



**Universidad Central de Venezuela**

**Facultad de Ingeniería**

**Comisión de Estudios de Postgrado**

**Departamento de Geología**

**ESTUDIO GEOMECÁNICO DE ROCAS  
DIMENSIONABLES DEL YACIMIENTO DE  
CANTERAS TACARIGUA C.A.  
PUERTO CABELLO, ESTADO CARABOBO**

**Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo**

**Trabajo presentado ante la  
Ilustre Universidad Central de Venezuela  
por el Ing. Cristian Jesús Sánchez Pérez  
para optar al Título de  
MSc. en Ciencias Geológicas**

**Caracas, octubre 2019**



**Universidad Central de Venezuela**

**Facultad de Ingeniería**

**Comisión de Estudios de Postgrado**

**Departamento de Geología**

**ESTUDIO GEOMECÁNICO DE ROCAS  
DIMENSIONABLES DEL YACIMIENTO DE  
CANTERAS TACARIGUA C.A.  
PUERTO CABELLO, ESTADO CARABOBO**

**Trabajo presentado ante la  
Ilustre Universidad Central de Venezuela  
por el Ing. Cristian Jesús Sánchez Pérez  
para optar al Título de  
MSc. en Ciencias Geológicas**

**Caracas, octubre 2019**



## VEREDICTO

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el **TRABAJO DE GRADO** presentado por: **CRISTIAN JESÚS SÁNCHEZ PÉREZ**, Titular de la Cédula de identidad N° 15.862.444, bajo el título "**ESTUDIO GEOMECÁNICO DE ROCAS DIMENSIONABLES DEL YACIMIENTO DE CANTERAS TACARIGUA C.A., PUERTO CABELLO, ESTADO CARABOBO**", a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de **MAGISTER SCIENTIARUM EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**, dejan constancia de lo siguiente:

1. Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día **veinticuatro de octubre de dos mil diez y nueve a las 11:30 am**, para que lo defendiera en forma pública, lo que hizo en el **Aula 217 de la Escuela de Ingeniería de Petróleo**, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.
2. Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió **APROBARLO UNANIMIDAD**, por considerarlo suficiente, sin hacerse solidario con las ideas expuestas por el Candidato, conforme a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado. Para dar este veredicto, el jurado estimó que el trabajo examinado Constituye un aporte original en el área de Rocas Ornamentales.
3. El jurado por unanimidad decidió otorgar la calificación de **EXCELENTE** al presente trabajo por considerarlo de excepcional calidad, presentando las normas y procedimientos que aseguren la calidad y desarrollo de esta industria en el país.

En fe de lo cual se levanta la presente **ACTA**, a los **veinticuatro de octubre de dos mil diez y nueve**, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como Coordinador del Jurado el Prof. Miguel Castillejo y como miembros principales la Profa. Eglée Zapata Oviedo y el Prof. Ronald Torres.

El presente trabajo fue realizado bajo la dirección del Profesor Miguel Antonio Castillejo Cans.

Profa. Eglée Zapata Oviedo  
C.I. N° 4.354.125  
Universidad Central de Venezuela

Prof. Ronald Torres  
C.I. N° 9.200.221  
Universidad Central de Venezuela

Prof. Miguel A. Castillejo Cans  
C.I. N° 4.883.097  
Universidad Central de Venezuela  
Tutor



**Las siguientes citas motivan el propósito de este trabajo:**

“La obtención de datos de campo confiables, en la ingeniería de diseño de estructuras en roca, es una de las tareas más difíciles que enfrentan los Ingenieros Geólogos y los Ingenieros de Diseño.

Es de extrema importancia, que la calidad de los datos, esté en concordancia con la sofisticación de los métodos de diseño”

**Z.T. Bieniawski, 1984**

“Veo que se ha dedicado poca investigación y esfuerzo en desarrollar la nueva generación de datos de entrada más refinados, que necesitamos para nuestros mejores modelos, más rápidos y mejores, así como también para nuestras técnicas de diseño mejoradas”

**Evert Hoek, 1994**

## Agradecimientos

ena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes mi mamá Lucila Pérez y mi padre Pedro Sánchez quién, aunque no está presente físicamente, estoy seguro que donde esté siempre me apoya, mi hermanos Cesar y Crisany, quienes siempre me apoyaron durante mi formación.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que labora en la Universidad Central de Venezuela, por co , abrirme las puertas y permitirme desarrollarme en esta nueva etapa académica, dentro tan majestuosa casa de estudio.

De igual manera mis agradecimientos a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, a mis profesores, y en especial a mi Tutor Académico Profesor Miguel Castillejo, quien con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron, que pueda crecer día a día como profesional, gracias a usted por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad, al Profesor Diego Marchan por el apoyo prestado en la elaboración de este trabajo de grado.

A mis amigos Henry Font, Adrián Alarcón por su colaboración en la investigación y conocimiento, Ángel Mercado por su acompañamiento, Pedro Soler por su ayuda incondicional, Kairubi Gavidia y Rosalin Oliveros, por siempre estar apoyándome en esas horas de clase.

Finalmente, quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento y no menos importante a los Ingenieros Leonidas Burgazzi y Flavio Stulin, principales colaboradores durante todo este proceso, quién con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitieron el desarrollo de esta Maestría dentro de empresa Materiales Piedra Linda, quienes siempre apoyaron cualquier iniciativa de investigación propuesta por mi persona.

## Abstract

The great demand for ornamental rocks, both nationally and internationally, has attracted national and foreign investment, for the evaluation and subsequent installation of quarries and finished producer plants such as ceilings for kitchens, gravestones, tiles, sculptures, etc. The exploitation of these important resources of non-metallic materials will favor national and foreign investment.

The present work will deal with ornamental rocks and the knowledge of their geological and geomechanical properties, which will serve to differentiate them from each other and to give each one the most appropriate utilization to its characteristics. Most of these properties, will be of great importance to assess the mechanical strength and stability of part or all of the works in which they will be used, others will have an impact on the safety of use of buildings, or, in case of fire in the hygiene and health of the users, in the protection against noise or in saving energy and thermal insulation of buildings.

The company Canteras Tacarigua C.A., located in the town of Gañango, Sector Mar Azul, Carabobo state, is currently producing chopped stone as a construction aggregate, the same company wants to change the use of its raw material looking for the final product to obtain a greater economic return, likewise It has a waste dump where the sterile material is deposited.

The geomechanical characterization parameters of the deposit will be determined in order to be able to establish the quality of the dimensionable stone and based on this, the necessary equipment for its elaboration and the technical sheet of the different products to market.

*Keywords: ornamental rocks, dimensional stone, geomechanics, rock mechanics, dolomite, green shales, Carabobo.*

**Sánchez P, Cristian J.**

**CARACTERIZAR GEOMECÁNICAMENTE ROCAS DIMENSIONABLES DEL  
YACIMIENTO DE CANTERAS TACARIGUA, C.A., PUERTO CABELLO,  
ESTADO CARABOBO**

**Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo**

**Tesis Maestría. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y  
Geofísica. Año 2019, 102 p.**

**Palabras Clave:** Rocas Ornamentales, Roca Dimensionable, Geomecánica, Mecánica de Rocas, Dolomita, Esquistos Verdes, Canteras Tacarigua, Carabobo.

**Resumen.** La gran demanda de rocas ornamentales, tanto a nivel nacional, como internacional, ha atraído a la inversión nacional como foránea, para la evaluación y posterior instalación de canteras y plantas de productor terminados como son: topes para cocinas, lápidas, baldosas, esculturas etc. La explotación de estos importantes recursos de materiales no metálicos, favorecerá la inversión nacional y extranjera.

El presente trabajo versará sobre las rocas ornamentales y el conocimiento de sus propiedades geológicas y geomecánicas, que servirán para diferenciarlas unas de otras y para dar a cada una la utilización más adecuada a sus características. La mayor parte de esas propiedades será de gran importancia para evaluar la resistencia mecánica y estabilidad de parte o de la totalidad de las obras en que vayan a ser empleadas, otras tendrán incidencia en la seguridad de utilización de las construcciones o, en caso de incendio en la higiene y salud de los usuarios, en la protección contra el ruido o en el ahorro de energía y aislamiento térmico de los edificios.

La empresa Canteras Tacarigua C.A., ubicada en la localidad de Gañango, Sector Mar Azul, estado Carabobo, se encuentra actualmente produciendo piedra picada como agregado de construcción, la misma empresa desea cambiar el uso de su materia prima buscando que el producto final permita obtener una mayor rentabilidad económica, así mismo cuenta con una escombrera donde se deposita el material estéril siendo un pasivo ambiental para la empresa. Se determinarán los parámetros de caracterización geomecánica del yacimiento necesarios a fin de poder establecer la calidad de la piedra dimensionable y en función de esto, los equipos necesarios para su elaboración y la ficha técnica de los distintos productos a comercializa.

