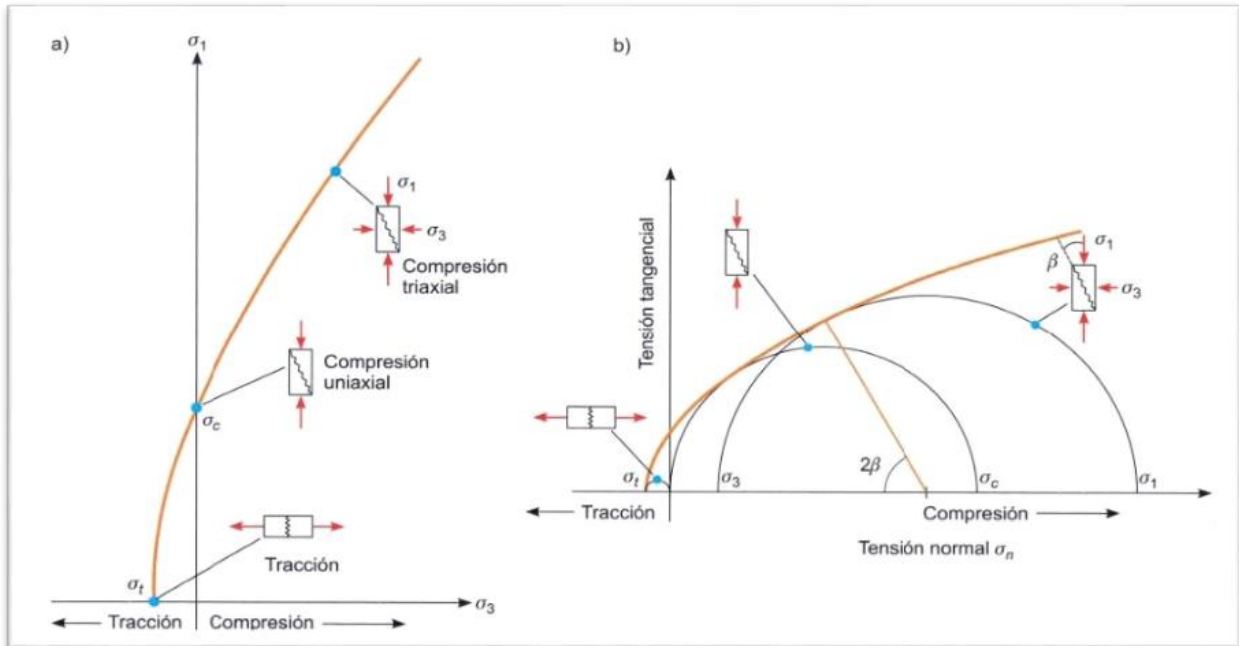


Figura 2.13. Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown (1980) en función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangencial (b). Tomado de (González de Vallejo & Ferrer, 2002).

2.6.20 Criterio de Mohr-Coulomb

La resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normales y tangencial actuantes en el momento de la rotura mediante la expresión matemática: (González de Vallejo, 2002). (Ver figura 2.14)

$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi$$

donde:

- τ = es el esfuerzo tangencial que actúan sobre el plano de rotura
- σ_n = es el esfuerzo normal sobre el plano de rotura.
- c = es la cohesión, una constante que representa la tensión cortante
- φ = es el ángulo de rozamiento de la matriz rocosa.

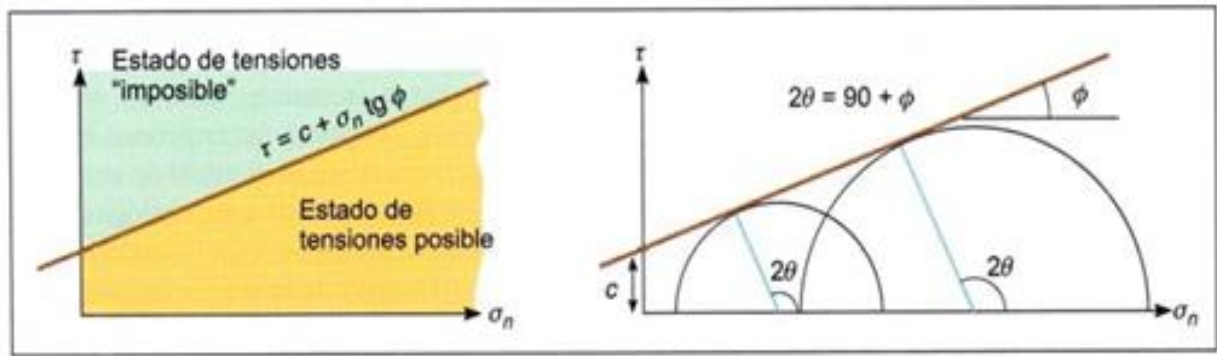


Figura 2.14. Criterio lineal de rotura de Mohr-Coulomb (Tomado de González de Vallejo 2002).

El criterio puede expresarse igualmente en función de los esfuerzos principales σ_1 y σ_3

$$\sigma_1 = \frac{2c + \sigma_3 [\sin 2\theta + \tan \varphi (1 - \cos 2\theta)]}{\sin 2\theta - \tan \varphi (1 + \cos 2\theta)}$$

Para el plano Crítico de rotura, $\theta = 45^\circ + \varphi/2$, la expresión anterior tomará la forma:

$$\sigma_1 = \frac{2c \cos \varphi + \sigma_3 [(1 + \sin \varphi)]}{1 - \sin \varphi}$$

Si se da la condición $\sigma_3 = 0$, σ_1 será la resistencia a la compresión simple de la roca. . (Ver figura 2.15)

$$\sigma_1 = \sigma_c = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

El criterio también proporciona el valor de la Resistencia a tracción:

$$\sigma_1 = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

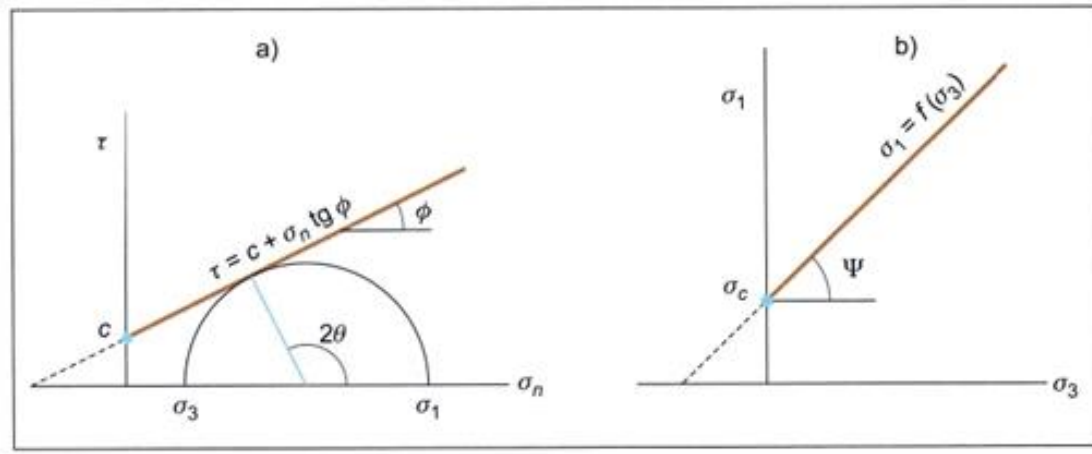


Figura 2.15. Envolvente de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b). Para un estado tensional situado por debajo de las rectas o envolventes no se producirá la rotura. (Tomado de González de Vallejo 2002).

2.6.21 Índice de Resistencia Geológica (GSI)

El índice de resistencia geológica, GSI, fue desarrollado por Hoek (1994) para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos

La evaluación del GSI se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas, y el mismo puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos:

- Macizos de calidad MUY MALA (Clase V, $0 < \text{GSI} < 20$).
- Macizos de calidad MALA (Clase IV, $20 < \text{GSI} < 40$).
- Macizos de calidad REGULAR (Clase III, $40 < \text{GSI} < 60$).
- Macizos de calidad BUENA (Clase II, $60 < \text{GSI} < 80$).
- Macizos de calidad MUY BUENA (Clase I, $80 < \text{GSI} < 100$)

Respecto al uso del índice GSI para caracterizar geotécnicamente el macizo rocoso, es conveniente indicar lo siguiente:

1. No es aplicable en aquellos casos en que el comportamiento del macizo rocoso presenta un claro control estructural. De hecho, cuando el macizo presenta solo dos sets de estructuras

el criterio de Hoek-Brown (para el cual fue desarrollado el GSI) debe aplicarse con mucho cuidado.

2. No considera la resistencia en compresión uniaxial de la roca intacta, ya que al evaluar la resistencia del macizo se incluyen los parámetros que definen el criterio de Hoek-Brown (si se incluyera se “contaría dos veces”).
3. No considera el espaciamiento entre estructuras, ya que éste está implícitamente incluido al evaluar la blocosidad del macizo rocoso (a mayor espaciamiento el macizo es más masivo y a menor espaciamiento es de mayor blocosidad).
4. No considera la condición de aguas porque el criterio de Hoek-Brown se define en términos de esfuerzos efectivos (si se incluyera se “contaría dos veces”).

El índice GSI debe definirse en un rango y no como un valor específico. En la práctica es usual definir un rango de unos 15 puntos. (Ver figura 2.16)






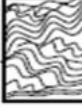
INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI) PARA LAS ROCAS METAMORFICAS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA DE VENEZUELA		CONDICION DE LA SUPERFICIE				
A partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionar el intervalo apropiado de esta gráfica. Estimar el 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, generalmente la falla estaría controlada por la estructura y el criterio de Hoek-Brown no debería ser utilizado.		MUY BUENA Rugosa, superficies cerradas sin meteorización	BUENA Rugosa, ligeramente meteorizada, abertura < 1mm, rellenos duros	MEDIA Plana, moderadamente meteorizada, abertura 1-5 mm, rellenos duros y blandos	MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas con abertura > 5 mm, predominan los rellenos blandos	MUY MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas y abiertas con rellenos blandos
ESTRUCTURA		DISMINUCION EN CALIDAD DE SUPERFICIE				
	INTACTA O MASIVA – macizo rocoso con pocas discontinuidades, carentes de planos de foliación <i>Ej: Cuarzitas, anfibolitas o mármoles</i>	90	80	N/A	N/A	N/A
	POCO FOLIADA – macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones delgadas de rocas foliadas <i>Ej: Cuarzita fracturada intercalada ocasionalmente con esquistos y/o filitas</i>		70			
	MODERADAMENTE FOLIADA – macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes <i>Ej: Intercalaciones de esquistos y/o filitas con mármoles fracturados en proporción similar</i>		60			
	FOLIADA – macizo rocoso plegado y/o fallado, muy fracturado, donde predominan las rocas foliadas, con ocasionales intercalaciones de rocas no foliadas <i>Ej: Esquistos y/o filitas muy fracturadas intercaladas ocasionalmente con mármoles lenticulares</i>		50	40		
	MUY FOLIADA – macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas <i>Ej: Esquistos y/o filitas muy fracturadas sin la presencia de mármoles, gneises o cuarzitas</i>		30		20	
	BRECHADA/CIZALLADA – macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoide. <i>Ej: Brecha de falla o zona influenciada por fallas cercanas</i>	N/A	N/A		10	5
		AUMENTO EN LA PRESENCIA DE ROCAS FOLIADAS				

Figura 2.16. Índice de Resistencia Geológica (GSI) propuesto por Truzman (1999)

2.6.22 Ensayos Geomecánicos

Los ensayos geomecánicos representan una etapa necesaria en el proceso de caracterización del macizo rocoso, los valores obtenidos a partir de estos permiten cuantificar de una manera aproximada los estados de esfuerzos máximos que puede soportar dicho cuerpo rocoso. Dentro de estos ensayos destacan los siguientes:

2.6.22.1 Compresión Uniaxial

La resistencia a la compresión uniaxial está definida como la sollicitación $\sigma_1 = C_o$ máxima que una muestra cilíndrica de roca es capaz de soportar. El valor determinante para C_o depende de la rugosidad de la superficie, del no paralelismo y la perpendicularidad entre las caras". Debe tomarse en cuenta además las dimensiones de la muestra, tal es el caso del diámetro D . En este ensayo la muestra cilíndrica de roca es colocada entre dos piezas cilíndricas de metal y por medio de una prensa se somete a una sollicitación creciente de σ_1 . (Ver figura 2.17). (Castillejo, 1993a)

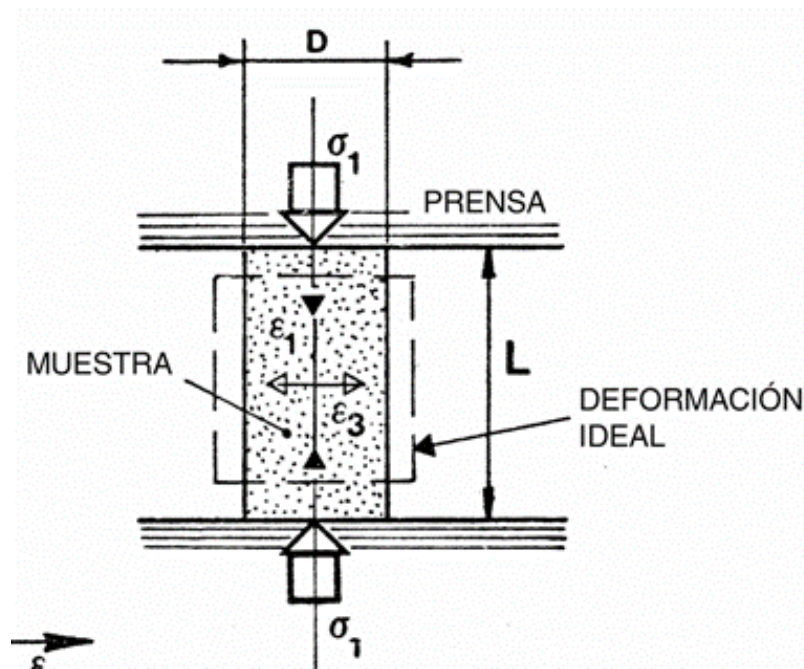


Figura 2.17. Ensayo de compresión uniaxial (Castillejo, 1993a)

Determinar el máximo diámetro d de un grano sencillo componente de la roca y seleccionar el diámetro de la muestra D de manera que se cumpla la relación $D/d > 10$. La altura de la muestra L deberá ser múltiplo del diámetro". Diversos ensayos de laboratorio, realizados en distintos tipos de rocas confirman que C_o disminuye al aumentar la relación L/D

$$C_o = (C_o)_1 \left(0.778 + \frac{0.222}{L/D} \right)$$

Donde (C_o) representa la resistencia a la compresión de una muestra de roca cuyo $L/D < 2$. En la figura 2.18 se refleja el diagrama correspondiente a dicha ecuación, comparada con resultados experimentales. Se puede constatar que, para $L/D \geq 2,5$, la variación de $C_o / (C_o)_1$ es despreciable, siendo esta relación la sugerida por muchos investigadores, y considerando la relación mínima de $L/D=2$ como aceptable.

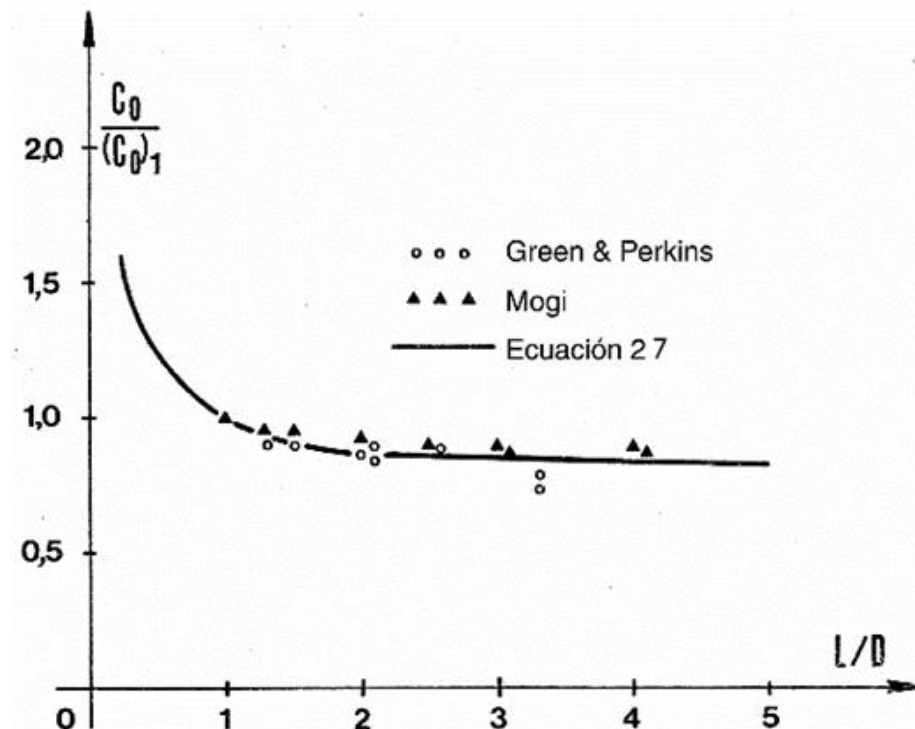


Figura 2.18. Variación de la resistencia a la compresión uniaxial en función de la relación L/D . Datos de Green & Perkins, 1968; Mogi 1966

2.6.22.2 Compresión Triaxial

La muestra de roca es sometida a una sollicitación creciente σ_1 de manera uniforme, mientras el esfuerzo lateral o la relación se mantienen constante. La prueba puede ser también realizada con la presencia de un fluido en los poros de la roca ejerciendo un control de la presión intersticial.

La muestra de forma cilíndrica, es colocada entre dos piezas cilíndricas de acero (una para el apoyo de la muestra y otra para la aplicación de la tensión axial σ_1 , la muestra es revestida por una membrana impermeable y ensayada en una celda como se muestra en la figura 2.19, donde la tensión lateral σ_3 es aplicada mediante aceite a presión. Los resultados de este ensayo son afectados por los mismos factores discutidos en el ensayo de compresión uniaxial, con la diferencia de que en el caso de este ensayo, al aumentar σ_3 se nota una disminución de la influencia de la fricción de entre la roca y las piezas de apoyo de la muestra. Para valores de $L/D \geq 2.5$, el efecto de la fricción es despreciable en el cálculo de resistencia y deformabilidad. (Ver figura 2.19). (Castillejo, 1993a).

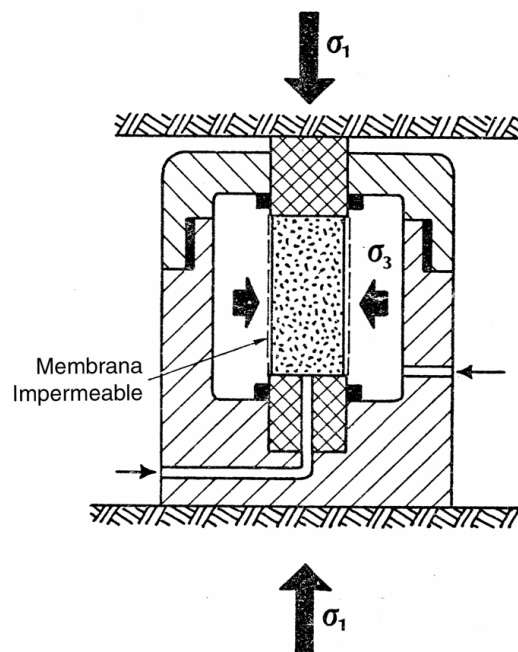


Figura 2.19. Ensayo de compresión triaxial (Castillejo, 1993^a)

2.6.22.3 Tracción Indirecta o Ensayo Brasilero

La compresión diametral de un disco de roca es lo que se denomina ensayo brasilero, por medio de la cual se induce una zona caracterizada por tensión a tracción. Al aplicar y aumentar la carga a lo largo del diámetro del disco se producirá una falla aparentemente debida a la tracción.

Este método es el más empleado para la determinación de la resistencia a la tracción de la roca por su simplicidad al momento de la realización. Aunque este por ser un método indirecto presenta la desventaja de tener que recurrir a fórmulas teóricas para el cálculo de las tensiones, además de reconocer claramente el tipo de fractura que determina el tipo de falla de la muestra. (Ver figura 2.20). (Castillejo, 1993a).

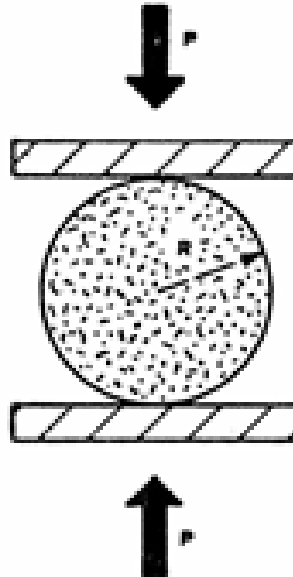


Figura 2.20. Esquema de ensayo brasilero (Castillejo, 1993a)

Según la teoría clásica de elasticidad tenemos que las tensiones σ_x , σ_y y τ_{xy} a lo largo del eje y del disco de la figura 2.20.

$$\sigma_x = -\frac{P}{\pi t R}$$

$$\sigma_y = \frac{P}{\pi t R} \left(\frac{3R^2 + y^2}{R^2 - y^2} \right)$$

Donde t es el espesor del disco, R es el radio y la carga aplicada diametralmente.

Estas ecuaciones dan las tensiones principales máximas y mínimas a lo largo del diámetro. Las mismas son graficadas en el diagrama de la figura 2.19 con una línea continua. En el centro de la muestra para $(x=0, y=0)$ se tiene para la tensión:

$$\sigma_x = -\frac{P}{\pi.t.R} \quad (\text{Tracción}) \quad (a)$$

$$\sigma_y = \frac{3P}{\pi.t.R} \quad (\text{Compresión}) \quad (b)$$

ó también

$$\sigma_y = -3\sigma_x \quad (c)$$

Es decir que la tensión σ_y de compresión mínima y la tensión σ_x de tracción máxima, si se asume que la fractura de la muestra es debido al efecto de la σ_x y se calcula la resistencia a la tracción con (a) tendremos que:

$$(T_o)_1 = -\frac{P_c}{\pi.t.R} \quad (d)$$

Donde ahora P_c es la carga al momento de la fractura y $(\tau_o)_1$ es la resistencia a la tracción, siendo esta una tensión aparente y solo aplicable al centro del disco y se mantiene que la tensión de compresión equivale a tres veces el valor de la tensión de tracción. (Ver figura 2.21) (Castillejo, 1993a).

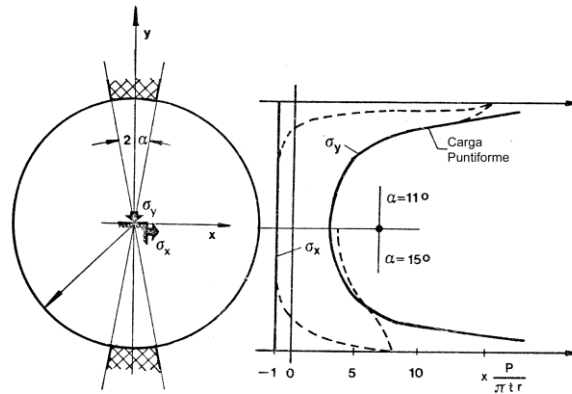


Figura 2.21. Diagrama de las tensiones a lo largo del eje y para un disco sometido a compresión diametral concentrada y distribuida en un arco del círculo (Addinal & Hacket, 1964) (Castillejo, m., 1993).

2.6.22.4 Corte Directo

Este ensayo mide la resistencia al corte directo como una función normal al plano de corte. La inclinación del espécimen de ensayo con respecto a la masa rocosa y su dirección de montaje en la prensa, se seleccionan usualmente de tal forma que el plano de corte coincida con un plano de debilidad en la roca, por ejemplo una junta, un plano de estratificación, esquistosidad o clivaje, o con la interface entre suelo y roca. La determinación de la resistencia al corte debe abarcar preferiblemente un mínimo de cuatro puntos o cargas en el mismo horizonte y constantes esfuerzos normales.

Colocar el núcleo en uno de los porta muestras de tal forma que el horizonte de ensayo quede asegurado en la posición y orientación correcta. Verter el material de encapsulado y después que éste se haya fijado, encapsular la otra mitad del espécimen de forma similar. Una zona de como mínimo cinco mm a ambos lados del horizonte de corte, debe quedar exenta de material de recubrimiento. Habiendo montado el espécimen en la caja de corte, se chequean todos los deformímetros y se registran un conjunto previo de lecturas de carga y desplazamiento.

La etapa de consolidación puede considerarse completa cuando la tasa de cambio del desplazamiento normal se menor a 0,05 mm en 10 minutos a partir de ese momento debe aplicarse la carga de corte. El propósito del corte es establecer los valores de la resistencia al corte directo

pico y residual del horizonte de ensayo. La carga de corte puede aplicarse por incrementos, pero usualmente se aplica continuamente de tal forma a controlar la tasa de desplazamiento por corte.

Después de haber alcanzado la resistencia pico, las lecturas deben efectuarse a incrementos desde 0,5 hasta 5 mm de desplazamiento de corte, como es más conveniente para definir adecuadamente las curvas carga-desplazamiento. Puede ser posible establecer un valor de resistencia residual cuando la muestra se cizalla a esfuerzo normal constante y como mínimo se obtengan cuatro series consecutivas de lecturas las cuales no indiquen más de un 5% de variación en el esfuerzo de corte para un desplazamiento por corte de un cm. (Correa, 2013)

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Dicha investigación se divide en dos etapas la primera, es la etapa descriptiva donde se realizó un análisis visual de la litología y características de los núcleos en el laboratorio de rocas, para determinar las propiedades mecánicas de dichos núcleos. La segunda partes la etapa práctica que permite identificar las características de las rocas como: resistencia al corte, compresión triaxial y tracción indirecta, con estos parámetros se pueden analizar e interpretar las características geológicas y geomecánicas de las rocas. Según (Best, 1970) “Comprende la descripción, registros, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos”.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Arias (1999), afirma que el diseño de la investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado. En este caso la investigación llevada a cabo es una investigación de diseño experimental, siendo la variable independiente el medio ambiente donde se desarrolla y las variable dependientes serán la cuantificación de la resistencia a la compresión triaxial, resistencia a la tracción, resistencia al corte, fuerza de cohesión, fuerza de fricción y abrasividad de núcleos de rocas tomados en la perforaciones, con el apoyo de los ensayos de Resistencia al corte, Compresión Triaxial y Tracción Indirecta (Brasilero), se generó el modelos geológicos y modelos geomecánicos del sitio en estudio.

3.3. MUESTRAS

La muestra se conforma con la cantidad de espécimen o unidades activo presente en el tema de investigación, según Tamayo y Tamayo (2002) es la “totalidad de un fenómeno de estudio incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integra dicho fenómeno y que debe cuantificarse para determinar un estudio”.

Para esta investigación las muestras está ubicada físicamente entre la población de Santa Cruz de Mara y punta de Palma de la Cuenca del Lago de Maracaibo, formada por siete (7) perforaciones realizadas en forma lineal de la zona de estudio y que fue seleccionada por criterio técnico, dichas

perforaciones se identifican como: P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6, P-7, que presentan una profundidad de 48,00 m; 32,00 m; 54,00 m; 61,20 m; 64,00 m; 63,40 m; 62,00 m; respectivamente.

La muestra nos determina la problemática porque es la que nos generan los datos para identificar las fallas dentro del proceso, según Tamayo y Tamayo (2002) “es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico”. En este estudio las muestras están constituidas por una fracción de la población descrita, dichas muestras son los núcleos de rocas localizados a varias profundidades según la litología presente en cada perforación, las muestras en su totalidad son 62 para realizar los ensayos propuestos en el trabajo.

3.4. MEDIOS, INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS

Los medios son:

1. Descripción de muestras de núcleos.
2. Ensayos mecánicos de laboratorio (Compresión Uniaxial, Compresión Triaxial, Tracción Indirecta (Brasilero), Corte Directo)
3. Ensayos físicos de laboratorio (densidad, absorción y porosidad)
4. Difracción de Rayos X.

Los instrumentos son:

1. Equipos GCTS (RDS 500) Laboratorio de Mecánica de Roca de la E.G.M.G. de la Facultad de Ingeniería, U.C.V.
2. Equipo de Difracción de Rayos X. (Difractómetro Philips) Laboratorio de Rayo-X de la escuela de Geología y Geoquímica de la Facultad de Ingeniería U.C.V.