## Tabla de contenido

ABSTRACT .....	5
RESUMEN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA DE CONTENIDO.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	12
LISTA DE TABLAS .....	14
CAPITULO I .....	1
1.    Introducción.....	1
1.1. Definición del problema .....	2
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Justificación y Alcance .....	4
1.4. Desarrollo de la Investigación.....	4
1.4.1. Revisión de la Literatura.....	5
1.4.2. Recolección de muestras y preparación.....	5
1.4.3. Trabajo Experimental.....	6
1.4.4. Verificación de los Ensayos.....	6
1.4.5. Compilación de resultados por Zona en Estudio .....	6
1.4.6. Investigación documental .....	7
1.4.7. Investigación de campo.....	7
1.5. Limitaciones del presente trabajo.....	8
1.6. Estructura de la Investigación .....	9
1.7. Antecedentes de la Investigación .....	9
CAPITULO II .....	11
2.    Descripción General del Ámbito Físico- Natural de la Zona de Estudio .....	11



---

<b>2.1. Ubicación y Acceso de la Zona de Estudio .....</b>	<b>11</b>
2.1.1. <i>Ubicación y Extensión.....</i>	<i>11</i>
2.1.2. <i>Acceso.....</i>	<i>13</i>
<b>2.2. Descripción General del Ámbito Físico- Natural de la Zona de Estudio .....</b>	<b>13</b>
2.2.1. <i>Relieve .....</i>	<i>13</i>
2.2.2. <i>Geología y suelos.....</i>	<i>14</i>
2.2.3. <i>Clima.....</i>	<i>14</i>
2.2.4. <i>Hidrografía .....</i>	<i>14</i>
2.2.5. <i>Vegetación.....</i>	<i>14</i>
2.2.6. <i>Sismicidad.....</i>	<i>15</i>
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>16</b>
<b>3. Geología de la Zona de Estudio .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Geología Regional .....</b>	<b>16</b>
3.1.1. <i>Formación Antímamo.....</i>	<i>17</i>
3.1.2. <i>Formación Las Mercedes MESOZOICO (Jurásico - Cretácico) .....</i>	<i>19</i>
3.1.3. <i>Formación Las Brisas MESOZOICO (Jurásico Tardío) .....</i>	<i>24</i>
<b>3.2. Geología Local .....</b>	<b>28</b>
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>31</b>
<b>4. Bases Teóricas.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1. Introducción.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2. Mármol .....</b>	<b>31</b>
4.2.1. <i>Propiedades específicas de los yacimientos de mármol .....</i>	<i>31</i>
4.2.2. <i>Características de los yacimientos de mármol.....</i>	<i>32</i>
4.2.3. <i>Oxidaciones del Mármol.....</i>	<i>33</i>
<b>4.3. Metamorfismo y rocas metamórficas .....</b>	<b>33</b>
4.3.1. <i>Físico-química del metamorfismo .....</i>	<i>34</i>
4.3.2. <i>Efectos del metamorfismo sobre las rocas.....</i>	<i>38</i>

---

4.3.3.	<i>Tipos de metamorfismo</i> .....	39
4.4.	<b>Rocas Metamórficas</b> .....	40
4.5.	<b>Vistosidad o calidad ornamental</b> .....	42
4.6.	<b>Homogeneidad del yacimiento</b> .....	42
4.7.	<b>Medidas de foliación y tectónicas</b> .....	42
4.8.	<b>Presencia de oxidaciones</b> .....	42
4.9.	<b>Estudio del fracturamiento</b> .....	42
4.9.1.	<i>Calidad de la roca</i> .....	43
4.9.2.	<i>Alterabilidad de la roca</i> .....	43
4.9.3.	<i>Calidad mecánica de las rocas</i> .....	44
4.10.	<b>Fluorescencia de Rayos X</b> .....	44
4.11.	<b>Resistencia a la Compresión Simple</b> .....	44
4.12.	<b>Resistencia a Flexión</b> .....	45
4.13.	<b>Resistencia al Choque</b> .....	45
4.14.	<b>Resistencia al Desgaste</b> .....	45
4.15.	<b>Resistencia a los Cambios Térmicos</b> .....	45
4.16.	<b>Resistencia a las Heladas</b> .....	46
4.17.	<b>Abrasividad</b> .....	46
<b>CAPITULO V</b> .....		<b>47</b>
5.	<b>Procedimiento Experimental</b> .....	<b>47</b>
5.1.	<b>Muestreo</b> .....	<b>47</b>
5.2.	<b>Procedimientos de determinación de la calidad de las rocas a través de los estudios geomecánicos</b> .....	<b>50</b>
5.2.1.	<i>Peso específico aparente y coeficiente de absorción de agua</i> .....	50
5.2.2.	<i>Resistencia a la Compresión Simple</i> .....	52
5.2.3.	<i>Resistencia a la Flexión</i> .....	53
5.2.4.	<i>Resistencia a las Heladas</i> .....	54

---

5.2.5.	<i>Resistencia a los Cambios Térmicos</i> .....	55
5.2.6.	<i>Resistencia al Choque</i> .....	55
5.2.7.	<i>Resistencia Abrasividad Cerchar</i> .....	56
5.2.8.	<i>Análisis Petrográfico</i> .....	57
<b>CAPITULO VI</b> .....		<b>59</b>
<b>6.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>59</b>
<b>6.1.</b>	<b>Caracterización Geológica</b> .....	<b>59</b>
<b>6.2.</b>	<b>Caracterización Geomecánica del Yacimiento</b> .....	<b>63</b>
6.2.1.	<i>Análisis Petrográfico</i> .....	63
6.2.2.	<i>Fluorescencia de Rayos X</i> .....	63
6.2.3.	<i>Peso Unitarios y Absorción</i> .....	65
6.2.4.	<i>Ensayos de Compresión Simple</i> .....	66
6.2.5.	<i>Ensayos de Flexión</i> .....	69
6.2.6.	<i>Resistencia a las Heladas</i> .....	70
6.2.7.	<i>Resistencia a los Cambios Térmicos</i> .....	70
6.2.8.	<i>Resistencia al Choque</i> .....	71
6.2.9.	<i>Abrasividad (Cerchar)</i> .....	72
6.2.10.	<i>Módulo de Elasticidad</i> .....	73
6.2.11.	<i>Acabado del producto final</i> .....	73
<b>6.3.</b>	<b>Ficha Técnica</b> .....	<b>75</b>
<b>6.4.</b>	<b>Evaluación de los parámetros de Explotación, para la selcción de equipos para el procesamiento acorde con el proceso de extracción de la roca ornamental</b> .....	<b>75</b>
6.3.1.	<i>Resistencia a la compresión simple mediante Martillo Schmidt</i> .....	77
6.3.2.	<i>Grado de fracturación del macizo rocoso. (R.Q.D.)</i> .....	79
6.4.3.	<i>Espaciado de las Discontinuidades</i> .....	87
6.4.4.	<i>Condiciones de las discontinuidades</i> .....	87
6.4.5.	<i>Presencia del Agua</i> .....	89

<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>96</b>
<b>A.1. FICHA TÉCNICA.....</b>	<b>97</b>
<b>A.2. NORMAS EMPLEADAS .....</b>	<b>102</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1.	Diseño de la Investigación .....	5
Figura 4.2.	Facies Metamorfismo .....	36
Figura 4.3.	Facies metamórficas metamorfismo de alta presión y baja temperatura .....	36
Figura 4.4.	Metamorfismo en zona baja presión y alta temperatura .....	37
Figura 4.5.	Efectos del metamorfismo sobre las rocas tipo Deshidratación .....	38
Figura 4.6.	Efectos del metamorfismo sobre las rocas tipo Recristalización .....	39
Figura 4.7.	Efectos del metamorfismo sobre las rocas tipo Reorientación.....	39
Figura 4.8.	Clasificación Metamorfismo de Regional (modificado de Robertson, 1999) .....	40
Figura 4.9.	Clasificación Metamorfismo de Local (modificado de Robertson, 1999).....	40
Figura 4.10.	Rocas Metamórficas Textura granoblástica (Gomez Marcano, 2006) .....	41
Figura 4.11.	Rocas Metamórficas Textura lepidoblástica (Gomez Marcano, 2006).....	41
Figura 4.12.	Rocas Metamórficas Textura nematoblástico (Gomez Marcano, 2006).....	41
Figura 4.13.	Rocas Metamórficas Textura porfidoblástica (Gomez Marcano, 2006).....	42
Figura 5.1.	Carga de Muestras para la Planta de Procesamiento.....	47
Figura 5.2.	Montaje de Bloque en Paleta de Madera.....	48
Figura 5.3.	Montaje de Bloques en el equipo de corte .....	48
Figura 5.4.	Ensayo Resistencia al Choque.....	56
Figura 6.1.	Georeferencia de Gps Trimble 5800.....	59
Figura 6.2.	Columna Litologica de Yacimiento Cantera Tacarigua C.A.....	61
Figura 6.2.	Concentracion promedio de estadística espacial de orientación de los rumbos y buzamientos. ....	62
Mapa Geologico trazas Levantadas del Yacimiento.....		62

Figura 6.3.	Baldosas de mármol pulidas de Canteras Tacarigua, C.A.....	74
Figura 6.4.	Espacato de mármol acabado rustico de Canteras Tacarigua, C.A .....	74
Figura 6.5.	Plano de Ubicación de Terraza 160 .....	81
Figura 6.6.	Estudio de discontinuidades geológicas terraza 160.....	82
Figura 6.7.	Plano de Ubicación de Terraza 200 .....	83
Figura 6.8.	Estudio de discontinuidades geológicas terraza 200.....	83
Figura 6.9.	Plano de Ubicación de Terraza 240 .....	84
Figura 6.10.	Estudio de discontinuidades geológicas terraza 240.....	85
Figura 6.11.	Plano de Ubicación de Terraza 260 .....	86
Figura 6.12.	Estudio de discontinuidades geológicas terraza 260.....	86

## Lista de Tablas

Tabla 2.1.	Coordenada UTM / REGVEN del área de concesión actual de Canteras Tacarigua C.A. ....	12
Tabla 2.2.	Coordenada UTM / REGVEN del área de concesión modificada de Canteras Tacarigua C.A. ....	12
Tabla 4.1.	Clasificación de las diaclasas según su densidad (González de Vallejo, 2004) .....	43
Tabla 5.1.	Dimensiones según normas UNE.....	49
Tabla 5.2.	Calsificacion de la roca de acuerdo a su porcentaje de absorción (Deere y Miller, 1963) .....	51
Tabla 5.3.	Clasificación de la roca de acuerdo a su resistencia a la compresión simple ( <i>Deere y Miller, 1963</i> ).....	53
Tabla 5.4.	Clasificación de la roca de acuerdo a su resistencia a la flexión (Deere y Miller, 1963).....	54
Tabla 5.5.	Clasificación de la abrasividad de las rocas según índices de abrasividad CAI (Käsling y Thuro, 2010) .....	57
Tabla 6.1.	Levantamiento Geologico .....	60
Tabla 6.2.	Resuldado de Fluorescencia de Rayos X.....	63
Tabla 6.3.	Resultados de Carbonato (Magnesio y Calcio) .....	64
Tabla 6.4.	Clasificacion de Rocas Calcareas Dolomíticas Teodorovich 1958 (Valores Teóricos vs Valores Calculados en Laboratorio) .....	64
Tabla 6.5.	Resultados Peso unitario seco y húmedo, porosidad y humedad.....	65
Tabla 6.7.	Clasificación de la roca de acuerdo a su porcentaje de absorción (Deere y Miller, 1963) Vs Valores calculados en el Laboratorio de UCV.....	66

---

Tabla 6.8.	Resultados resistencia a la compresión sometida a esfuerzos en sentido paralelo a la estratificación.....	67
Tabla 6.9.	Resultados resistencia a la compresión sometida a esfuerzos en sentido Perpendicular al plano de estratificación .....	68
Tabla 6.9.	Resultados resistencia a la flexion .....	69
Tabla 6.10.	Resultados resistencia a las heladas .....	70
Tabla 6.10.	Resultados resistencia a los cambios térmicos.....	70
Tabla 6.11.	Resultados resistencia al choque.....	71
Tabla 6.11.	Resultados resistencia al choque (continuación) .....	72
Tabla 6.12.	Resultados Abrasividad.....	72
Tabla 6.13.	Resultados modulo de elasticidad .....	73
Tabla 6.14.	Parametros tabulados de Clasificacion de Macizo Rocoso.....	76
Tabla 6.15.	Cálculo de resistencia a la compresión mediante martillo Schmidt.....	77
Tabla 6.16.	Clasificacion Bieniawski 1976 resistencia la compresion .....	78
Tabla 6.17.	Clasificacion RQD .....	79
Tabla 6.17.	Cálculo de RQD en campo.....	80
Tabla 6.18.	Clasificacion Bieniawski 1989 espaciado de discontinuidades.....	87
Tabla 6.19.	Clasificacion espaciado de discontinuidades de acuerdo a los datos de campo obtenidos .....	87
Tabla 6.20.	Condiciones de las discontinuidades .....	88
Tabla 6.21.	Resultados Clasificacion de macizo rocoso Canteras Tacarigua, C.A puntuacion.....	89
Tabla 6.22.	Clasificacion de macizo rocoso (Bieniawski 1989).....	89



## CAPITULO I

### 1. Introducción

Las rocas fueron utilizadas por nuestros antepasados homínidos desde hace aproximadamente 2,5 millones de años, para la fabricación de herramientas para la caza y para descuartizar animales. La actividad minera de la industria lítica propiamente dicha se estableció por lo menos hace unos 450.000 años. Posteriormente, las rocas comenzaron a ser usadas como material de construcción, como elementos ornamentales y como materia prima de usos industriales por su composición química. En el apogeo de las culturas amerindias, las rocas eran el principal elemento estructural de las construcciones; con el pasar del tiempo su función fue más un elemento decorativo como enchape del concreto, baldosas de piso, aceras, columnas y hasta en muros.

La gran demanda de materiales ornamentales, tanto a nivel nacional, como internacional, ha atraído a la inversión nacional como foránea, para la evaluación y posterior instalación de canteras y plantas de productor terminados como son: topes para cocinas, lapidas, baldosas, esculturas etc. La explotación de estos importantes recursos materiales no metálicos, además de favorecer la inversión nacional y extranjera, sirve de laboratorio de investigación de los estudiantes dedicados a las ramas afines de las ciencias de la tierra y ambientales.

El presente trabajo versará sobre las rocas ornamentales y el conocimiento de sus propiedades geológicas y geomecánicas, que servirán para diferenciarlas unas de otras y para dar a cada una la utilización más adecuada a sus características. La mayor parte de esas propiedades será de gran importancia para evaluar la resistencia mecánica y estabilidad de parte o de la totalidad de las obras en que vayan a ser empleadas, otras tendrán incidencia en la seguridad de utilización de las construcciones o, en caso de incendio en la higiene y salud de los usuarios, en la protección contra el ruido o en el ahorro de energía y aislamiento térmico de los edificios.

La empresa Canteras Tacarigua C.A. ubicada en la localidad de Gañango, Sector Mar Azul, estado Carabobo, se encuentra actualmente produciendo piedra picada como agregado de construcción, la misma empresa desea cambiar el uso de su materia prima buscando que el producto final permita obtener una mayor rentabilidad económica.

### **1.1. Definición del problema**

La geomecánica es el estudio de cómo se deforman los suelos y las rocas, hasta terminar a veces en su falla, en respuesta a los cambios de esfuerzos, presión, temperatura y otros parámetros ambientales. En la minería ornamental, la geomecánica tiende a enfocarse en la calidad de las rocas y la estética de la misma, para así caracterizar yacimientos y buscar una mayor rentabilidad al proyecto minero.

### **1.2. Objetivos**

La caracterización geomecánica de la roca es imprescindible conocerla mediante pruebas físicas, químicas y mecánicas con la finalidad de determinar su disposición a lo que se utilizará estas rocas, las características físicas son: su peso específico, color, porosidad, capacidad y dureza; químicas: su composición, durabilidad y resistencia a los agentes agresivos; y como propiedades mecánicas se puede considerar su resistencia a los distintos esfuerzos que serán sometidas.

Para realizar estos ensayos es preciso seguir una metodología y normativa, apoyándose en bibliografía e información industrial que tenga relación de las rocas dimensionables. La clasificación del macizo rocoso del yacimiento permitirá determinar el tamaño máximo de los bloques que pudieramos extraer y los sitios que no estén afectados geotectónicamente y así poder realizar el diseño de explotación del yacimiento, cuantificando el recurso que podamos extraer para el caso de explotación de rocas dimensionables.

La roca dimensionable, es roca natural que ha sido seleccionada y fabricada para tamaños o formas específicos, con o sin una o más superficies acabadas mecánicamente, para uso como

revestimiento de edificios, bordillos, adoquines, monumentos y lápidas, y diversos productos industriales. El término roca dimensionable, está en contradicción con la roca triturada y fragmentada, que se usa para agregados, calzadas, rellenos o materias primas químicas. Debido a que toda roca es un material natural, la definición excluye todos los materiales hechos por el hombre que simulan la roca. En la práctica común, algunas rocas dimensionables son reforzadas, rellenas o tratadas superficialmente.

Los términos utilizados en las definiciones y la nomenclatura se interpretarán de acuerdo con los términos científicos y técnicos comúnmente aceptados de las ciencias geológicas, salvo que se indique lo contrario.

Ejemplos de tales excepciones son las definiciones comerciales más amplias de granito y mármol, que se han establecido bien en la industria y el comercio de la piedra de dimensionable. Las definiciones y los términos incluidos en estas definiciones se han formulado de acuerdo con el uso industrial común cuando esto no está en conflicto con el uso científico actual.

Los principales usos como lo son bladosas de pisos y fachadas, rodapiés, topes de cocinas, elementos funerarios, etc, que estarán en concordancia con el tipo de roca a utilizar.

El objetivo general de la presente investigación es:

**“Caracterizar geomecánicamente rocas dimensionables del yacimiento de Canteras Tacarigua, C.A., Puerto Cabello, estado Carabobo”**

Los objetivos específicos son los siguientes:

- a) Caracterizar geológicamente el yacimiento para determinar las variables geológicas (litología, espesores de estratos, estructuras geológicas, discontinuidades y grado de meteorización).
- b) Determinar los parámetros de caracterización geomecánica del yacimiento (Análisis Petrográfico (sección fina), Difracción de Rayos X, Peso Unitario, Absorción, Ensayo de Compresión Simple, Flexión, Resistencia a las Heladas, Resistencia a los Cambios

Térmicos, Resistencia al Choque, Módulo de Elasticidad, Abrasibilidad (Cerchar) y Acabado del producto final.

- c) Elaborar la ficha técnica de los mármoles presentes en el yacimiento, de acuerdo a las normas existentes a nivel nacional e internacional.
- d) Evaluar parámetros de explotación a fines de seleccionar equipos de procesamiento acorde proceso de extracción de rocas ornamentales.
- e) Elaborar plano Geológico del yacimiento a escala 1:2500
- f) Conclusiones y Recomendaciones

### **1.3. Justificación y Alcance**

El presente trabajo mostrará cambios en la planificación, método explotación y uso de la materia prima, desarrollando nuevos procesos que ofrecerán el crecimiento económico sustentable de Canteras Tacarigua C.A. y a otras canteras en Venezuela aplicando nuevas tecnologías para el procesamiento de rocas dimensionables u ornamentales, aumentando el valor agregado a materias primas que actualmente se procesan en las canteras, concluyendo con la elaboración de una ficha técnica que recopila todos los parámetros requeridos a nivel internacional para así ser comparadas con los equivalentes del mundo, dando a conocer la calidad de las rocas ornamentales que tiene Venezuela.