Los programas son:

1. Golden Software Strater V3
2. Golden Software Grapher V11.5.791
3. Rocdata.V4.014
4. ArcGIS

Las técnicas son:

5. Norma ASTM (D5607-08) Corte Directo. /ISRM
6. Norma ASTM (D3967-08) Tracción Indirecta (Brasilero). /ISRM
7. Norma ASTM (D7012-14) Compresión Triaxial (Método B). /ISRM
8. Norma ASTM (D7012-14) Compresión Uniaxial (Método D) /ISRM
9. Norma ASTM () Ensayo de Absorción, porosidad, PU (Húmedo y Seco) /ISRM

3.5. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología que nos permitió poder cumplir con los objetivos propuestos para realizar la presente investigación.

3.5.1. Etapa I: Recopilación y Análisis de Información

3.5.1.1. Recopilación de la información

Búsqueda de información geológica-geomecánica publicada en trabajos especiales de grado, congresos nacionales e internacionales, mapas topográficos del área de estudio, perfiles de las perforaciones estudiadas y publicaciones, haciendo énfasis en las que traten de la cuenca del Lago de Maracaibo.

3.5.1.2. Análisis de la Información Recopilada

Al recopilar la información se analizó a fin de conocer los parámetros y aspectos geológicos y geomecánicos que se presentan en la zona de estudio y así cumplir con los objetivos propuestos en el trabajo

3.5.2. Etapa II: Recolección de Muestras

La selección de las muestras se realizaron en el departamento de roca de la empresa Geohidra Consultores, C.A., los núcleos que se utilizaron para los ensayos de laboratorio se escogerán en forma representativa de cada una de las perforaciones.

3.5.2.1. Escogencia de las Muestras

La escogencia de las muestras dependerá de los siguientes parámetros:

1. Longitud de los núcleos
2. Diámetro de los núcleos: HQ (62 mm)
3. Profundidad del núcleo de perforación
4. Características mineralógicas

3.5.3. Etapa III: Trabajo de Laboratorio

3.5.3.1. Estudio descriptivo de los núcleos

Identificación y descripción de aspectos cualitativos y cuantitativos, presentes en los núcleos de perforación, como lo son: Descripción litológica, intensidad del fracturamiento, ángulos de estratificación, color, variación mineralógica.

3.5.3.2. Estudio de Difracción de Rayos-X

El análisis mediante la Difracción de Rayos-X ayudo a caracterizar las fases minerales presentes en las muestras. El aspecto más importante a considerar para la selección de las muestras fue por el tamaño de grano fino presente en ella.

Las muestras fueron identificadas y llevadas al laboratorio para realizar el ensayo de Difracción Rayos-X de la Escuela de Geología y Geoquímica de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.

Las muestras se trituraron en un carburo de tungsteno, obteniendo un polvo fino. Dicho polvo se colocó en un vidrio esmerilado con una plantilla para realizar la DRX y fue llevada al Difractómetro Philips para ejecutar el ensayo, y obtener los espectros de Difracción de Rayos-X.

Mediante las tablas de *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) se realizó el reconocimiento de los minerales presentes en la muestra de roca.

3.5.3.3. Estudios Geomecánicos

Las muestras seleccionadas previamente con la descripción de los núcleos, se prepararon con las especificaciones de la Norma (ASTM), como son: el diámetro determinado, la longitud específica y las caras pulidas, luego fueron llevadas al laboratorio de mecánica de roca de la

E.G.M.G. de la Facultad de Ingeniería, U.C.V. Al llegar las muestras al laboratorio de roca, se le asignó un número para ser identificadas en dicho laboratorio. Los ensayos geomecánicos desarrollados en el laboratorio fueron: Corte Directo, Tracción indirecta (Brasilero), Compresión Triaxial (Método B) y compresión Uniaxial (Método D) según la Norma ASTM.

Los ensayos de porosidad, densidad y absorción se realizaron en el laboratorio de Geohidra Consultores C.A.

3.5.4. Etapa IV: Trabajo de Oficina

3.5.4.1. Elaboración de Reportes y Análisis de los Resultados:

Al obtener toda la descripción litológica y los valores cuantitativos y cualitativos de las perforaciones en estudio se procedió a realizar los sondeos con el software Strater V3, para obtener la litología gráficamente.

Luego con los sondeos realizados en Strater V3, se ubicó mediante coordenadas la posición geográfica de cada una de las perforaciones para después correlacionar cada una de la litología presente en el sitio de estudio y así realizar el perfil (Modelo Geológico) (escala 1:25000), con la ayuda del software ArcGis, también se digitalizó el Mapa Topográfico (escala 1:25000), ubicando las perforaciones en forma lineal de la zona en estudio (ArcGis).

Los datos de los diferentes ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de roca del procesador de la máquina GCTS, se importaron en formato ".txt", con la finalidad de integrar la información a través del programa *Office Excel* y las gráficas de cada ensayo en el programa *Grapher V11.5.791*, presentando luego los reportes en *Office Word*. Seguidamente, con el *Rocdata.V4.014* se procedió a realizar el modelo geomecánico del área de estudio. Una vez obtenida toda la información se procedió a realizar el análisis e interpretación del comportamiento del macizo rocoso, culminando un análisis geológico – geomecánico de los núcleos de la roca.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Para la descripción y realización de ensayos geomecánicos de este proyecto, se estudiaron siete perforaciones distribuidas a lo largo del alineamiento E-W al norte de la Cuenca del Lago de Maracaibo

En las muestras evaluadas se aprecia uniformidad en sus características lo cual nos muestra una similitud en su mineralogía, donde se tiene lutita de color gris oscuro y verdoso, en algunas perforaciones marrón claro con intercalaciones de limolita de color gris claro, y en algunos metros niveles de arenisca de color marrón claro y gris claro. La perforación P-5 es de arenisca cuarzosa de color gris claro con intercalación de lutita de color gris. (Ver anexo 7.1)



Las perforaciones presentan trazas de oxidación en su mayoría. El grado de meteorización va de fresca a decolorada. Según (González de Vallejo, 2002). Según la clasificación de roca de (Flores Calcaño, 1962), las muestras están en el rango de RMbf. Con los resultados del DXR la mineralogía presente es Caolinita, Ilita y Cuarzo. (Ver anexo 7.2)

4.2 PROPIEDADES INDICE

Existe una serie de parámetros que se emplean para la identificación cuantitativa de las propiedades permitiendo predecir el comportamiento mecánico de la roca, estas propiedades índices pueden alimentar los modelos geomecánicos.

Las propiedades índices se dividen en dos grupos, las que permiten identificar y clasificar, las cuales son: composición mineralógica, fabrica, textura, tamaño de grano, color, porosidad, peso específico, permeabilidad, durabilidad y las mecánicas que son: resistencia a la compresión simple, resistencia a la tracción y deformabilidad.

Tabla 4.2.1: Propiedades Índices

 RIF: G-20000062-7		LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Ensayo de Absorción, Porosidad, PU (Húmedo y Seco)			 RIF: G-20000062-7	
		<i>Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.</i>				
Código Proyecto:		Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 1	
		EDDIT & ELVI GARCIA P	Miguel Castillejo	22/06/2015	Espécimen: PU-AB-PO	
NORMAS-UTILIZADAS	ISRM	Methods-for-Determining-Water-Content,-Porosity,-Density,-Absorption-(1979)				
	ASTM					
DATOS-GENERALES						
Proyecto	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.					
Espécimen:	1,2,3,4,5,6,7_PU-AB-PO					
Origen-del-Espécimen	Suministrado-por-el-cliente			Formación-Geológica	-Formación Onia	
Perforación:	P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6, P-7			Profundidad	-	
Número-de-Muestra	Perforación	Profundidad (m)	Absorción (%)	Porosidad (%)	P.U.-Húmedo γ_w(g/cm³)	P.U.-Seco γ_d(g/cm³)
1343	P-1	36,00 - 37,00	12,44	26,54	2,25	2,13
1352	P-2	30,50 - 31,50	11,23	25,30	2,57	2,00
1358	P-3	48,00 - 49,00	3,62	8,71	2,40	2,41
1365	P-4	49,20 - 50,20	14,79	34,47	2,41	2,33
1369	P-5	62,00 - 63,00	2,33	5,61	2,44	2,40
1382	P-6	60,40 - 61,40	2,47	5,93	2,44	2,40
1390	P-7	59,00 - 60,00	14,12	26,99	2,11	2,09

En la tabla 4.2.1 se observa los resultados de las propiedades índices, la Absorción está en un rango de 2,33% a 14,7%, la porosidad esta entre 5,61% a 34,4% y según (González de Vallejo, 2002) el rango de la porosidad es de 0% a 30% y la densidad entre 2,00 g/cm³ a 2.57 g/cm³, según (González de Vallejo, 2002) la densidad esta de 2,0g/cm³ a 2,6 g/cm³. Estos parámetros nos permiten saber las propiedades y el comportamiento de las rocas al ensayarlas.

4.3 DIFRACCION DE RAYOS X

Para los ensayos DRX se utilizaron siete muestras pertenecientes a las perforaciones ejecutadas en las alineaciones E-W del Lago de Maracaibo.

Tabla 4.3.1: Difracción de Rayos X

Perforación	Muestras	Profundidad (m)	DRX		
			Cuarzo (Qz)	Caolinita (Arcilla)	Ilita (Mica)
P1	1393	24,30 – 25,30	x	x	x
P2	1394	23,50 – 24,50	x	x	x
P3	1395	46,40 – 47,40	x	x	x
P4	1396	47,00 – 48,00	x	x	x
P5	1397	61,00 – 62,00	x	x	
P6	1398	39,40 – 40,40	x	x	x
P7	1399	56,00 – 57,00	x	x	

(x) Mineral presente

En la tabla 4.3.1 se presenta la composición mineralógica de los núcleos de rocas analizados, los cuales siguen una tendencia común en donde la totalidad de las muestras presentan minerales de arcilla (Caolinita, ilita) y cuarzo (Ver Anexo 7.2). Se aprecia uniformidad en las muestras evaluadas, lo cual nos indica que las mismas son similares en mineralogía, características que nos indican claramente su origen sedimentario.

4.4 ENSAYOS GEOMECÁNICOS



Con los ensayos realizados se determinó el comportamiento geomecánico de las muestra de roca pertenecientes a la zona de estudio. Para esto se modeló en laboratorio las condiciones de esfuerzo a las cuales está sometida la muestra de roca en el sitio. Estos estudios se ejecutaron siguiendo las especificaciones de la ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

4.4.1 Ensayo de Corte Directo (ASTM D5607-08)

Determina la resistencia al corte pico y residual a través de discontinuidades contenidas en núcleos de rocas en función de cargas normales aplicadas sobre planos. Se mide el desplazamiento en direcciones horizontales y verticales, obteniendo resultados sobre la deformabilidad y resistencia al corte.

Los análisis se realizaron por los criterios Mohr Coulomb y Barton-Bandis.

Tabla 4.4.1. Resultados del Ensayo de Corte Directo

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE			 RIF: G-20000062-7 Página 1 de 6
	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.			
	Cálculo: EDDIT & ELVI GARCIA	Revisión: M. CASTILLEJO	Fecha: 25/01/2017	



DATOS GENERALES				
Proyecto	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.	Especímenes del análisis	1400/1702/1703/1361/1362/1363/1365/1700/1701/1369/1697/1699/1397-A/1397-B/1403/1404/1405 1698	
Origen del Espécimen	Suministrado por el cliente	Perforaciones	P-1/P-2/P-3/P-4/P-5/P-6/P-7	
Clasificación Geológica del Espécimen	Lutitas (Areniscas)	Formación Geológica	Formación Onia	
Tipo de Roca	Blanda	Número de puntos en el análisis	71	Puntos
Nota:	Todas las muestras corresponden al estrato de LUTITA con intercalaciones de LIMOLITA, que corresponde a la perforación P-1; P-2; P-3; P-4; P-7, las muestras de la perforación P-5, son ARENISCAS con intercalaciones de LUTITA y la perforación P-6 en sus primeros metros de profundidad son LUTITAS con niveles de ARENISCA y luego continua LUTITA con intercalaciones de LIMOLITA			

Número	Muestra	Punto	Máximo (Pico)		Mínimo (Residual)		Máximo (Pico)		Mínimo (Residual)	
			σ_n	τ	σ_n	τ	σ_{3max}	σ_{1max}	σ_{3min}	σ_{1min}
1	1400	1	0.27291	1.94380	0.25605	1.41974	-1.67090	2.21671	-1.16370	1.67579
2	1400	2	0.51812	1.23762	0.50026	1.20177	-0.71949	1.75574	-0.70152	1.70203
3	1400	3	1.02119	1.02692	0.99456	0.99432	-0.00573	2.04811	0.00024	1.98889
4	1400	4	2.02249	1.274334	2.00096	1.23392	0.74815	3.29683	0.76704	3.23488
5	1702	1	0.27717	2.15270	0.23228	0.33179	-1.87553	2.42987	0.09951	0.56407
6	1702	2	0.51745	0.58114	0.51482	0.53166	-0.06369	1.09859	-0.01683	1.04648
7	1702	3	1.01720	0.83682	0.99174	0.70494	0.18039	1.85402	0.28680	1.69668
8	1702	4	2.01653	1.45127	1.98364	1.31197	0.56527	3.46780	0.67167	3.29560
9	1703	1	0.26966	1.66397	0.25934	1.16634	-1.39431	1.93363	-0.90700	1.42568
10	1703	2	0.52059	1.27079	0.51268	1.17366	-0.75020	1.79138	-0.66098	1.68634
11	1703	3	1.02071	1.42075	1.01336	1.39109	-0.40004	2.44146	-0.37773	2.40445
12	1703	4	2.02475	2.16141	2.00247	2.05390	-0.03666	4.18616	-0.05143	4.05637
13	1361	1	2.00874	1.11676	2.01119	1.07535	0.89198	3.12550	0.93584	3.08654
14	1361	2	0.52035	0.53573	0.49805	0.48843	-0.01538	1.05608	0.00962	0.98648
15	1361	3	1.01912	0.70055	1.02746	0.67385	0.31857	1.71967	0.35361	1.70131
16	1361	4	2.00874	1.11676	2.01119	1.07535	0.89198	3.12550	0.93584	3.08654
17	1362	1	0.26884	0.73977	0.23133	0.36916	-0.47093	1.00861	-0.13783	0.60049
18	1362	2	0.51384	0.58159	0.48263	0.52015	-0.06775	1.09543	-0.03752	1.00278
19	1362	3	1.01957	0.86402	0.97849	0.79016	0.15555	1.88359	0.18833	1.76864
20	1363	1	0.26483	0.47715	0.25210	0.33071	-0.21232	0.74198	-0.07860	0.58281
21	1363	2	0.51784	0.55178	0.47767	0.41438	-0.03394	1.06963	0.06329	0.89205
22	1363	3	1.03062	0.75579	1.00153	0.60946	0.27483	1.78641	0.39207	1.61099
23	1363	4	2.00970	1.03916	2.00978	0.86444	0.97054	3.04886	1.14534	2.87421
24	1365	1	0.27217	7.19605	0.23998	7.07781	-6.92388	7.46822	-6.83722	7.31779
25	1365	2	0.51907	11.67854	0.48712	11.55775	-11.15947	12.19761	-11.07063	12.04486
26	1365	3	1.02416	11.59713	0.97294	11.52284	-10.57297	12.62130	-10.54990	12.49578
27	1365	4	2.01987	12.75681	2.02346	12.71721	-10.73693	14.77668	-10.69374	14.74067