### **1.4. Desarrollo de la Investigación**

Para desarrollar esta investigación de acuerdo a la problemática planteada de Cantera Tacarigua, C.A en el distrito Puerto Cabello, es necesario clasificar la investigación con la finalidad de cumplir los objetivos propuestos, enmarcándose en los siguientes aspectos para estudiarla siendo esta: de tipo documental, de campo y experimental.

De esta manera los tipos de investigación, nos permitirán definir las características geológicas, geomecánicas del yacimiento, para así definir la disposición final de la materia

prima. Para lograr esto se realizó un esquema ilustrando los pasos del desarrollo del proyecto.

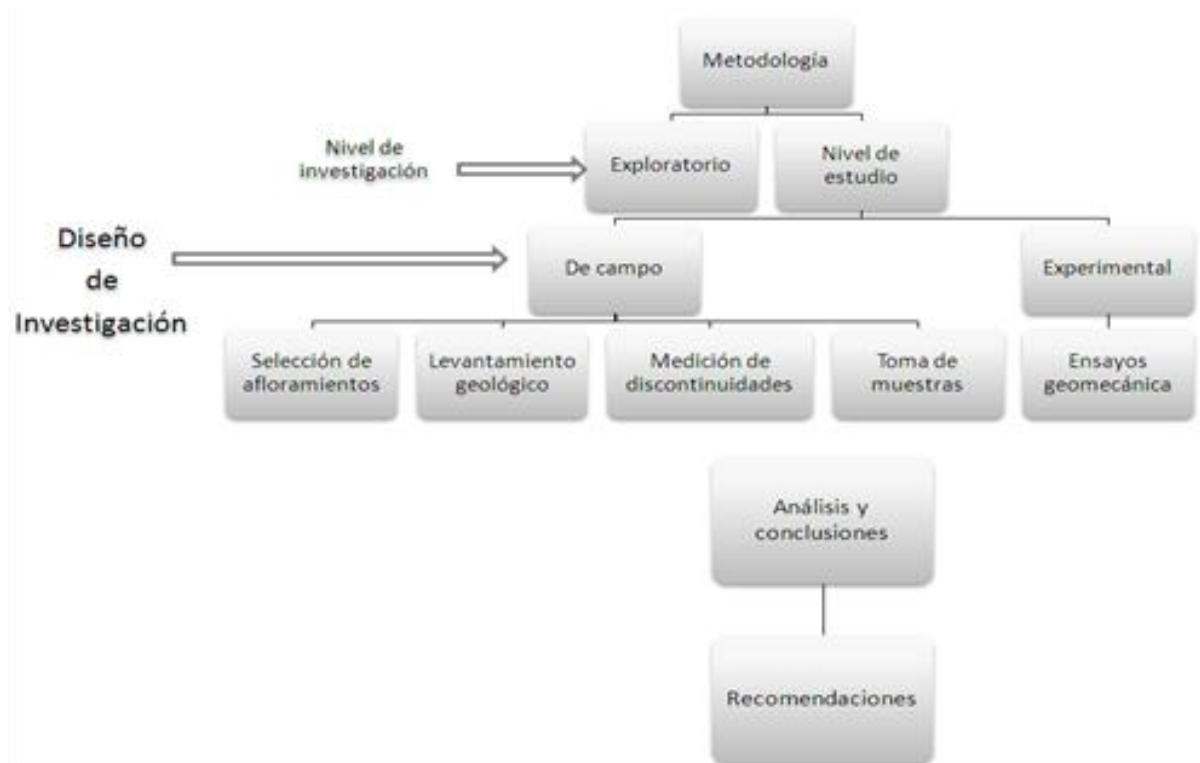


Figura 1.1. Diseño de la Investigación

#### 1.4.1. Revisión de la Literatura

La revisión de la literatura fue realizada para determinar que ensayo ejecutar con la finalidad de caracterizar geomecánicamente las rocas de la cantera, los resultados de estos ensayos darán un criterio de clasificación de los mármoles. Esto incluye teorías, procedimientos de ensayo, resultados, análisis y aplicaciones. La información se obtuvo principalmente de artículos publicados en revistas, informes técnicos, ponencias en congresos. Un resumen de la literatura revisada le dará a este trabajo.

#### 1.4.2. Recolección de muestras y preparación

Todas las muestras empleadas en este trabajo fueron tomadas en la cantera, mediante la selección de bloques, estos fueron inspeccionados, revisando que no estuvieran afectados

por diaclasas inducidas por los procesos de voladura, posteriormente se cargaron y trasladaron a la empresa Materiales Piedra Linda para realizar la preparación de las muestras de acuerdo a las normas europeas UNE y ASTM.

Todos los ensayos serán realizados en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Facultad de Ingeniería.

#### **1.4.3. Trabajo Experimental**

Este trabajo presenta los resultados obtenidos sobre las muestras obtenidas del yacimiento, debidamente preparadas de acuerdo con las especificaciones particulares de las normas a emplear en cada tipo de ensayo.

#### **1.4.4. Verificación de los Ensayos**

Una serie de ensayos mecánicos son realizados para determinar los parámetros de resistencia de la roca. Los ensayos se realizarán con las normas UNE (acrónimo de Una Norma Española) son un conjunto de normas, normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), (International Society for Rock Mechanics, 2013), ASTM (American Society for Testing and Materials). Para cada uno de los ensayos se realizará un reporte particular para cada muestra, donde se incluirá el tipo de ensayo de corte a realizar, la programación del ensayo, el desarrollo de cada etapa de corte; el análisis de la dilatación y se aplicará el criterio de Mohr-Coulomb.

#### **1.4.5. Compilación de resultados por Zona en Estudio**

Una vez concluida la etapa de realización de los ensayos, se procedió a la elaboración de los reportes correspondientes a cada criterio de falla de la zona en estudios, con la finalidad de obtener la envolvente de falla a los círculos de Mohr y establecer un criterio de falla más general para el macizo rocoso.

#### **1.4.6. Investigación documental**

Es un proceso sistemático de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos en un determinado tema.

Cuando se establece que el modelo de investigación que se realizará se basará en la utilización de datos secundarios; es decir, aquellos que han sido obtenidos por otros y nos llegan elaborados y procesados de acuerdo con los fines de quienes inicialmente los elaboran y manejan, estamos realizando una investigación documental. (Mengo, 2009)

La recopilación documental constituye el punto de partida de este trabajo de investigación. Se consultarán trabajos previos orientados al conocimiento de la geología regional, local y otras generalidades concernientes al área de estudio y de la industria de las rocas ornamentales, seguida de la búsqueda de investigaciones efectuadas en la misma área de estudio, con el propósito de conocer los principales rasgos geológicos y estructurales de la zona y posteriormente seleccionar la información de interés. También se consultará artículos técnicos relacionados con el tema.

Además, el empleo de las herramientas como: fotografías, que son de vital importancia en cualquier estudio geológico, así como mapas topográficos y geológicos, ya que se espera conocer las características morfológicas de los afloramientos con miras a determinar sus dimensiones espaciales y sus características geotectónicas.

#### **1.4.7. Investigación de campo**

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental.

Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco

teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos y la solución del problema planteado. (Arias, 2012)

De acuerdo a lo planificado para las salidas al campo y obtener la información preliminar sobre las características macroscópicas de los afloramientos, se efectuará un levantamiento geológico del área de estudio, seleccionando afloramientos de interés y se tomarán muestras frescas puntuales representativas de la roca.

Este trabajo, será debidamente marcado y organizado para desarrollar trabajos posteriores en laboratorio, para afirmar que los afloramientos de mármol son de interés para un estudio rocas con fines ornamentales, se debe tomar en cuenta el área y el volumen ocupado por el mismo, las características físico-naturales y las estructuras geológicas presentes. Para conocer estas características, se practicarán levantamientos geológicos que permiten la toma de información por observación directa.

El muestreo se tomará en las diferentes terrazas de la cantera para ello un martillo geológico y se marcará la ubicación del área con un GPS, el objetivo es tomar muestras frescas para su posterior análisis. De esa manera se tomarán varias muestras para luego ser trasladado hacia el laboratorio de la Universidad Central de Venezuela, para realizar los ensayos pertinentes.

### **1.5. Limitaciones del presente trabajo**

La principal limitación para la ejecución del presente trabajo, es la imposibilidad de la realización de otros ensayos distintos a los señalados por no tener la disponibilidad de los equipos.

Todos los trabajos experimentales y analíticos asumen condiciones isotrópicas y homogéneas. El trabajo no incluye los efectos de forma y tamaño. Los efectos de velocidad de carga, temperatura y cambios químicos no serán considerados (es decir, se asumen constantes).



## 1.6. Estructura de la Investigación

El proyecto está estructurado en 7 capítulos, siguiendo como lineamientos el manual de trabajo de grado. El primero plantea el problema, con su justificación, objetivos y limitaciones. Desarrollo de la investigación. El segundo presenta las generalidades del medio físico clima, precipitación temperatura, geomorfología, hidrología, accesos y ubicación; el Capítulo 3, a la geología de regional y local de la zona de estudio; el capítulo 4 enmarca las bases teóricas del proyecto; el Capítulo V, tratará de los ensayos y procedimientos, el Capítulo VI, presentará la Discusión de los resultados y finalmente el Capítulo VII, se darán las Conclusiones y Recomendaciones.

Se han incluido como apéndices, las Normas UNE y ASTM para rocas dimensionables y las características del equipo de Mecánica de Rocas RDS-500, del cual dispone la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

## 1.7. Antecedentes de la Investigación

Los afloramientos de mármol de Canteras Tacarigua C.A. pertenecientes a la Formación Antímamo, no han sido estudiados previamente en profundidad con todos los parámetros requeridos en una caracterización geomecánica. Los estudios realizados con anterioridad en el área, solo han sido de carácter topográfico, geológico y químico, evaluando el yacimiento para darle un uso como agregado de construcción, a continuación, se muestran algunos estudios de la zona de estudio:

**Urbani & Rodríguez (2002)**, señalan que la zona de estudio corresponde a un terreno adosado debido a la interacción por la colisión de las placas Caribe y Sudamérica, con unidades que corresponden a un margen pasivo de corteza continental, por lo tanto se está en presencia de un metamorfismo regional dinamotermal, dentro de la facies de los esquistos verdes (zona de la clorita y zona de la biotita) y la facies transicional (zona del almandino) entre los esquistos verdes y la anfibolita: típico en la convergencia de placas (subducción de corteza oceánica debajo de corteza continental, el cual se basa en efectos

térmicos y de presión (alta relación P/T). En general los efectos de presión están constituidos por la presión litostática debido a la carga generada por efecto del peso de las rocas suprayacentes y del esfuerzo, que actúa deformando la roca y generando foliación o esquistosidad al causar rotaciones de minerales en la roca metamórfica, esto ocurre en cinturones orogénicos a lo largo de los bordes de placas convergentes.

**Gómez Alexis & Mayora Milagros (2006)**, realizaron trabajo: Caracterización Geológica de la Faja Dolomítica de la Zona entre Gañango y Patanemo Distrito Puerto Cabello Estado Carabobo, esta investigación complementara la descripción de los mármoles que afloran en el yacimiento mediante la clasificación de Teodorovich (1958) el cual fue sistematizada con los análisis químicos que realizaron determinando que el 95% de los mármoles analizados de la cantera son calcíticos.

**Alarcón N, Adrián A (2015)**, presenta el Plan de adecuación de escombreras en Cantera Tacarigua, C.A., Sector Mar Azul, Carretera Nacional Gañango-Patanemo, Municipio Puerto Cabello. Este trabajo especial de grado aportara estudio de la zona que se extraerán los bloques de esquistos verdes, además una clasificación de macizo rocoso dando a conocer características geomecánica de los esquistos verdes.

**Rivero M, Anieka J. (2018)**, Planificación a largo plazo de la explotación del frente 3 en canteras Tacarigua C.A., ubicada en la localidad de Gañango, sector Mar Azul, estado Carabobo.

**Soler Pedro (2019)** Elaborar un plan de cierre progresivo del Frente 1 en Canteras Tacarigua C.A, ubicado en el sector Mar Azul, municipio Puerto Cabello, estado Carabobo, como aporte a la planificación integral de la cantera.

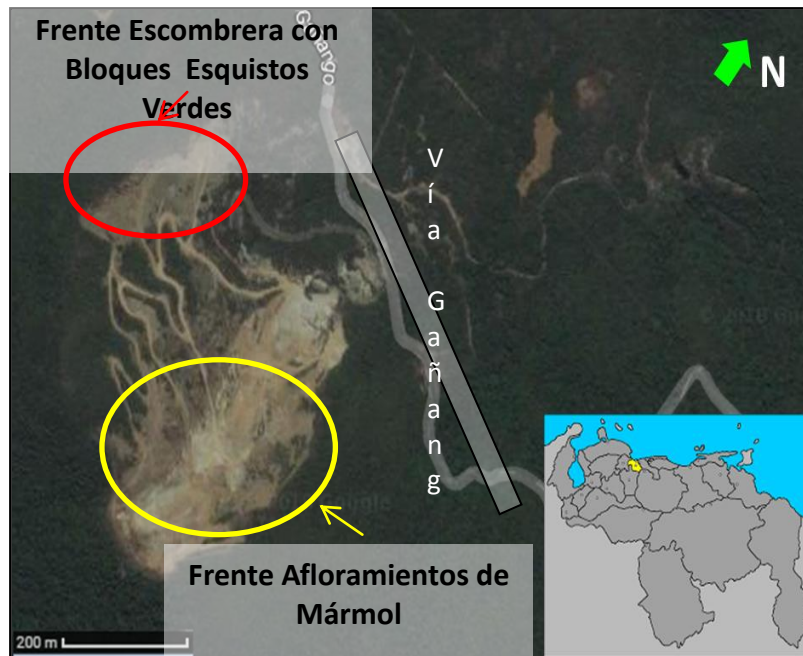
## CAPITULO II

### 2. Descripción General del Ámbito Físico- Natural de la Zona de Estudio

#### 2.1. Ubicación y Acceso de la Zona de Estudio

##### 2.1.1. Ubicación y Extensión

El área minera de extracción y procesamiento corresponde a la concesión minera “Los Viejos”, la cual se encuentra en el sector La Ensenada Mar Azul vía Patanemo, en el Municipio Puerto Cabello del estado Carabobo, específicamente, a ambas márgenes de la Carretera Nacional. Ver Figura 2.1.



**Figura 2.1. Ubicación relativa de Canteras Tacarigua C.A (modificado de Google Maps)**

La concesión minera de Canteras Tacarigua C.A. está definida por un polígono irregular el cual cuenta con un área de 121,33 Ha, cuyos vértices están definidos por las coordenadas presente en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Coordenada UTM / REGVEN del área de concesión actual de Canteras Tacarigua C.A.**

Punto	Norte	Este
1	1.156.334,82	614.578,93
2	1.156.171,82	615.788,93
3	1.155.202,82	615.646,93
4	1.155.360,82	614.434,93
5	1.156.334,82	614.578,93

Sin embargo, este polígono de Concesión se ha visto modificado por la necesidad de un área que permita un máximo aprovechamiento mineral de los mármoles presentes y a la vez tomar en consideración las zonas de gran importancia forestal y fáunica que se encuentran en el actual polígono de Concesión. De acuerdo a esta modificación los vértices del polígono quedan definidos por las coordenadas presente en la Tabla 2.2 generando igualmente un área de 121,33 Ha.

**Tabla 2.2. Coordenada UTM / REGVEN del área de concesión modificada de Canteras Tacarigua C.A.**

Punto	Norte	Este
1	1.156.086	614.625
2	1.155.566	614.694
3	1.155.493	614.723
4	1.155.654	615.105
5	1.155.850	615.142
6	1.155.923	615.278
7	1.155.943	615.569
8	1.155.961	615.987
9	1.156.476	616.039
10	1.156.908	615.865
11	1.156.910	615.551
12	1.156.367	615.600
13	1.156.139	615.300

### 2.1.2. Acceso

El acceso al área operacional de Canteras Tacarigua C.A. se realiza desde la autopista Valencia-Puerto Cabello, tomando la carretera que conduce a Puerto Cabello, para luego seguir por la vía hacia la población de Gañango recorriendo aproximadamente 3 km hasta encontrar en su margen derecho la entrada de la Empresa, ilustrada en la Figura 2.2.

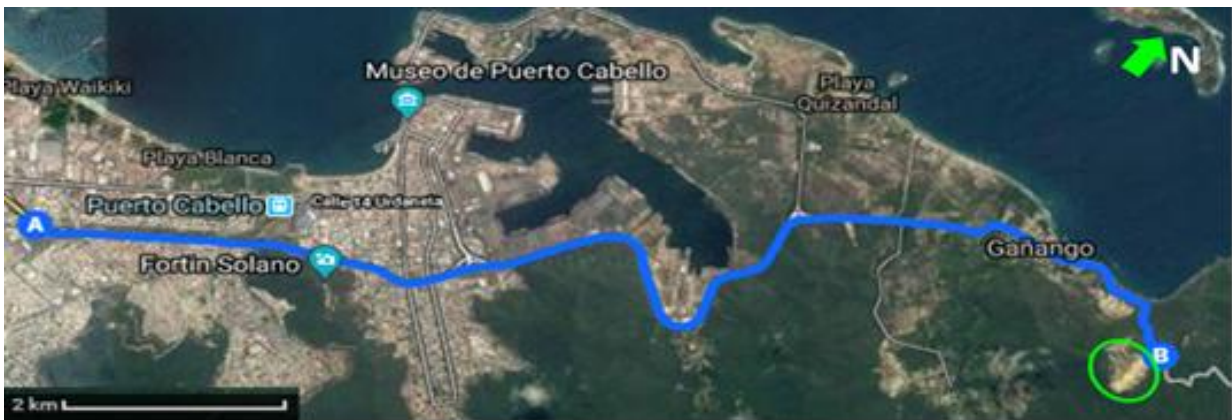


Figura 2.2. Vía de acceso de Canteras Tacarigua C.A. (modificado de Google Maps)

## 2.2. Descripción General del Ámbito Físico- Natural de la Zona de Estudio

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística (INE, 2011), el Municipio Puerto Cabello presenta las siguientes características físicas:

### 2.2.1. Relieve

El tipo de paisaje predominante es el de montaña, con relieves propios de estas unidades, el cual generalmente es quebrado y con topografía de pendientes predominantes entre 20 % y 30 %. También es posible encontrar amplios valles como el de los ríos Patanemo y Borburata, en donde se observan medios depositacionales generalmente de pendientes menores al 5 %, donde se desarrollan las localidades con iguales nombres. La localidad de Puerto Cabello se desenvuelve en una pequeña franja litoral, característica de un medio depositacional de litoral marino, con tierras generalmente planas, aunque con ligeras inclinaciones y pendientes

### **2.2.2. Geología y suelos**

La unidad geológica predominante data del Mesozoico. La litología está constituida principalmente por un esquisto cuarzo micáceo, de granulación gruesa a fina; con capas de conglomerados duros intercaladas, gneises microclínicos y caliza metamorfozada. También, se encuentran afloramientos de orto-gneises graníticos de Sebastopol, bastante diaclasados y meteorizados en superficie, formando un suelo caolinítico por la descomposición de los feldespatos. El suelo, es de textura arenosa en la franja litoral; franco arcillosa, en el valle del río San Esteban y residuales de poca profundidad hacia el sistema montañoso litoral de la Cordillera de La Costa.