Tabla 4.4.1. Resultados del Ensayo de Corte Directo (continuación)

Número	Muestra	Punto	Máximo (Pico)		Mínimo (Residual)		Máximo (Pico)		Mínimo (Residual)	
			σ_n	τ	σ_n	τ	σ_{3max}	σ_{1max}	σ_{3min}	σ_{1min}
28	1700	1	0.26861	0.55355	0.25662	0.45161	-0.28494	0.82216	-0.19499	0.70822
29	1700	2	0.51945	0.57036	0.50122	0.52320	-0.05092	1.08981	-0.02198	1.02442
30	1700	3	1.02889	0.81757	1.01452	0.79209	0.21133	1.84646	0.22243	1.80661
31	1700	4	2.02145	1.30075	2.01727	1.17568	0.72070	3.32221	0.84159	3.19295
32	1701	1	0.26602	1.08350	0.26388	0.35262	-0.81748	1.34952	-0.08874	0.61650
33	1701	2	0.51971	0.69142	0.51445	0.68526	-0.17171	1.21113	-0.17082	1.19971
34	1701	3	1.01946	0.99689	1.00931	0.97066	0.02257	2.01635	0.03865	1.97997
35	1701	4	2.01578	1.47837	2.01186	1.42616	0.53742	3.49415	0.58570	3.43802
36	1369	1	0.27388	1.02107	0.23715	0.55295	-0.74718	1.29495	-0.31580	0.79009
37	1369	2	0.51996	0.99360	0.48814	0.92138	-0.47364	1.51356	-0.43324	1.40952
38	1369	3	1.02905	1.65082	0.99733	1.59587	-0.62177	2.67987	-0.59853	2.59320
39	1369	4	2.02355	2.62909	1.98080	2.11535	-0.60554	4.65265	-0.13455	4.09615
40	1697	1	0.27393	1.14553	0.27240	0.47034	-0.87160	1.41946	-0.19794	0.74274
41	1697	2	0.51863	0.68588	0.49709	0.5848	-0.16725	1.20451	-0.08772	1.08189
42	1697	3	1.01833	1.00751	1.01451	0.93234	0.01083	2.02584	0.08217	1.94685
43	1697	4	2.01637	1.66463	1.98153	1.57448	0.35174	3.68100	0.40705	3.55601
44	1699	1	0.27410	1.54169	0.24305	0.62141	-1.26760	1.81579	-0.37836	0.86445
45	1699	2	0.53468	0.88206	0.48607	0.81738	-0.34738	1.41674	-0.33131	1.30346
46	1699	3	1.02961	1.49881	0.97892	1.40933	-0.27843	4.32454	-0.210441	4.16825
47	1699	4	2.02306	2.30149	1.97892	2.18933	-0.27843	4.32454	-0.21041	4.16825
48	1397-A	1	0.26934	0.93161	0.25797	0.37342	-0.66227	1.20095	-0.11545	0.63138
49	1397-A	2	0.52162	0.54823	0.49470	0.52290	-0.02661	1.06986	-0.02820	1.01760
50	1397-A	3	1.01863	0.85409	0.99226	0.82238	0.16454	1.87272	0.16988	1.81463
51	1397-A	4	0.02412	1.19975	2.01784	1.19200	0.82437	3.22387	0.82584	3.20983
52	1397-B	1	0.26389	1.96089	0.27785	1.33915	-1.69700	2.22478	-1.06130	1.61700
53	1397-B	2	0.52053	0.56688	0.52113	0.55085	-0.04635	1.08740	-0.02971	1.07198
54	1397-B	3	1.01727	0.64785	0.99350	0.60502	0.36942	1.66511	0.38848	1.59851
55	1397-B	4	2.01645	0.91546	2.00055	0.86356	1.10100	2.93191	1.13698	2.86411
56	1403	1	0.26850	0.37089	0.26189	0.35490	-0.10239	0.63939	-0.09301	0.61679
57	1403	2	0.51450	0.42621	0.51033	0.39521	0.08830	0.94071	0.11512	0.90554
58	1403	3	1.02673	0.56826	1.00726	0.54445	0.45846	1.59499	0.46282	1.55171
59	1403	4	2.01294	0.68908	1.99438	0.65737	1.32385	2.70202	1.33702	2.65175
60	1404	1	0.27706	1.50063	0.25752	0.39204	-1.22357	1.77768	-0.13452	0.649560
61	1404	2	0.51965	0.62093	0.52098	0.57183	-0.101288	1.14057	-0.05085	1.09280
62	1400	3	1.02030	0.87636	1.01813	0.81289	0.14394	1.89667	0.20524	1.83102
63	1400	4	2.02018	1.40306	1.98851	1.22663	0.61712	3.42324	0.76189	3.21514
64	1405	1	0.27603	1.26787	0.25577	0.37509	-0.99184	1.54390	-0.11932	0.63086
65	1405	2	0.52394	0.60197	0.50556	0.52867	-0.07803	1.12592	-0.02311	1.03426

Tabla 4.4.1. Resultados del Ensayo de Corte Directo (continuación)

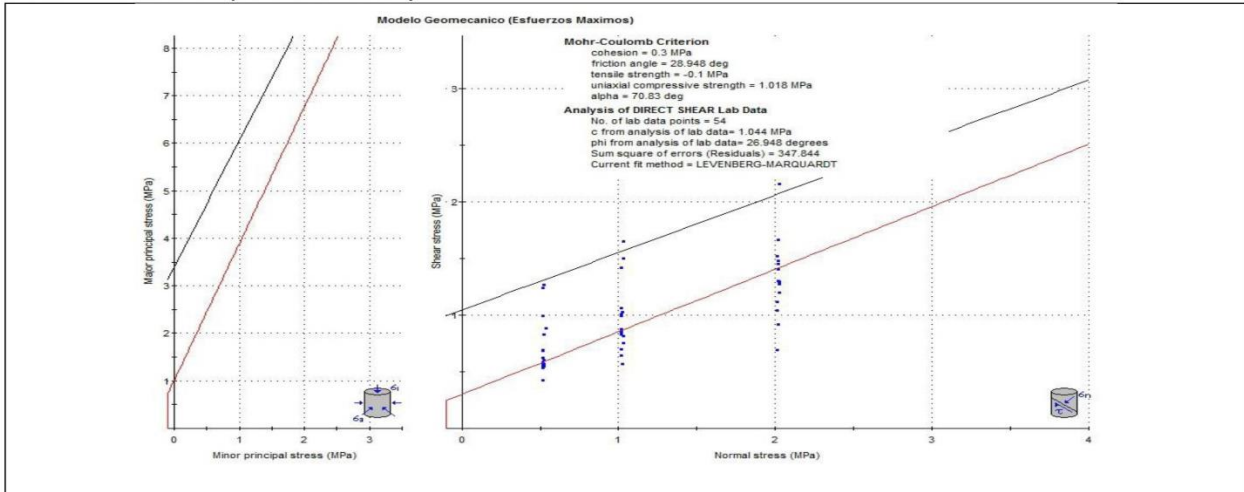
 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE			 RIF: G-20000062-7 Página 3 de 6
	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.			
	Cálculo: EDDIT & ELVI GARCIA	Revisión: M. CASTILLEJO	Fecha: 25/01/2017	

Número	Muestra	Punto	Máximo (Pico)		Mínimo (Residual)		Máximo (Pico)		Mínimo (Residual)	
			σ_n	τ	σ_n	τ	σ_{3max}	σ_{1max}	σ_{3min}	σ_{1min}
66	1405	3	1.01742	0.82853	0.97539	0.74296	0.18889	1.84595	0.23243	1.71835
67	1405	4	2.02205	1.29743	1.99832	1.00012	0.72462	3.31948	0.99820	2.99844
68	1698	1	0.27159	0.71314	0.25443	0.61947	-0.44155	0.98474	-0.36504	0.87390
69	1698	2	0.52603	0.82883	0.51567	0.54508	-0.30280	1.35486	-0.02940	1.06075
70	1698	3	1.02070	1.06127	1.01084	0.88378	-0.04057	2.08197	0.12705	1.89462
71	1698	4	2.01107	1.52270	2.00801	1.43724	0.48836	3.53377	0.57077	3.44525

Procedimiento

- Para realizar el análisis de procedió a dividir la población de los ensayos en dos partes, los esfuerzos picos o máximos y los esfuerzos residuales, analizándolos de manera independiente.
- Los análisis se realizaron por los criterios de Mohr-Coulomb y Barton-Bandis.
 - Mohr-Coulomb**, determina los parámetros de cohesión c y ángulo de fricción ϕ
 - Barton-Bandis**, determina los parámetros de JRC y JCS de la discontinuidad a partir de los resultados de corte directo.
- Se elaborarán las envolventes de falla a partir de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio y se establecerán los parámetros mencionados anteriormente de acuerdo al criterio a emplear.
- Se empleará el programa RocData V4.0

Esfuerzos Máximos (Mohr-Coulomb)





Criterio de Mohr-Coulomb (máximos)

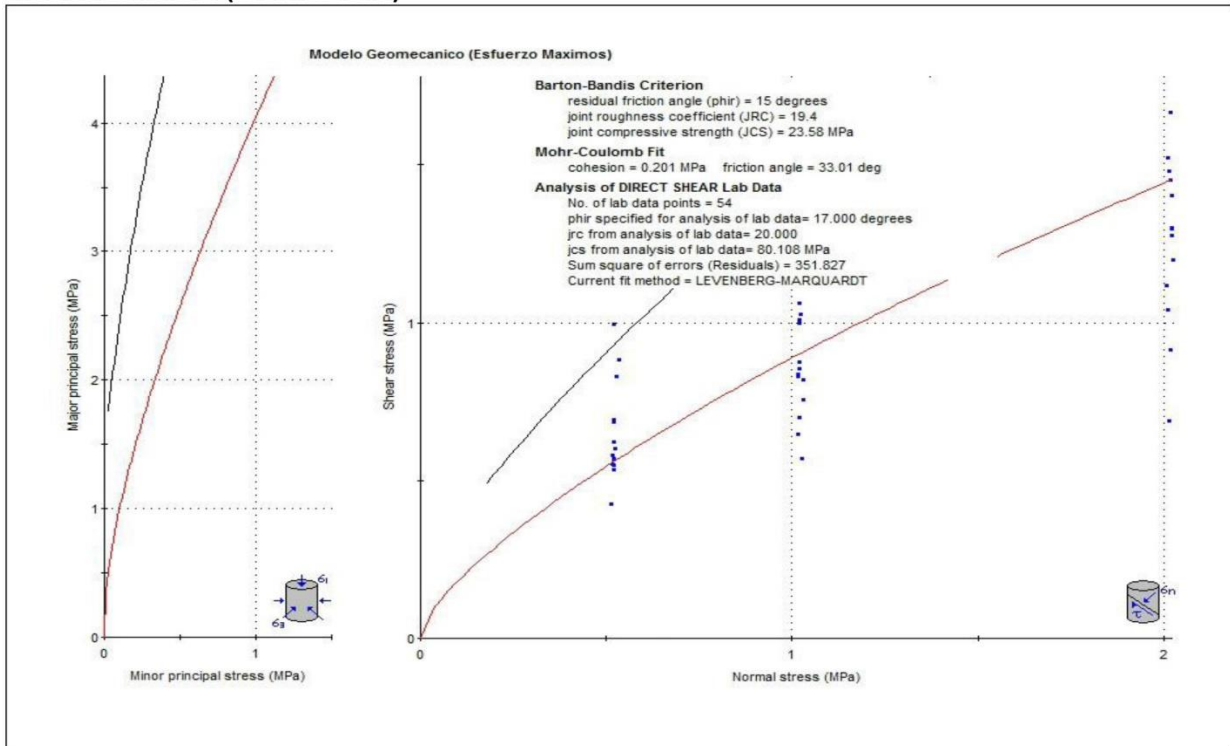
- La línea en negro representa el ajuste realizado con el método de ajuste Levenberg-Marquadt: parámetros obtenidos: $c = 1,044$ MPa y $\phi = 26,948$ grados, suma de los errores (residuos) 347,844
- La línea en roja es la curva de ajuste sugerida, cuyos parámetros son: $c = 0,3$ MPa y $\phi = 28,948$ grados, resistencia a la tracción de -0.1 MPa, Resistencia a la compresión 1,018 MPa y $\alpha = 70,83$ grados

Grafico 4.4.1.1. Modelo Geomecánico utilizando el Criterio de Mohr-Coulomb para esfuerzos Máximos

En el grafico 4.4.1.1 se muestran los valores arrojados por el ensayo de corte directo, esta grafica se realizó por el criterio de Mohr-Coulomb para los esfuerzos máximos o picos, la cual determino los parámetros de cohesión y ángulos de fricción, en ella se realizaron las envolventes de fallas a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio, los parámetros son: cohesión 0,3 MPa y un ángulo de fricción de 28,9°

	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE			
	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.			
Cálculo: EDDIT & ELVI GARCIA	Revisión: M. CASTILLEJO	Fecha: 25/01/2017	Página 4 de 6	

Esfuerzos Máximos (Barton-Bandis)





Este criterio al igual que el anterior en programa realiza un ajuste el cual es mostrado con la línea negra y los valores sugeridos con la línea roja.