### **2.2.3. Clima**

La temperatura media anual es de 27° C, teniendo como mínimo 23° C y máximo 30° C. La precipitación promedio es de 475 mm anuales (estación Puerto Cabello) presentando un patrón de distribución temporal con régimen bimodal, con máximos en agosto y noviembre. Por el contrario, en los meses de enero y febrero se manifiesta la sequía.

### **2.2.4. Hidrografía**

Entre los ríos más importantes se encuentra: el Urama, Morón, Sanchón, Goigoaza, Aguas Calientes, San Esteban, Patanemo, Borburata y Valle Seco. En la extensión de costa porteña se ubican lagunas litorales de las cuales se destacan Bocaína y Yapascua.

### **2.2.5. Vegetación**

La cobertura vegetal predominante es la de bosques tropófilos basimontanos deciduos (entre 300- 600 msnm); con altura del dosel de baja a media (10-20 m), de uno a dos estratos arbóreos y un sotobosque denso. Por debajo de los 300 msnm., se desarrollan arbustales xerófilos litorales, y sobre los 600 msnm, se desarrollan bosques ombrófilos sub montanos; bosques ombrófilos sub montanos y semideciduos estacionales que presentan de dos a tres estratos arbóreos, densos, de altura media.

### **2.2.6. Sismicidad**

Según el mapa de Zonificación Sísmica de FUNVISIS, el municipio se emplaza en una región con peligro sísmico medio-alto (zona 4), esto debido a la influencia directa de la Falla de Morón.

## CAPITULO III

### 3. Geología de la Zona de Estudio

#### 3.1. Geología Regional

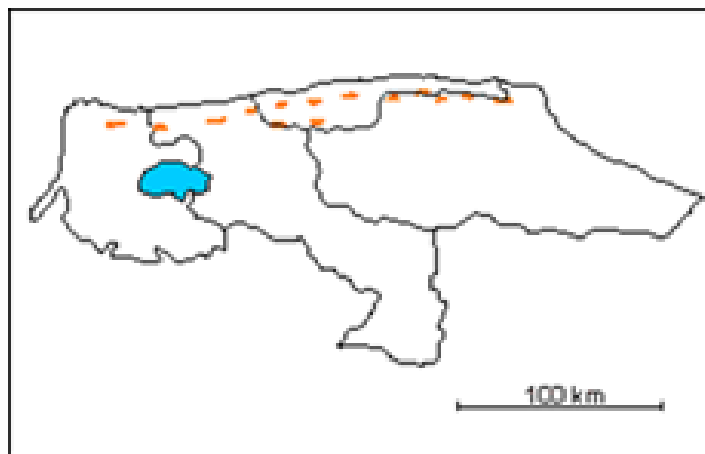
El estado Carabobo cuenta con una geología compleja y heterogénea debido al emplazamiento geotectónico al cual pertenece la región; muestra estructuras: anticlinales, sinclinales, y fallas, que le confieren aproximadamente un 75 % a todo lo largo de su territorio, condiciones de un relieve montañoso propio de la Cordillera de la Costa.

Regionalmente, el yacimiento de mármol otorgado bajo la figura de Concesión Minera a la empresa Canteras Tacarigua C.A., forma parte de la provincia metamórfica de la formación Antímamo, formación Las Brisas y formación Las Mercedes, una importante unidad que conforma la parte inferior del Grupo Caracas, la cual atraviesa toda la Cordillera de la Costa y aflora extensamente entre el estado Miranda y el estado Yaracuy. En la zona de la concesión, se observan secciones y un gran bloque de rocas metamórficas pertenecientes a las mismas formaciones indicadas anteriormente.

Según el Léxico Estratigráfico de Venezuela (LEV) se tiene a continuación la descripción de la Formación Antímamo, ilustrada en la Figura 5, la cual se correlaciona con las rocas presentes en la Empresa.



### 3.1.1. Formación Antímano



**Figura 3.1. Formación Antímano**

(Léxico Estratigráfico de Venezuela [LEV] PDVSA)

Dengo (1950)-(LEV) describe con detalle las anfibolitas glaucofánicas de la Formación Antímano, incluyendo análisis químicos, indicando que los mármoles son rocas estructuralmente competentes en relación a los esquistos que las rodean, pero incompetentes en relación con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas y resultando así la estructura de "boudinage".

Schurmann (1950)-(LEV) igualmente estudia estas rocas glaucofánicas, presentando un mapa detallado de los diversos tipos litológicos en el sector de Antímano y Mamera.

Dengo (1951)-(LEV) describe la Formación Antímano como un mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita, alternando con capas de esquistos cuarzo micáceos, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de "boudinage". El mármol está formado por 85 % - 95 % de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5 %), grafito (2,5 %) y pirita (2 %).

Talukdar y Loureiro (1982)-(LEV) reconocen su Unidad de anfibolitas y mármoles, que posteriormente Urbani y Ostos (1989) la denominan como Fase Antímano, allí ocurre la asociación de anfibolita, mármol, esquisto calcáreo-moscovítico  $\pm$  grafitoso, esquisto cuarzo-moscovítico  $\pm$  granatífero, esquisto cuarzo-moscovítico-glaucofánico-granatífero.

En la zona de El Palito, estado Carabobo, Urbani et al. (1989)-(LEV) mencionan la asociación de anfibolita granatífera-clinopiroxénica, anfibolita granatífera, eclogita, anfibolita epidótica-plagioclásica, mármol, cuarcita y esquisto cuarzo-plagioclásico-moscovítico.

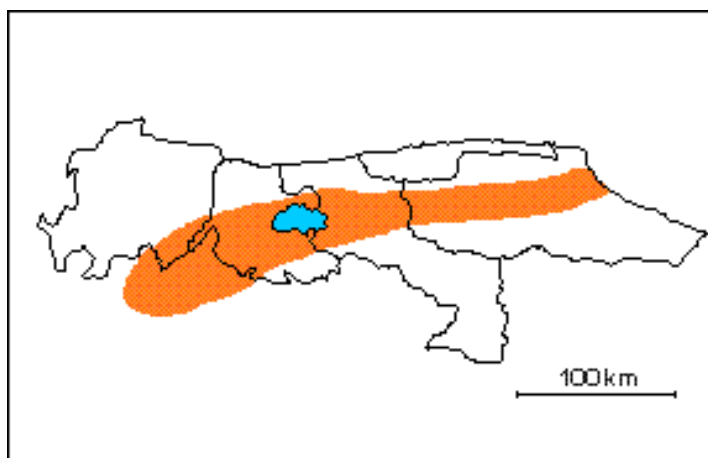
Esta formación presenta contactos estructuralmente concordantes con las formaciones adyacentes: Las Brisas y Las Mercedes. En la zona de Antímano y Mamera, los lentes de mármoles y rocas anfibólicas, que alcanzan a veces grandes dimensiones longitudinales, se hallan embutidos en esquistos de diversos tipos, especialmente los correspondientes a la Formación Las Brisas

La cordillera del Litoral donde se emplaza el área de operaciones de Canteras Tacarigua C.A. emergió por plegamientos verticales acaecidos a finales del Cretáceo, hace setenta y ocho millones de años. En el Plioceno, hace doce millones de años, emergió la cordillera del Interior. El emerger de los dos relieves produjo grandes hundimientos o fosas tectónicas y es así como se conforma la cuenca del Lago de Tacarigua y lo que es el propio lago.

Adicionalmente, la erosión producida por el curso de las aguas que se desprenden de la cordillera del Litoral hacia el Sur y desde la del Interior hacia el Norte, en el transcurso de millones de años, rellenaron la fosa tectónica surgiendo así los valles que rodean el Lago. Este proceso continúa en términos geológicos, ya que la cordillera del Litoral aún está emergiendo a un ritmo de un milímetro por año, por otra parte, la erosión de ambas cordilleras se mantiene, continuando el proceso de formación de los valles.

Desde el punto de vista geológico regional, se puede señalar que toda la zona está comprendida dentro de la cordillera de la costa (tramo central) y que las rocas que afloran, son metamórficas e ígneas. Esta es una zona donde hubo un intenso metamorfismo regional, revelado por las extensas zonas de serpentinitas, peridotitas serpentinizadas y granitos.

### 3.1.2. Formación Las Mercedes MESOZOICO (Jurásico - Cretácico)



**Figura 3.2. Formación Mercedes**

Referencia original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a, p. 15.

Consideraciones históricas: Originalmente fue referida por Aguerrevere y Zuloaga (1937-a, b), quienes la denominan esquistos de Las Mercedes. Posteriormente (1938-a, b), formalizan el nombre de la unidad con el nombre actual. Ha sido descrita en diversas localidades de la Cordillera de la Costa sin mayores cambios, dada su litología consecuentemente uniforme, por Dengo (1949), Smith (1952), MacLachlan et al. (1960), Feo-Codecido (1962), Oxburgh (1965), Menéndez (1965), Seiders (1965), Bellizzia y Rodríguez (1968), Morgan (1969), Urbani y Quesada (1972), Asuaje (1972), Beck (1986), Cantisano (1989), Urbani et al. (1989-a, b), Wehrmann (1972), González Silva (1972) y Rodríguez (1972).

**Localidad tipo:** Antigua hacienda las Mercedes al este de Caracas (Hoja 6847 esc. 1:100.000, Cartografía Nacional) hoy Urb. Las Mercedes. Debido al crecimiento del urbanismo con la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo; Wehrmann (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare-Santa Lucía, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con la Formación Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas - Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta - Charallave.

**Descripción litológica:** Aguerrevere y Zuloaga (op.cit.), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte

rosado, gris, con zonas blancas cuando frescas. Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana et al. (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - moscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris pardusco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, piritita y óxidos de hierro. Oxburgh (op. cit.), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facies oriental, de esquistos grafiticos, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes; y una facies occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas, con abundante granate, y filitas grafiticas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección.

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

Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), incluyen dentro de la formación una zona constituida por calizas oscuras y densas, en capas delgadas, interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado, que denominan Fase Los Colorados, y que

constituyen excelentes estratos guía. Dengo (op. cit.), Seiders (op. cit.), y Wehrmann (op. cit.), no coinciden con esta formación, ya que, según ellos, tales calizas se encuentran en diferentes niveles en la sección.

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

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

Muy poco se ha escrito sobre el ambiente en el cual se depositaron, la Formación las Mercedes. Oxburgh (op. cit.), sugiere dos fuentes principales de sedimento: una meridional, suplidora de cuarzo puro, y una occidental (Complejo de El Tinaco), para el material cuarzo-feldespático más joven. Presenta un esquema transgresivo hacia el sur, sobre una plataforma somera, en la cual se depositaron lutitas negras, con una facie oriental, más arenosa.

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

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

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

**Contactos:** La mayoría de los autores hasta los años 1970 han considerado el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas, como concordantes y de tipo sedimentario. Mientras que autores más recientes considera que es de tipo tectónico conservando paralelismo en la foliación en ambas unidades (González de Juana et al., 1980, p. 318). En la zona de la Colonia Tovar, Ostos (1990, p. 55) señala que el contacto entre el Augengneis de Peña de Mora y el Gneis de Colonia Tovar, con la Formación Las Mercedes puede ser interpretado tanto como una falla normal de bajo ángulo, como un contacto sedimentario original. El contacto con la Formación Las Brisas lo interpreta como de corrimiento. En el estado Cojedes el mismo autor, señala que la Peridotita de Tinaquillo está en contacto con la Formación Las Mercedes a través del corrimiento de Manrique. Cantisano (1989) en su estudio de la zona de Mamera, Distrito Federal, indica que el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Antímamo corresponde a una falla de corrimiento. El contacto con la Formación Chuspita parece ser transicional (Seiders, 1965).

**Fósiles:** Diversos hallazgos de fósiles han sido reportados en esta Formación: Mackenzie (1966) encuentra un gasterópodo (*Nerinea* sp.); Oxburgh (1965) encuentra un fragmento de amonite; Morgan (1969) halla fragmentos de pelecípodos, gasterópodos y foraminíferos no identificables; Urbani (1972) reporta fragmentos de equinoides; Furrer y Urbani (1973) indican foraminíferos de la familia Ophtalminidae y otros fragmentos no identificables; Spena et al. (1977) reporta fragmentos de pelecípodos, gasterópodos, equinoides y algas posiblemente de los géneros *Acicularia*, *Cyanophyta*, *Cayeuxia*. (Véase revisión en Urbani, 1982, p. 78). La mayoría de ellos sugieren un ambiente de aguas marinas poco profundas, con fragmentos que parecen haber sido retrabajados por las olas.

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

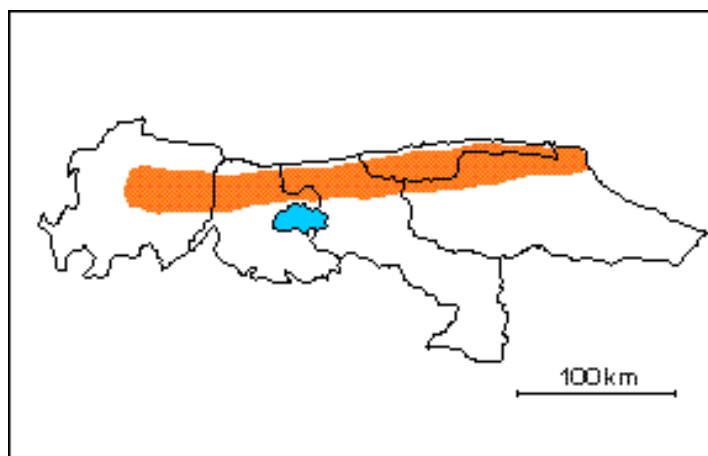
**Correlación:** Por su similitud óptica, se la presume equivalente a la Formación Aroa, en el macizo occidental de la Cordillera de la Costa, y a la Formación Carúpano, en Oriente. Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), la correlacionan tentativamente con la Formación La Luna y Querecual, inclusive Navarro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

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

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

**Sinonimia:** Las Mercedes, Esquistos

### 3.1.3. Formación Las Brisas MESOZOICO (Jurásico Tardío)



**Figura 3.3. Formación Las Brisas**

Referencia original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a, p. 12.

**Consideraciones históricas:** La primera referencia a esta unidad se debe a Aguerrevere y Zuloaga (1937), quienes la denominan Conglomerado Basal de Las Brisas y agregan una breve descripción.

Dengo (1951) amplía la descripción y propone incluir en la formación, los esquistos comprendidos entre la Caliza de Zenda y la Caliza de Antímano. También destacadas unidades dentro de la formación: la Caliza de Zenda (que define como miembro) y el gneis microclínico, sin rango.

Smith (1952) divide la formación en dos miembros. Sucesivamente, la formación es descrita sin mayores cambios en diversas localidades por Mc Lachlan et. al. (1960), Feo-Codecido (1962), Oxburgh (1965), Seiders (1965), Morgan (1969), Wehrmann (1972), González Silva (1972) y Rodríguez (1972), Talukdar y Loureiro (1982), introducen nuevos conceptos en la estratigrafía general de la Cordillera de la Costa.

**Localidad tipo:** Sitio de Las Brisas, en el km 10 de la antigua carretera Caracas-Ocumare del Tuy, cerca de la represa de la Mariposa. (Hoja 6847, esc. 1:100.000, Cartografía Nacional).

**Descripción litológica:** La descripción original de Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), menciona un conglomerado basal arkósico, con cantos rodados derivados de la roca basal de



Sebastopol, redondeados a subangulares, hasta de 30 cm de diámetro, cantos de cuarzo y cemento, principalmente silíceo. Esta litología dista de ser la principal, ni mucho menos la única componente de la formación.

Dengo (op. cit.) observa que la mayor parte de la formación, está constituida por esquisto cuarzo-micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas (ver además: Zenda, Miembro).

Smith (op. cit.), divide la formación en dos miembros: miembro inferior, constituido por gneises y esquistos microclínicos conglomeráticos y miembro superior, formado casi enteramente por esquistos sericíticos. Este autor opina que los grupos litológicos de los miembros inferior y superior, se originan de conglomerados y lutitas respectivamente, y que las calizas son de origen biohermal.

Seiders (op. cit.) encuentra en el tope de la formación, conglomerados gnéisicos y areniscas esquistosas, con cantidad menor de caliza negra en capas delgadas, y grandes guijarros de granito, y resalta la ausencia de los esquistos sericíticos de Smith. Morgan (op. cit.) añade anfibolitas estratificadas concordantes, que interpreta como tobas, sills o flujos metamorfizados.

Wehrmann (op. cit.) afirma que la Formación Las Brisas, está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-moscovíticos; el 10% restante lo constituyen, en orden de abundancia, esquistos cuarzo-feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas y metaconglomerados. Menciona igualmente, mineralizaciones pobres de cobre en algunas calizas, en forma de sulfuros y sulfatos. Este autor no menciona el gneis microclínico de Dengo, pero hace referencia a conglomerados y areniscas intraformacionales, ricas en microclino (15%), sin hacer referencia a su relación con los gneises del mismo género.

Talukdar y Loureiro (op. cit.) analizan exhaustivamente los tipos litológicos, en un área reducida de la Cordillera de la Costa, sin relacionarla con las formaciones tradicionales, estableciendo la dificultad e inconveniencia en el uso de unidades litoestratigráficas, en estudios detallados de rocas metamórficas. El grado de metamorfismo es bajo, aunque

existen diferencias entre las opiniones de Dengo, Smith y Seiders, quienes opinan que predomina la facies de la anfíbolita y el glaucofano, mientras que Wehrmann le asigna grados más bajos de presión (facies del esquisto verde).

**Ambiente tectónico y petrogénesis:** Prácticamente todos los autores que se han referido a esta formación, han coincidido en afirmar que, en su origen, las rocas que la componen, fueron sedimentos pelíticos y psammíticos, depositados en la plataforma y el talud continental. En cuanto a las calizas, existen diferencias de criterio, que varían entre el origen biohermal y el pelágico. Talukdar y Loureiro (op. cit.) opinan que la fuente de sedimentos pudo haber sido el protocontinente, suramericano, de suave pendiente y situado a gran distancia, combinado con una fuente cercana de origen volcánico de tipo basáltico y andesítico. Estos sedimentos fueron depositados en una plataforma continental, de ambiente parcialmente euxínico, contiguo a un arco volcánico.