- La línea en negro representa el ajuste realizado con el método de ajuste Levenberg-Marcuadt: parámetros obtenidos: $\phi_{irr} = 17,00$ grados, $JRC = 20,00$, $JCS = 80,1$ MPa y suma de los errores (residuos) 351.8
- Ajuste de Mohr-Coulomb: $c = 0.20$ MPa y $\phi = 33,01$ grados
- La línea en roja es la curva de ajuste sugerida, cuyos parámetros son: $\phi_{irr} = 15$ grados, $JRC = 19,4$, $JCS = 23,6$ MPa

Grafico 4.4.1.2. Modelo Geomecanico utilizando el criterio de Barton-Bandis para esfuerzos Máximos

En el grafico 4.4.1.2, se obtuvieron los valores arrojados por el ensayo de corte directo, esta grafica se realizó por el criterio de Barton-Bandis para los esfuerzos máximos, este criterio determino los parámetros de JRC y JCS de la discontinuidad, los parámetros son: JRC 19,4 MPa y JCS 23,6 MPa. El parámetro JRC depende de la rugosidad de las paredes de la discontinuidad, según el criterio de Barton-Bandis está en un rango de 1 a 20. Los resultados obtenidos están dentro de ese rango.

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE			 RIF: G-20000062-7
	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.			
Cálculo: EDDIT & ELVI GARCIA	Revisión: M. CASTILLEJO	Fecha: 25/01/2017	Página 5 de 6	

Esfuerzos Mínimos (Mohr-Coulomb)

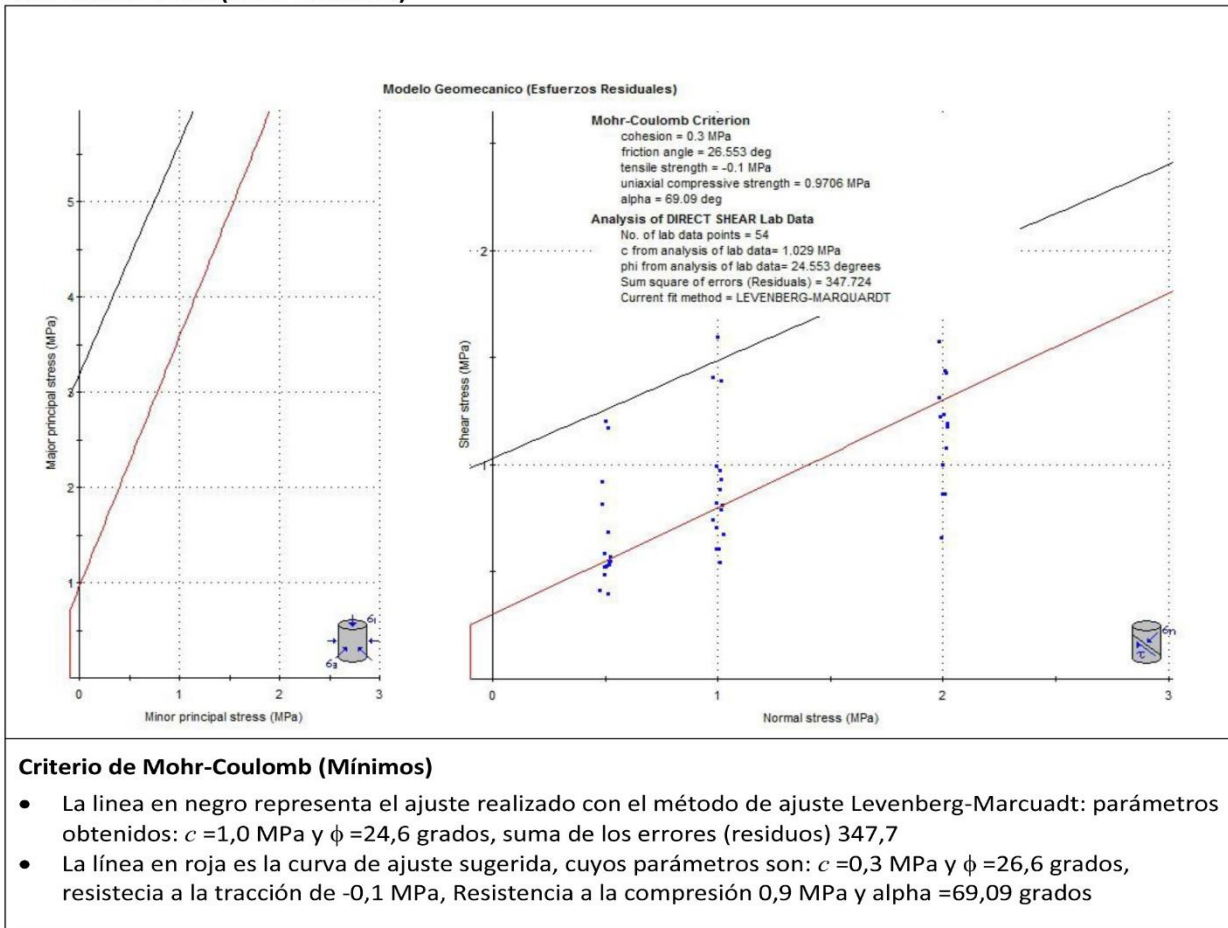


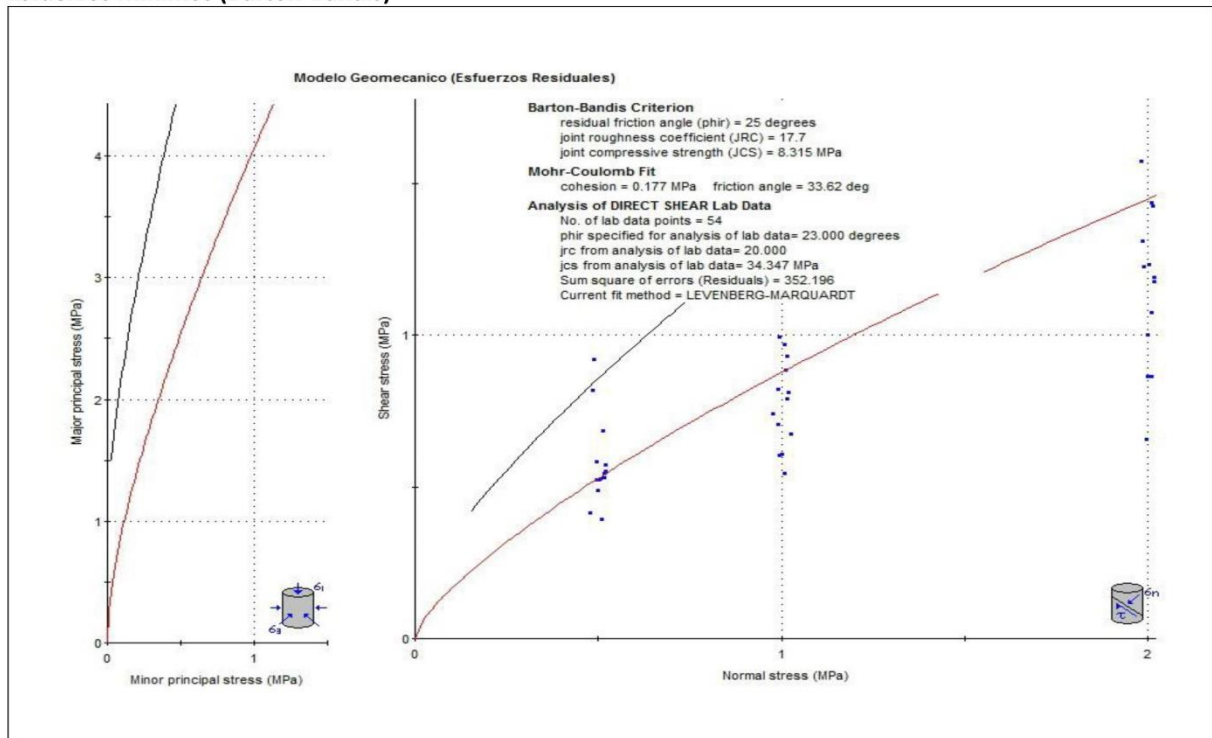


Grafico 4.4.1.3. Modelo Geomecánico utilizando el Criterio de Mohr-Coulomb para esfuerzos Mínimos

En el grafico 4.4.1.3 se muestran los valores arrojados por el ensayo de corte directo, aquí se empleó el criterio de Mohr-Coulomb para los esfuerzos mínimos o residuales, la cual determino los parámetros de cohesión y ángulos de fricción, se realizaron las envolventes de fallas a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio, los parámetros son: cohesión 0,3 MPa y un ángulo de fricción de 26,6°.

 <p>RIF: G-20000062-7</p>	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE			 <p>RIF: G-20000062-7</p>
	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.			
Cálculo: EDDIT & ELVI GARCIA	Revisión: M. CASTILLEJO	Fecha: 25/01/2017	Página 6 de 6	

Esfuerzos Mínimos (Barton-Bandis)



Este criterio al igual que el anterior en programa realiza un ajuste el cual es mostrado con la línea negra y los valores sugeridos con la línea roja.

- La línea en negro representa el ajuste realizado con el método de ajuste Levenberg-Marcuadt: parámetros obtenidos: $\phi_{ir} = 23,0$ grados, $JRC = 20,0$, $JCS = 34,4$ MPa y suma de los errores (residuos) 352,196
- Ajuste de Mohr-Coulomb: $c = 0,2$ MPa y $\phi = 33,62$ grados
- La línea en roja es la curva de ajuste sugerida, cuyos parámetros son: : $\phi_{ir} = 25$ grados, $JRC = 17,7$, $JCS = 8,3$ MPa

Grafico 4.4.1.4. Modelo Geomecánico utilizando el Criterio de Barton-Bandis para esfuerzos Mínimos

En el grafico 4.4.1.4, se obtuvieron los valores arrojados por el ensayo de corte directo, esta grafica se realizó por el criterio de Barton-Bandis para los esfuerzos mínimos o residuales, este criterio determino los parámetros de JRC y JCS de la discontinuidad, los parámetros son: JRC 17,7 MPa y JCS 8.3 MPa.

4.4.2 Ensayos de Compresión Uniaxial (ASTM D7012-14 MÉTODO D), Tracción Indirecta (Brasilero) (ASTM D 3967-08) y Compresión Triaxial (ASTM D7012-14 MÉTODO B)

El ensayo de Compresión Uniaxial se utiliza para la clasificación y caracterización geotécnica de la roca intacta, es decir es el valor de la fuerza máxima que soporta la muestra dividiéndola por el área, ellos nos permite conocer el comportamiento de la roca tras la rotura dando como resultado la curva esfuerzo-deformación.



El ensayo de Tracción Indirecta (Brasilero) mide en forma indirecta la resistencia a la tracción Uniaxial. Los resultados de dicho ensayo se emplean para clasificar y caracterizar geotécnicamente la roca.

El ensayo Triaxial determina la resistencia de muestras de rocas sometidas a compresión triaxial, los resultados se utilizan para determinar la envolvente de esfuerzos de la cual se obtiene los valores del ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (c).

Los análisis se realizaron por los criterios de Hoek-Diedrichs y Mohr Coulomb. El criterio de Hoek-Diedrichs determina los parámetros de resistencia tales como: resistencia a la compresión no confinada σ_{ci} , los parámetros de m_i , el índice de fuerza geológica GSI

Los siguientes gráficos presentan las distintas curvas de ajuste generadas por los parámetros geomecánicos, obtenidos mediante los ensayos de Compresión Uniaxial, Tracción Indirecta y Compresión Triaxial.

Tabla 4.4.2. Resultados del Ensayo Compresión Uniaxial, Brasilerio y Triaxial

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE, TRIAXIALES y BRASILERIO			 RIF: G-20000062-7
	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.			
Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 3	
EDDIT & ELVI GARCIA P	M. CASTILLEJO	25/01/2017		
DATOS GENERALES				
Proyecto	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.	Especímenes del análisis	1346-TRX_0.B / 1349-TRX_0.B / 1354-TRX_0 / 1355-B /1356-TRX_0.B 1357-B /1359-TRX_0 /1365-B / 1366-TRX_0/1368-TRX_0/1371.B/ 1374-TRX_0/1376-TRX_0/1378-TRX_0/ 1380-TRX_0.B/1382-TRX_0/ 1386-TRX_0/1387.B/1388-TRX_0/ 1389-TRX_0/1390-TRX_0/1391-TRX_0.B 1700-B	
Origen del Especimen	Suministrado por el cliente	Perforaciones	P-1/P-2/P-3/P-4/P-5/P-6/P-7	
Clasificación Geológica del Especimen	Lutitas (Areniscas)	Formación Geológica	Formación Onia	
Tipo de Roca	Blanda	Número de puntos en el análisis	43	Puntos
Nota:	Todas las muestras corresponden al estrato de LUTITA con intercalaciones de LIMOLITA, que corresponde a la perforación P-1; P-2; P-3; P-4; P-7, las muestras (1368-10; 1371-1; 1374-2; 1376-4; 1378-6; 1380-20; 1382-22) de la perforación P-5; P-6, son ARENISCAS con intercalaciones de LUTITA.			

Número	Muestra		
		σ_3 MPa	σ_1 MPa

1	1346-Brasilerio	-3.33	9.99
2	1349-Brasilerio	-1.56	4.67
3	1355-Brasilerio	-3.89	11.68
4	1356-Brasilerio	-3.91	11.74
5	1357-Brasilerio	-2.03	6.08
6	1365-Brasilerio	-3.06	9.17
7	1700-Brasilerio	-2.22	6.65
8	1371-Brasilerio	-3.08	9.25
9	1380-Brasilerio	-6.41	19.23
10	1387-Brasilerio	-1.27	3.81
11	1391-Brasilerio	-0.29	0.87
12	1346-TRX_0	16.4	15
13	1349-TRX_0	21.4	20
14	1354-TRX_0	22.7	21.3
15	1356-TRX_0	37.3	35.9
16	1359-TRX_0	33.6	32.2
17	1366-TRX_0	39.7	38.3
18	1368-TRX_0	24.5	41.2
19	1374-TRX_0	2.1	0.8
20	1376-TRX_0	2	0.6
21	1378-TRX_0	11.7	10.3
22	1380-TRX_0	36	34.6
23	1382-TRX_0	42	40.6

Número	Muestra		
		σ_3 MPa	σ_1 MPa

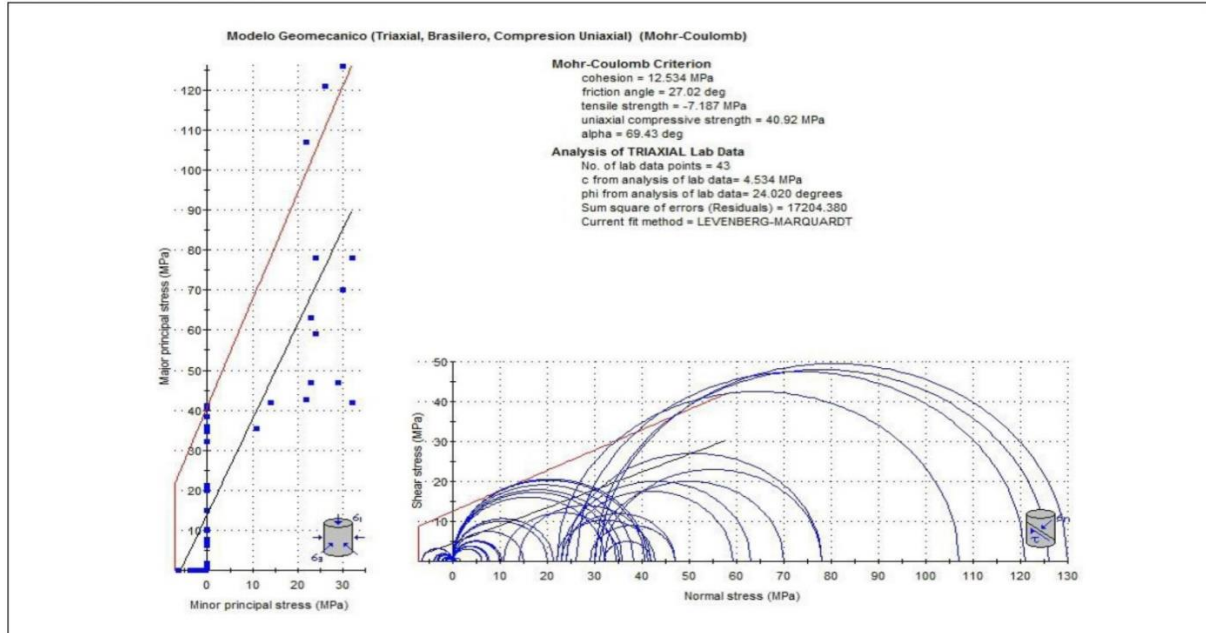
24	1386-TRX_0	8.8	7.4
25	1388-TRX_0	8.5	1.7
26	1389-TRX_0	11.3	9.9
27	1390-TRX_0	7.6	6.2
28	1391-TRX_0	9.1	7.7
29	1345_TRX	10.9	35.3
30	1348_TRX	23,9	63
31	1351_TRX	14	41.9
32	1355_TRX	22,1	107,8
33	3157_TRX	24	78,7
34	1360_TRX	26,3	121,2
35	1367_TRX	32,2	42,1
36	1370_TRX	32,3	78,7
37	1371_TRX	29,8	47,1
38	1375_TRX	22,0	42,7
39	1375-1_TRX	23,3	47,1
40	1377_TRX	24,3	59,2
41	1381_TRX	30,0	126,7
42	1383_TRX	31,9	130,6
43	1387_TRX	30,0	70,1

En la tabla 4.4, se presenta los valores que alcanzaron las muestras al realizarse los ensayos en el laboratorio, debido a la fricción entre la muestra y la placa de aplicación de la carga.

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE, TRIAXIALES y BRASILERO			 RIF: G-20000062-7	
	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.				
	Cálculo: EDDIT & ELVI GARCIA P	Revisión: M. CASTILLEJO	Fecha: 25/01/2017		Página 2 de 3

Procedimiento <ol style="list-style-type: none"> Para realizar el análisis de procedió a dividir la población de los ensayos en dos partes, los esfuerzos picos o máximos y los esfuerzos residuales, analizándolos de manera independiente. Los análisis se realizaran por los criterios de Mohr-Coulomb y Hoek-Diederichs (2006). <ol style="list-style-type: none"> Mohr-Coulomb, determina los parámetros de cohesión c y ángulo de fricción ϕ Hoek-Diederichs, Se elaborarán las envolventes de falla a partir de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio y se establecerán los parámetros mencionados anteriormente de acuerdo al criterio a emplear. Se empleará el programa RocData V4.0

Criterio de Mohr-Coulomb



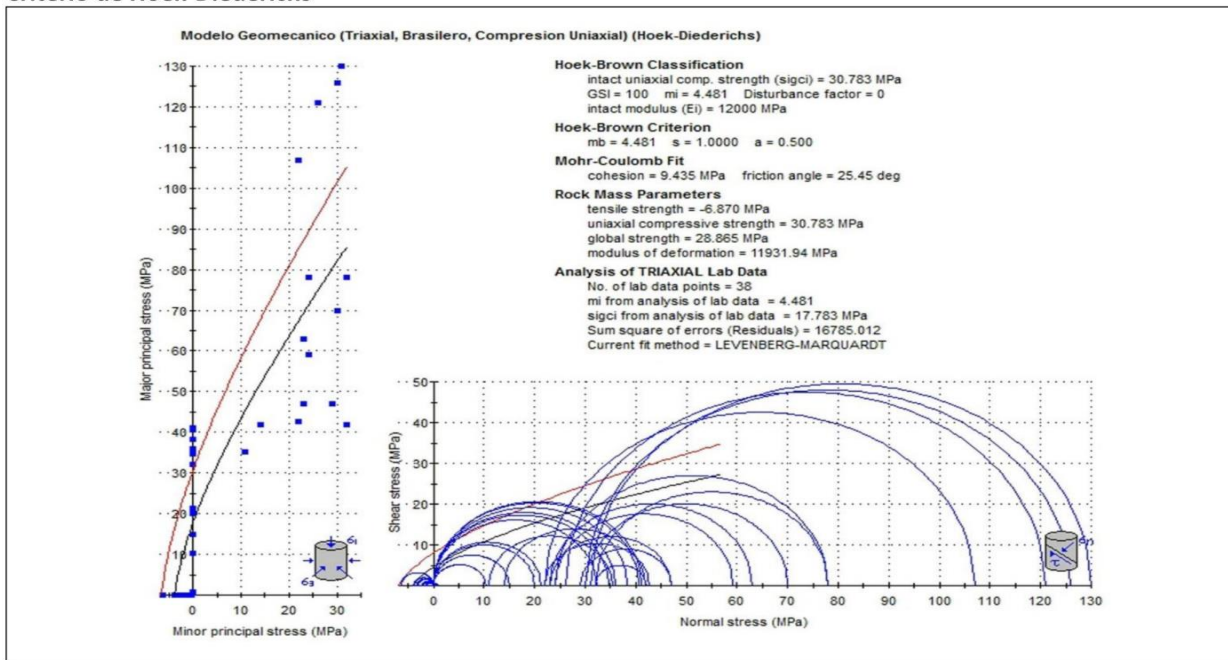
- Criterio de Mohr-Coulomb**
- La línea en negro representa el ajuste realizado con el método de ajuste Levenberg-Marcuadt: parámetros obtenidos: $c = 4,534$ MPa y $\phi = 24,020$ grados, suma de los errores (residuos) 17204,380
 - La línea en roja es la curva de ajuste sugerida, cuyos parámetros son: $c = 12,534$ MPa y $\phi = 27,02$ grados, resistecia a la tracción de $-7,187$ MPa, Resistencia a la compresión 40,92 MPa y $\alpha = 69,43$ grados

Grafico 4.4.2.1. Modelo Geomecánico utilizando el Criterio de Mohr Coulumb

En el grafico 4.4.2.1 se presentan los valores obtenidos en los ensayo de Compresión Uniaxial, Tracción Indirecta y Triaxial, esta grafica se realizó por el criterio de Mohr-Coulomb, la cual determino los parámetros de cohesión y ángulos de fricción, se realizaron las envolventes de fallas a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio, los parámetros son: cohesión 12,534 MPa y un ángulo de fricción de 27,02°, resistencia a la tracción de -7,187 MPa, resistencia a la compresión de 40,92 MPa.

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE, TRIAXIALES y BRASILERO			 RIF: G-20000062-7
	Caracterización Geológica Geomecánica del tope de roca Formación Onia al noroeste en Santa Cruz de Mara en la cuenca del Lago de Maracaibo Estado Zulia.			
Cálculo: EDDIT & ELVI GARCIA P	Revisión: M. CASTILLEJO	Fecha: 25/01/2017	Página 3 de 3	

Criterio de Hoek-Diederichs



Criterio de Hoek-Diederichs

- La línea en negro representa el ajuste realizado con el método de ajuste Levenberg-Marcuadt: parámetros obtenidos: $m_i = 4,481$ y $\sigma_{ci} = 17,783$ MPa, suma de los errores (residuos) 16785,012
- Ajuste de Mohr-Coulomb: $c = 9,435$ MPa y $\phi = 25,45$ grados
- La línea en roja es la curva de ajuste sugerida, cuyos parámetros son: $\sigma_{ci} = 30,783$ MPa y $GSI = 100$, $m_i = 4,481$, $s = 1,0000$ $a = 0,500$, Modulo inctato = 12000 MPa

Grafico 4.4.2.2. Modelo Geomecánico utilizando el Criterio de Hoek-Diederichs

En el grafico 4.4.2.2, los valores obtenidos en los ensayo de Compresión Uniaxial, Tracción Indirecta y Triaxial, se realizó por el criterio de Hoek-Diederichs, la cual determino los parámetros sigci 30,783 MPa, GSI 100, m_i 4,481; s 1,0000, a 0,500 y modulo intacto 12000 MPa, se realizaron las envolventes de fallas a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio,

4.5 ANÁLISIS GEOLÓGICO GEOMECÁNICO DE LOS NÚCLEOS DE ROCAS

La ingeniería geológica estudia y soluciona los problemas producidos por la interacción directa e indirecta del hombre con el medio geológico, haciendo que los factores geológicos condicionantes de las obras civiles se interpreten de forma adecuada ya que esto contribuye a la seguridad de los proyectos y corrige en gran parte el impacto ambiental que se puede ocasionar la ejecución de todas las obras.

La geomecánica y la geología evalúan las propiedades y composición de las rocas. Ambas disciplinas se complementan con el fin de resolver problemas que contribuyan a la sociedad y generan beneficios técnicos y científicos. Para ello, es necesario realizar los ensayos de laboratorio y aplicar criterios y fórmulas matemáticas documentadas que nos permitan determinar las condiciones de un área, para lo cual se debe tener en cuenta la deformación dúctil y frágil de las rocas que son las que condicionan el comportamiento mecánico donde se construirá una obra, como el caso de la cimentación en puentes, en el diseño de pilotes donde el peso total y las cargas que soportan tienen que descansar en el terreno donde será ubicada dicha infraestructura.

En el Lago de Maracaibo se lleva a cabo la construcción de un puente que abarca las disciplinas antes mencionadas, para ello se ejecutaron siete perforaciones distribuidas a lo largo del alineamiento E-W del lago de Maracaibo. (Ver Anexo 7.7). Una vez identificadas las muestras, se realizó una descripción en detalle de las propiedades más resaltantes para conocer las características mineralógicas texturales. Se tomó en cuenta el aspecto de la muestra (masiva o granular), el tamaño del grano (fino a muy fino), estructuras sedimentarias visibles (paralelas, mezcladas, masivas, laminares, Irregular), identificando los minerales presentes a través de lupa de mano 10X (mica, cuarzo). (Ver Anexo 7.1).

Se seleccionó una muestra por perforación para el análisis de propiedades índices que nos permitieron la clasificación de las rocas estudiadas.

Tabla 4.5. Resultados de las Propiedades Índice

# Muestra	Perforación	Profundidad (m)	Absorción (%)	Porosidad (%)	P.U.-Húmedo γ_w^- (g/cm ³)	P.U.-Seco γ_d^- (g/cm ³)
1343	P-1	36,00 – 37,00	12,44	26,54	2,25	2,13
1352	P-2	30,50 – 31,50	11,23	25,30	2,32	2,27
1358	P-3	48,00 – 49,00	3,62	8,71	2,40	2,41
1365	P-4	49,20 – 50,20	14,79	34,47	2,41	2,33
1369	P-5	62,00 – 63,00	2,33	5,61	2,44	2,40
1382	P-6	60,40 – 61,40	2,47	5,93	2,44	2,40
1390	P-7	59,00 – 60,00	14,12	26,99	2,11	2,09

En la tabla 4.5.1 se observan los valores que se obtuvieron para cada una de las propiedades índice. Estos valores determinan las propiedades y comportamiento mecánico de las rocas así como su resistencia y deformación. La porosidad es inversamente proporcional a la resistencia, los valores resultantes están en un rango de 5,61 % a 34,47%. La densidad es directamente proporcional a la deformación, los valores resultantes son de 2,00 g/cm³ a 2,57 g/cm³. La Absorción está en un rango de 2,33 % a 4,79%.

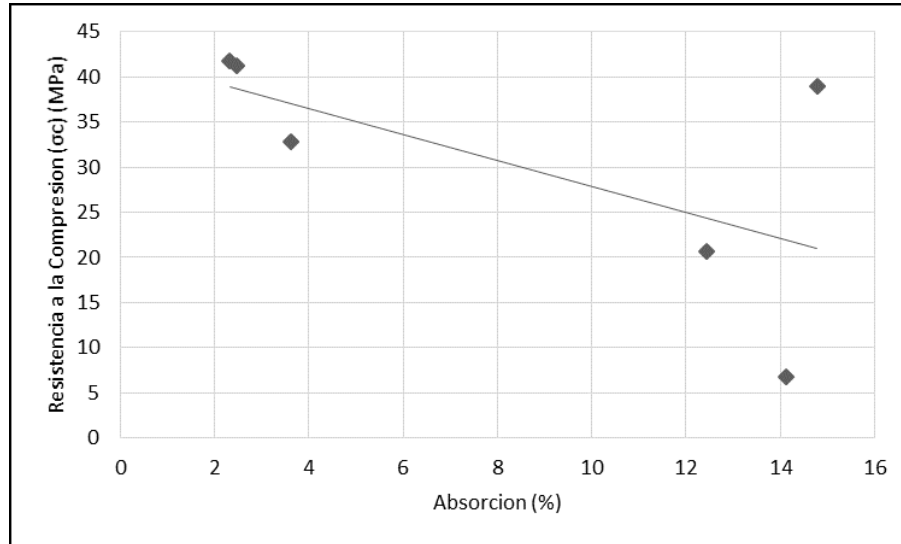


Gráfico 4.5. Resistencia a la compresión (σ_c) vs absorción (%)

En la gráfica 4.5 se observa que a pesar de la dispersión se ve claramente una tendencia que a mayor absorción disminuye la resistencia a la compresión, estos valores representan cuánta agua puede introducirse en una roca por lo que puede aumentar la presión de poros y eso puede hacer que la resistencia y el esfuerzo sea menor.

Para estudiar la mineralogía se utilizó una muestra de cada perforación y se analizaron por DRX, arrojando un total de 3 componentes mineralógico: Caolinita Ilita y Cuarzo. (Ver Tabla 4.3.1).

4.5.1 Ensayos de Corte Directo en Discontinuidad

Este ensayo consistió en colocar la muestra a ensayar en una caja de corte de forma cilíndrica (metálica), la cual, está cortada horizontalmente en dos partes iguales; donde se aplicaron dos fuerzas: una fuerza normal (σ) sobre el espécimen desde la parte superior y otra fuerza horizontal de corte (τ) aplicada desplazando una mitad con respecto a otra. Con este ensayo se obtuvieron los parámetros de resistencia al corte de los núcleos de roca, como ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (c).

Los valores de la cohesión y ángulo de fricción se presentan en la tabla 4.5.1., nótese la disminución de los valores de ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (c) en función de la mineralogía

presente, donde se le observan en la illita (mica), Caolinita (arcilla) y el grado de meteorización que en su mayoría son decolorado, dejando claro que estas características influyen en los resultados.

Tabla 4.5.1. Resultados del Ensayo Corte Directo

Perforación	Ensayo de Corte Directo				Litología	
	# Muestra	Profundidad (m)	Cohesión (MPa)	Angulo de Fricción	Relación Litotipo	Mineralogía
P-1	1400	43,0 – 44,0	1,11	3,20°	95% lutita/ 5% limolita	Qz, Caolinita, Illita
	1702	26,0-27,0	0,26	30,34°	85% lutita/15% limolita	
	1703	32,0-33,0	0,89	31,51°	100% lutita	
P-3	1361	51,0 – 52,0	0,32	21,54°	85% lutita/15% limolita	Qz, Caolinita, Illita
	1362	52,0 – 53,0	0,32	27,89°	85% lutita/15% limolita	
	1363	53,0 – 54,0	0,40	17,84°	85% lutita/15% limolita	
P-4	1365	48,2 – 50,2	0,31	35,59	60% lutita /40% limolita	Qz, Caolinita, Illita
	1700	47,2 – 48,2	0,32	25,94°	60% lutita /40% limolita	
	1701	53,2 – 54,2	0,44	27,47°	95% lutita /5% limolita	
P-5	1369	62,0 – 63,0	0,48	47,03°	85% arenisca/15% lutita	Qz, Caolinita
	1697	57,8 – 59,0	0,34	33,19°	85% arenisca/15% lutita	
	1699	60,0 – 61,0	0,45	43,01°	85% arenisca/15% lutita	
P-6	1379-A	52,4 – 53,4	0,37	22,81°	85% lutita /15% limolita	Qz, Caolinita, Illita
	1397-B	52,4 – 53,4	0,43	13,39°	85% lutita /15% limolita	
	1403	54,0 – 55,0	0,36	9,55°	85% lutita /15% limolita	
P-7	1404	57,0 – 58,0	0,35	27,57°	75% lutita /25% limolita	Qz, Caolinita
	1405	58,0 – 59,0	0,36	24,92°	75% lutita /25% limolita	
	1698	60,0 – 61,0	0,58	24,04°	75% lutita /25% limolita	

De los valores derivados de los ensayos de corte directo, se procedió a realizar el análisis con el programa *Rocdata.V4.014*; utilizando los criterios de Mohr-Coulomb y Barton-Bandis, y se compararon con los resultados de laboratorio, de manera que ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (c), fueron muy parecidos. Podemos observar en los resultados que el ángulo de fricción es alto en las muestras que contiene un 85% de areniscas. Esto datos fueron plasmados en el perfil geomecánico (Ver Anexo 7.8).

4.5.2 Ensayos de Compresión Uniaxial

El ensayo de compresión uniaxial en roca se realiza sometiendo una muestra cilíndrica, con altura igual a dos veces su diámetro ($H=2D$), a un incremento de carga vertical continuo, hasta que

la muestra falle; registrándose una curva de esfuerzo-deformación. De esta forma se obtuvieron sus constantes elásticas como son el Módulo de Young (E) y el Coeficiente de Poisson.

El Módulo de Elasticidad o Young (E), puede estimarse trazando una línea recta sobre la curva esfuerzo-deformación de los ensayos de Compresión Uniaxial, procediendo así a calcular su pendiente.

Tabla 4.5.2. Resultados del Ensayo Compresión Uniaxial

Ensayo Compresión Uniaxial						
Perforación	# Muestra	Profundidad (m)	Esfuerzo Axial Pico (MPa)	Deformación Axial Pico (%)	Módulo de Elasticidad Tangente (50%) MPa	Módulo de Elasticidad Secante (50%) MPa
P-1	1346	42,0 – 43,0	15	1,18	4841,63	1750,28
	1349	46,0 – 47,0	20	1,37	2578,88	2106,44
P-3	1354	36,0 – 37,0	21,3	0,58	1289,00	1512,06
	1356	45,0 – 46,0	35,9	1,52	2333,84	2393,722
	1359	49,0 – 50,0	32,2	1,47	2013,77	1976,62
P-4	1366	51,2 – 52,2	38,3	1,54	2473,07	2496,24
P-5	1368	61,0 – 62,0	41,2	0,83	4958,83	4527,22
P-6	1374	40,4 – 41,4	5,5	0,83	19372,36	3442,03
	1376	42,4 – 43,4	4,2	0,53	19586,27	3379,78
	1378	44,4 – 45,4	10,3	1,40	10550,56	1574,02
	1380	58,4 – 59,4	34,6	1,53	2121,91	1838,36
	1382	60,4 – 61,4	40,6	1,37	2770,75	2670,68
P-7	1386	56,0 – 57,0	7,4	0,63	17859,99	2714,75
	1388	58,0 – 59,0	7,1	0,70	17279,00	2401,72
	1389	58,0 – 59,0	9,9	0,79	10310,17	1678,18
	1390	59,0 – 60,0	6,2	0,66	19305,50	3776,91
	1391	60,0 – 61,0	7,7	0,93	10752,14	1342,32

Es importante destacar que el módulo de elasticidad o Young (E) para las muestras están en un rango de 1289,01 MPa - 19586.27 MPa (Ver Tabla 4.5.2), cuando el módulo de elasticidad es alto su deformación axial es baja. Estos resultados obtenidos se debe a que se están ensayando lutitas con diferentes porosidades y diferente grado de meteorización por lo cual hace que estos valores sean altos.

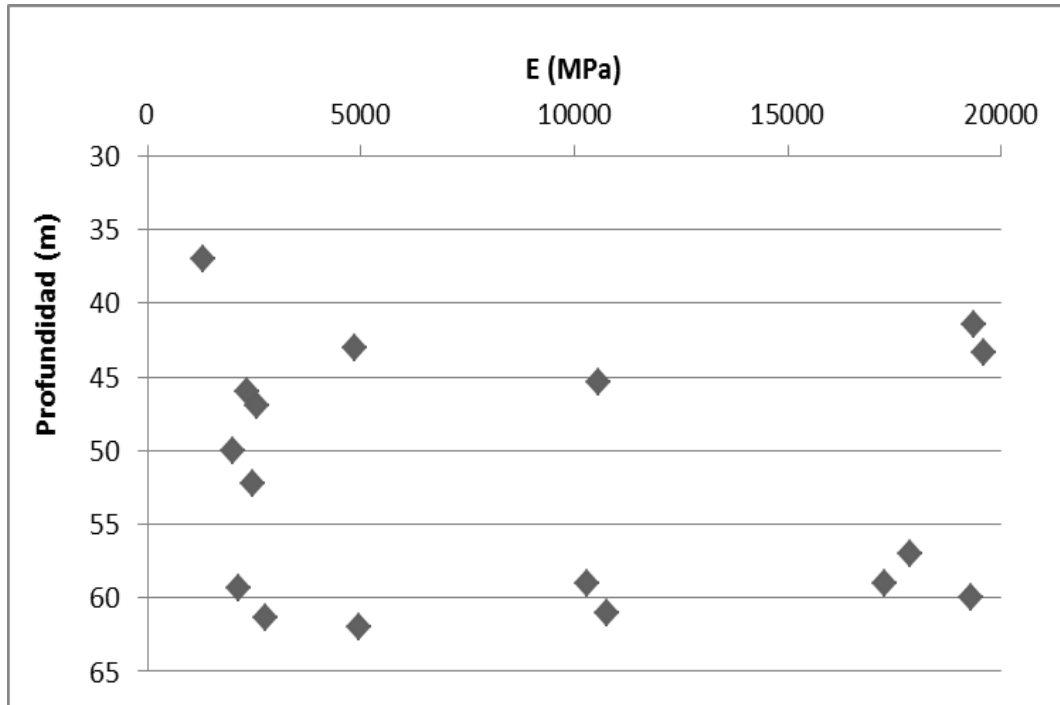


Gráfico 4.5.2.1. Módulo de Young (E) vs Profundidad (m) de las muestras de lutita, en donde se observa las variaciones en los valores de elasticidad

En el gráfico 4.5.2.1 se representan los valores de Módulo de Young (E) vs Profundidad (m), se observa que los valores están entre 0 – 5000 MPa, ese rango pertenece a lutitas. En la tendencia de 20000 MPa, son rocas que contienen mayor cantidad de cuarzo, por lo que las muestras son más resistentes.

Las muestras poseen una deformación baja por ende un Módulo Young alto, esto nos indica que la roca se comporta de manera frágil.

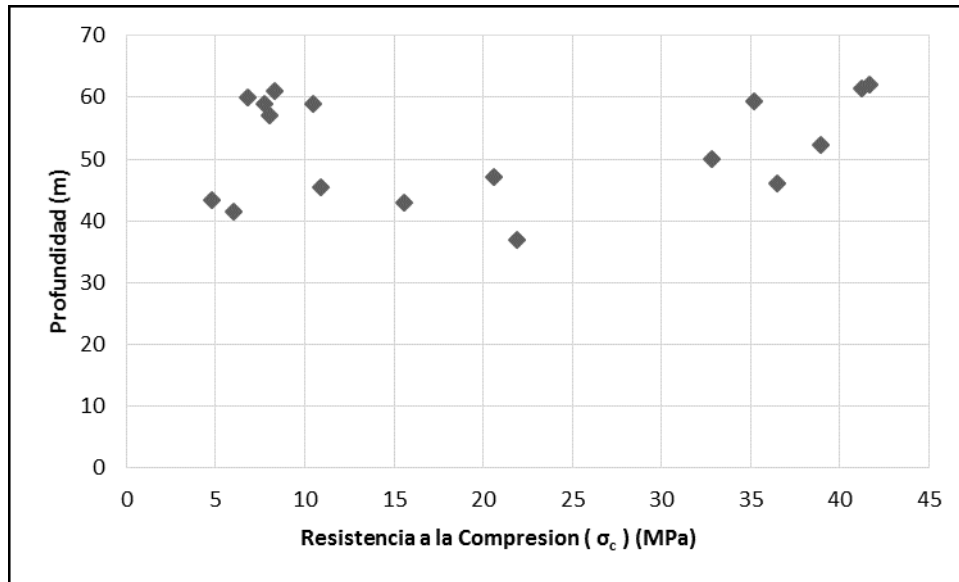


Grafico 4.5.2.2 Resistencia a la compresión (σ_c) vs profundidad (m), donde se observa la diferentes valores de la resistencia

En la gráfica 4.5.2.2 de resistencia a la compresión (σ_c) vs profundidad (m), se puede observar que no hay una tendencia clara entre la resistencia a la compresión con respecto a la profundidad, aunque si se puede ver una dispersión aparente que va en un leve incremento donde a mayor profundidad la resistencia aumenta ligeramente

Según ISRM (1981) la roca ensayada se clasifica entre baja (R3) y moderada (R4) y según la Geological Society of London (1970) es una roca resistente (Ver Anexo 7.4).

4.5.3 Ensayos de Tracción Indirecta (Brasilero)

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura; la principal ventaja del ensayo es la sencillez de su metodología.

Tabla 4.5.3 Resultados del Ensayo Tracción Indirecta

Ensayo Brasilero				
Perforación	# Muestra	Profundidad (m)	Resistencia a la Tracción (Mpa)	Resistencia a la Compresión (Mpa)
P-1	1346	42,0 – 43,0	-3,33	9,99
	1349	46,0 – 47,0	-1,56	4,67
P-3	1355	42,0 – 43,0	-3,89	11,68
	1356	45,0 – 46,0	-3,91	11,74
	1357	47,0 – 48,0	-2,03	6,08
P-4	1365	49,2 – 50,2	-3,06	9,17
	1700	47,2 – 48,2	-2,22	6,65
P-5	1371	56,6 – 57,8	-3,08	9,25
P-6	1380	58,4 – 59,4	-6,41	19,23
P-7	1387	57,0 – 58,0	-1,27	3,81
	1391	60,0 – 61,0	-0,29	0,87

En la tabla 4.5.3 se presentan los valores de resistencia a la tracción las cuales están en -0,29 MPa a -6,41 MPa y la compresión está en el rango de 0,87MPa a 19,23 MPa.

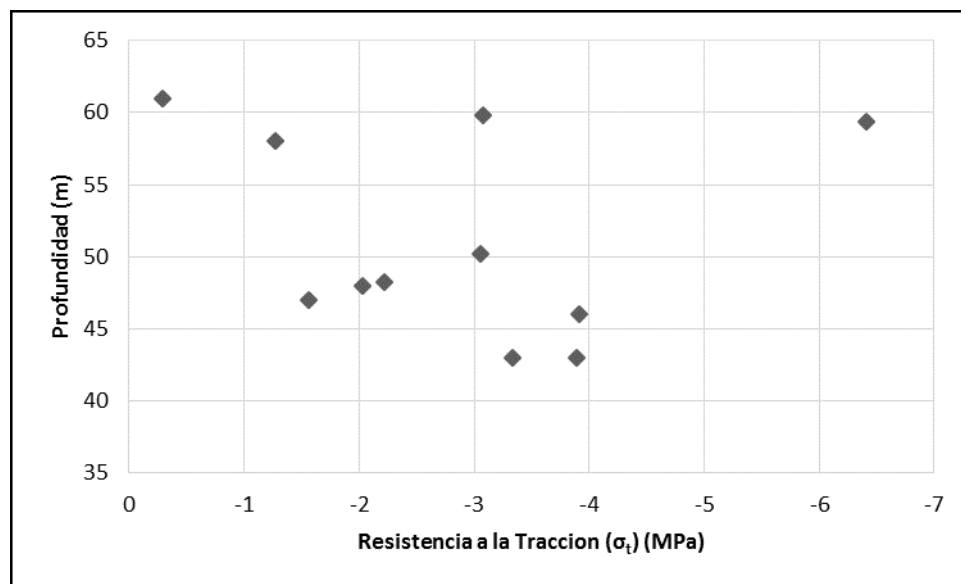


Gráfico 4.5.2.3 Resistencia a la tracción (σ_t) vs profundidad (m), donde se observa de los valores de la resistencia a la tracción

El grafico 4.5.2.3 se refleja mucha dispersión, nos muestra que no existe relación entre resistencia a la tracción con la profundidad para esta muestra que fueron ensayadas.

La roca se clasifica en este ensayo según ISRM (1981) como una roca baja (R3) y según la Geological Society of London (1970) la clasifica como roca moderadamente débil. Estos valores son producto del tipo de roca ensayada, la cual posee numerosos planos de debilidad estructural, la dirección y ubicación de estos a la hora de aplicar el ensayo.

4.5.4 Ensayo Triaxial

Este ensayo permite simular las condiciones de las rocas in-situ sometidos a esfuerzos confinantes y permite determinar la envolvente de resistencia del material rocoso ensayado.

Tabla 4.5.4 Resultados del Ensayo de Compresión Triaxial

Ensayo Triaxial						
Perforación	# Muestra	Profundidad (m)	(σ_1) (Mpa)	(σ_3) (Mpa)	Esfuerzo Desviador Pico (Mpa)	Deformación Axial Pico (%)
P-1	1345	39,00 – 40,00	35,3	10,9	24,30	2
	1348	44,00 – 45,00	63	23,9	39,10	2,5
P-2	1351	20,50 – 21,50	41,9	14	28,10	2,48
P-3	1355	42,00 – 43,00	107,8	22,1	85,60	2,56
	1357	47,00 – 48,00	78,7	24	54,80	2,30
	1360	50,00 – 51,00	121,2	26,3	94,90	2,73
P-4	1367	57,20 – 58,20	42,1	32,2	8,20	3,50
P-5	1370	63,00 – 64,00	78,7	32,3	46,50	3,50
	1371	56,60 – 59,80	47,1	29,8	17,40	0,81
P-6	1375	41,40 – 42,40	42,7	22	20,90	3,50
	1375-1	41,40 – 42,40	47,1	23,3	24,00	7,25
	1377	43,40 – 44,40	59,2	24,3	35,00	7,00
	1381	59,40 – 60,40	126,7	30,0	96,70	2,47
	1383	61,40 – 62,40	130,6	31,9	98,80	2,14
P-7	1387	57,00 – 58,00	70,1	30,0	40,30	7,00

En la tabla 4.5.4, el valor del esfuerzo desviador está en un rango de 8,20 MPa. - 98,80 MPa, teniendo una deformación axial en un rango de 2% a 7,25%. Los valores inferiores en este rango

de esfuerzo corresponden a muestras que tienen mayor grado de meteorización y menor contenido de cuarzo, mientras que los valores más altos son rocas frescas con mayor contenido de cuarzo.

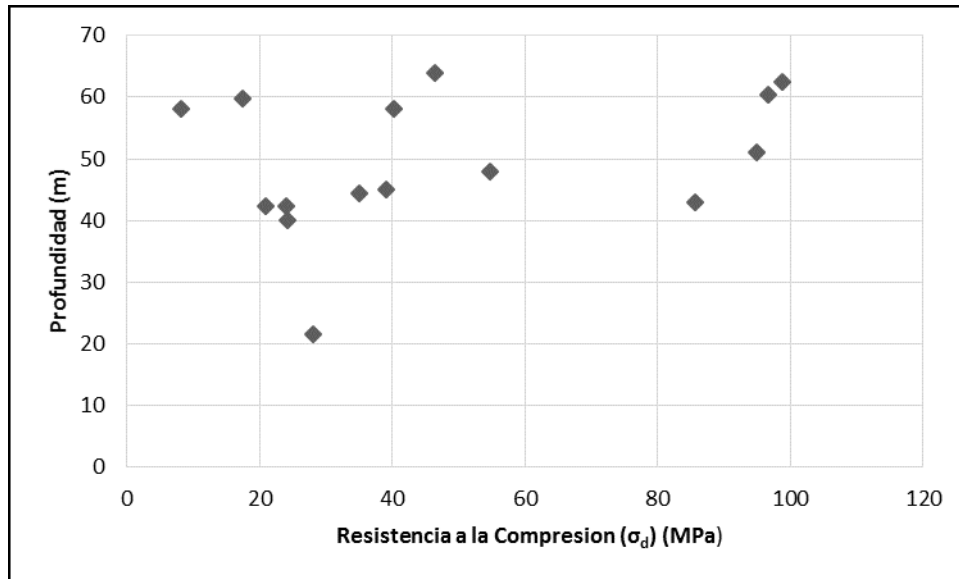


Grafico 4.5.2.4 Resistencia a la compresión (σ_d) vs profundidad (m), se observa la tendencia de los valores de la resistencia.

En la gráfica 4.5.2.4, se puede ver que hay una leve tendencia, entre la profundidad de 40 m a 60 m, notándose las de mayor resistencia están en un rango de 83 MPa a 100 MPa que puede ser por el contenido de cuarzo presente en ellas.

La roca se clasifica con este ensayo y según ISRM (1981) la roca esta entre baja (R3) y media (R5) y según la Geological Society of London (1970) es una roca resistente.

Los resultados obtenidos mediante los diferentes ensayos se clasificaron según diferentes criterios como ISRM (1981) que la clasifica como una roca baja (R3) a media (R5), la Geological Society of London (1970) la clasifica como una roca moderadamente débil a resistente. Con ello podemos decir que estamos en presencia de una roca con moderada resistencia.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. En la zona de estudio la litología (lutita, limolita y arenisca), color (gris claro, gris oscuro, marrón, marrón rojizo), textura (masiva, laminadas, onduladas) y mineralogía (caolinita, ilita y cuarzo), etc. son constantes a todo lo largo del tramo.
2. En la descripción litológica se reportan lutitas y limolitas de grano fino a muy fino estas rocas están asociadas a un ambiente de baja energía.
3. La resistencia de las rocas obedece principalmente a la litología, como es el caso de la lutita que da como resultado una resistencia baja.
4. Las muestras que presentan mayor contenido de cuarzo son aquellas que presentan mayor módulo de elasticidad y mayor deformación es decir que son más resistentes debido a su litología.
5. La zona de estudio presenta evidencia de fallas, fallas que son inferidas estas se observan en el perfil realizado, por lo tanto se generan discontinuidades que afectan directamente la zona.
6. Los esfuerzos en la zona de estudio se presentan en intervalos que van de -8,36 MPa a -2.45 MPa para la tracción y 41,7 MPa - 8,36 MPa para compresión, lo que indica que las rocas estudiadas muestran mayor resistencia a la compresión que la tracción.
7. Las lutitas, limolita y areniscas presentes en el sitio se clasificaron según:
 - Flores Calcaño como roca meteorizada blanda fracturada Rmbf.
 - La Geological Society of London (1970) como Roca resistente.
 - Clasificación ISRM (1981) Roca baja R3 a media R5.

Podemos decir que las rocas presentes en dicho estudio tienen una moderada resistencia.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Se sugiere la realización de un estudio posterior con el fin de ampliar la información obtenida y así aumentar el alcance de este trabajo a otras unidades litológica de interés para la zona de estudio a fin de tener una concepción global del comportamiento Geomecánicos del mismo en toda su extensión.
2. Realizar ensayo triaxial drenado para obtener la permeabilidad secundaria y así tener el comportamiento de la presión de agua en los pilotes del puente.
3. Tomar los RQD ya que son importantes para saber y definir bien el grado de recuperación de los testigos de las perforaciones.
4. Se recomienda realizar un estudio de sísmicos del sitio debido a la complejidad estructural de la zona.
5. Se recomienda realizar los ensayos de fluorescencia a las rocas con la finalidad de determinar los porcentajes de los minerales presentes en la formación.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Audemard, F. (1991). *Tectonics of western Venezuela Ph.D. tesis, Inédito*. Rice University.
- Audemard, F. (1997). *Aportes de funvisis al al desarrollo de la geología de fallas activas y de la paleosismología para los estudios de amenaza y riesgo sismico*. Caracas.
- Audemard, F. (2002). *Ruptura de los grandes sismos historicos Venezolanos de los siglos XIX y XX revelados por la sismicidad intrumental comtemporánea*. Caracas.
- Azurte M., D. (2004). *Caracterización geológica y geomecánica de los macizos rocosos de la sección Guatire-Caucagua de la autopista Rómulo Betancourt, Estado Miranda*. Caracas.
- Baritto, I. (2003). *Caracterización química de muestras de sedimentos superficiales y de nucleos de la fachada atlántica Venezuela trabajo especial de grado, Inédito*. caracas: UCV.
- Bernal O., C. J. (2011). *Estudio geológico geotécnico y petrográfico para caracterizar muestras de rocas provenientes de las perforaciones realizadas a lo largo de la vía férrea, entre la ciudad de Tejerías estado Aragua y Cúa, estado Miranda*. Caracas.
- Bertorelli, G. (1997). *Caracterización geomecanica de las diferentes facies existentes y determinación de las direcciones de los esfuerzos principales, en el yacimiento Eoceno C/VGL-3676 area 2SUR, campo Ceuta, Cuenca del Lago de Maracaibo, Estado Zulia*. Caracas.
- Castillejo, M. (1993a). *Análisis Comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control. Parte 1.* . Caracas: Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela.
- Castillejo, M. (1993b). *Análisis Comporativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control. Parte 2*. Caracas: Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela.
- Castillejo, M. (1993c). *Análisis Comporativo de los metodos de estabilidad de taludes y su control. Parte 3*. Caracas: Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela.
- CIEN. (1998). *Comite Interfilial de Estratigrafia y Nomenclatura/Lexico Estratigrafico*. Caracas.

- Cornelius S. Hurlbut, J. C. (1982). *Manual de Mineralogía de Dana*. España: Reverté S.A. Tercera edición.
- Correa, A. (2013). *Serie completa de los Métodos Recomendados por ISRM para la Caracterización de Rocas en Laboratorio* (Sociedad Colombiana de Geotecnia - SCG ed.). Bogotá, Colombia .
- Diaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* (1° edic. ed.). Bucaramanga, Colombia: Ingenieria de Suelo Limitada.
- Flores Calcaño, C. (1962). *Representaciones gráficas de los términos geotécnicos mas usuales*. Caracas: Ministerio de Obras Publicas (M.O.P.)- Venezuela: División de Geología.
- Gonzalez de Juana, C. I. (1980). *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas: Foninves, 2 tomos, 1021 p.
- González de Vallejo, L. &. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson.
- Graf, C. (1969). *Estratigrafía cuaternaria del Noreoeste de Venezuela*. Caracas: Asoc. Venez. Geol. Min y Petr. Bol. Inf. 12 (11).
- Grande, S. (1996). *Cristalografía de Rayos-X, guía de estudio*. Caracas: Facultad de Ingeniería.Escuela de Geología Minas y Geofísica UCV.
- Hadberg, H. &. (1937). Sinopsis de las formaciones geológicas de la parte occidental de la cuenca de Maracaibo, . (págs. 1(2-4)77-120). Venezuela: Boletín de Geología y Minería.
- Hoek, E. y. (1980). *Empirical Strength criterion for Rock Masses*. Journal of the Geotechnical Engineering. Volumen 106.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). *Underground excavations in rock*. London, UK: Institution of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). Criterio de Hoek-Brown. (págs. 267-273). Toronto: Proc. Conferencia AMREN-TAC.

- Lugo, J. (1991). *Cretaceous to neogene tectonic control on sedimentation: Maracaibo basin, Venezuela*. Texas University.
- Manger, G. (1938). Notas adicionales sobre la estratigrafía de las formaciones del Terciario Superior de la región costera del Distrito Bolívar, Estado Zulia. (págs. 2(2-4), 56-83).)M. d. Hidrocarburos, Ed.) Boletín de Geología y Minería,.
- Mendez, J. (2006). *Petrología*. Caracas: Facultad de Ciencias, UCV.
- Ministerio de Energía y Minas. (1997). Lexico estratigrafico de Venezuela. *Boletín de Geología*(Publicacion Especial No 2).
- Oliveros A., C. E. (2014). *Caracterización geomecánica y análisis de los estados de esfuerzos, en el sector Helipuerto Avila-estación PDV-mercado (cordillera de la costa) para la excavaciones de tuneles del Metro de Caracas-Guaremas, estado Miranda*. Caracas.
- Ostos, M. (1990). Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos. . (págs. 1-294). Caracas: Geos.
- Parnaud, F. . (1995). Stratigraphic Synthesis of western Venezuela. In: A. J. Tankard, R. Suárez & H. J. Welsink. Petroleum basin of South América. . *AAPG Memoir* 62, , 681-698 .
- Poppe, L. P. (2001). *A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction*. U.S., Geological Survey Open-File report 01-04/p.
- Romero E., J. L. (2011). *Estudio geológico-geotécnico en base a los núcleos de limolita obtenidos en las perforaciones del III Puente Sobre el Río Orinoco,*. Caracas.
- Salcedo, D. (1969). *Hacia una definición geotécnica de suelo y roca*. Caracas: IV Congreso Geológico Venezolano.
- Young, G. (1960). Stratigraphy of the Miocene La Puerta Formation in the Ceuta, area, Lake Maracaibo. (págs. 304-315). *ol, Inf. Asoc Venez. Geol., Min y Petrol*, 8 (3).