**Contactos:** La Formación Las Brisas descansa sobre el Complejo Basal de Sebastopol. El contacto, ya sea por la foliación discordante, sea por el hiatus de tiempo que separa ambas formaciones, es discordante, según la opinión generalizada, aunque algunos autores (véase: Sebastopol, Complejo Basal de), afirman haber observado localmente una aparente concordancia entre una y otra. La relación con las formaciones suprayacentes Antímano y Las Mercedes, es generalmente transicional, aunque a veces, el contacto es estructural. La Formación Las Brisas forma en la región capital, el núcleo de los anticlinorios que corren a lo largo de la faja de la Cordillera de la Costa. Los trabajos presentados hasta 1972, ofrecen un cuadro estructural clásico de plegamientos longitudinales, con sus respectivas fallas, segmentados por fallas transversales, haciendo mención de microestructuras, tales como lineaciones, pliegues de flujo, etc., tomando como base para la composición estructural, el principio de que la foliación es paralela a la estratificación, y de que los esfuerzos de deformación provienen del norte, con una componente menor en sentido E-W.

Talukdar y Loureiro (op. cit.), hacen un análisis muy detallado, y desarrollan un modelo de evolución tectónica de la cordillera en cinco etapas, identificando cuatro fases consecutivas

de plegamiento, originados por subducción, colisión de placas y emplazamiento del basamento granítico, corteza oceánica y manto, así como de intrusiones graníticas.

Los afloramientos de la Formación Las Brisas, alcanzan dimensiones decakilométricas en sentido N-S, y hectakilométricas en su extensión longitudinal, E-W.

**Extensión Geográfica:** A todo lo largo del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre el Cabo Codera y el graben del río Yaracuy.

**Edad:** La única referencia de fósiles plenamente identificados de la Formación Las Brisas, que permiten el establecimiento de una edad específica, nos la proporciona Urbani (1969), con el descubrimiento de varios ejemplares de *Exogira* sp. aff., *E. virgula* (Defrance), molusco pelecípodo característico del Kimmeridgiense, Jurásico Tardío, tal como lo describe Kauffman (en Gamero, 1969) Kauffman en (1943) había descrito moldes y secciones de fósiles provenientes de la quebrada Cara (o Care), cerca de Guatire, entre los cuales menciona las especies *Pecten* (*Camponectes*) sp. cf., *C. indiduraensis*, y *C. bubonis?*, de edad Jurásico tardío, además de otras especies no identificadas de *Pecten* sp., *Pholadomya* sp., *Cardium* sp., *Meretrix* sp., *Plicatula* sp. y *Lucina* sp.

Los fósiles de Urbani (1973), provienen de dolomías puras (95%), grises, de grano fino, altamente recristalizadas, pertenecientes al Miembro Zenda, en la localidad de la Cueva del Indio en la Guairita, al sur de Caracas. Los fósiles de Wolcott, provienen de calizas asignadas originalmente a la Formación Las Mercedes, pero posteriormente fue rectificada la asignación, e incluidos en el Miembro Zenda.

**Correlación:** La primera correlación de esta unidad fue establecida tentativamente por Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), quienes sugieren una equivalencia de la Formación Las Brisas con la Formación Río Negro. Sin embargo, la diferencia de edades invalida dicha correlación, repetida sucesivamente por autores posteriores. No se ha establecido una correlación precisa con unidades del macizo oriental de la Cordillera de la Costa.

**Importancia económica:** Esencialmente en la explotación de las calizas del Miembro Zenda, como material de construcción (piedra picada) y ornamental. Se ha mencionado la

explotación de las metareniscas muy meteorizadas de la Formación Las Brisas, como fuente de agregados para el concreto. Asimismo, esta litología, al perder su textura esquistosa por lixiviación de ciertos minerales, constituye un excelente acuífero superficial.

**Sinonimia:** La Brisas, Conglomerado de, Esquistos de.

### 3.2. Geología Local

Localmente, el material que se presenta en el área de operaciones mineras de Canteras Tacarigua C.A., está constituido por mármoles calcíticos-dolomíticos y un gneis muy meteorizado, casi disgregado en su superficie y muy friable en zonas más frescas y superficiales. Esta laminada horizontalmente hasta el punto donde la delgadez de las láminas, dan un aspecto de paquetes esquistosos y con algunas zonas de esquistos verdes.

En el caso de los mármoles, se caracteriza por sus colores claros, uniformidad y cambios frecuentes de facies hasta calizas magnesianas y dolomitas silíceas. Genéticamente, parecen constituir los clásicos depósitos asociados con eventos de dolomitización lenta y mármoles plataformales en ambientes de alto contenido de magnesio. Es importante destacar que, en Venezuela, se encuentran cuatro zonas, tres de las cuales están bajo explotación y representan los depósitos comerciales de dolomitas. **En el estado Carabobo, se encuentra entre Gañango y Patanemo;** en él afloran masas de mármoles calcíticos-dolomíticos de excelente calidad, asociados con la Formación Antímamo. En la región de Puerto Cabello, esta formación constituye una faja discontinua de rocas metamórficas estratigráficamente ubicada entre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas. En esta zona, la Formación Antímamo puede reconocerse como una unidad diferenciable. Sus mármoles calcíticos-dolomíticos se presentan en lechos lenticulares y son claramente distintos de las rocas de Las Mercedes suprayacentes.

Las mejores localidades para el estudio de estas rocas son las canteras situadas a lo largo de la carretera Guaicamacuto-Patanemo. Aquí la unidad afloró en dos lentes de aproximadamente 1 km. de longitud y espesor variable pero importante, separados estratigráficamente por un intervalo de materiales que contienen esquistos, cuarzo-

moscovíticos-clorítico-granatíferos. Hasta el momento se han observado mármoles calcíticos-dolomíticos de similar pureza a lo largo del flanco sur de la Cordillera. La secuencia estratigráfica en este lado de la serranía, pasa directamente de la Formación Las Brisas a la Formación Las Mercedes, sin las dolomitas blancas de la Formación Antímano.

Los mármoles de la Formación Antímano, tal y como se reconocen en la región de Puerto Cabello y más típicamente en Patanemo, son muy blancos, de grano grueso y dolomíticos. La mineralogía más característica es dolomita-tremolita-calcita. Las bandas ricas en cuarzo de los mármoles se asocian con calcita, tremolita y diópsido. Además de esas zonas, se han ubicado secuencias dolomíticas en las áreas de: La Concepción, sur de la ciudad de Yaritagua, estado Yaracuy; Torrellero entre Sanare, Lara y Agua Blanca, portuguesa y entre Guiria y Macuro, estado Sucre.

La secuencia estratigráfica del yacimiento comienza con 10 m de esquistos y arcillas, seguidamente, unas meta-caliza de colores grises entre oscuras y claras con estratificaciones planares y onduladas con un espesor aproximado de 7 m., por debajo de este estrato continua unos paquetes de dolomitas blancas cristalizada con espesor de 4 m, bien competente, a dicha capa, le infrayace un marcador esquistoso de color verde de 0,60 m., seguido de dos paquetes de mármoles masivos. El primero, presenta un color gris claro de 12 m de espesor; seguido de una meta-caliza masiva gris oscuro de 44 m. El promedio del buzamiento del yacimiento es de 55°N en la figura 3.4., se observa la secuencia estratigráfica.



Figura 3.4. Secuencias Estratigráfica del Yacimiento Canteras Tacarigua C.A.

## CAPITULO IV

### 4. Bases Teóricas

#### 4.1. Introducción

La roca dimensionable es definida como la roca que puede extraerse, cortarse y comercializarse a tamaños predeterminados sin que en la misma se presenten discontinuidades o imperfecciones, de manera de garantizar su estética y durabilidad.

Adicionalmente a la característica primordial de que la roca pueda ser cortada, es necesario que esta cumpla con las especificaciones de la ASTM (americana) o UNE (europea), y los parámetros de aceptación dependerán del tipo de roca a evaluar para su comercialización.

A nivel nacional, solo la Universidad Central de Venezuela, a través de la Facultad de Ingeniería, con el Laboratorio de Mecánica de Rocas, es la que está en capacidad de realizar todos los ensayos requeridos en ambas normativas.

De aquí la importancia de realizar la presente investigación, que permitirá obtener los usos posibles de la roca y su competitividad en el mercado nacional e internacional, así como la certificación de los valores obtenidos en los ensayos por su trayectoria técnica, imparcialidad y calidad de los resultados.

#### 4.2. Mármol

##### 4.2.1. *Propiedades específicas de los yacimientos de mármol*

Las variables que han de evaluarse en los mármoles de estos afloramientos son: morfología, fracturamiento, composición química, color, homogeneidad, textura y pruebas de resistencia y abrasión.

La composición química, el color y textura: son propiedades intrínsecas de la roca naturales que condicionarán en gran medida, su carácter ornamental y por tanto, serán factores fundamentales. Los cambios de facies, variaciones de color, presencia de fracturas, definen la

homogeneidad del afloramiento y tienen una importancia directa en el diseño y posible apertura de una cantera.

El estudio del fracturamiento, ha de reflejar fundamentalmente, la densidad del diaclasado de los afloramientos, siendo el condicionante principal en el tamaño del bloque a extraer.

La meteorización es uno de los factores más determinantes, en posible aprovechamiento de una cantera. Se ha de procurar detectar su presencia y precisar su distribución por su importancia, ya que puede hacer que, una zona sea descartada definitivamente, aunque los demás criterios presentaran valores aceptables para la explotación.

#### **4.2.2. Características de los yacimientos de mármol**

El mármol es una roca metamórfica compacta formada a partir de rocas calizas o dolomitas que, sometidas a elevadas temperaturas (entre 150 °C y 200 °C) y presiones (alrededor de 1.500 bar), por largos períodos de tiempo alcanzando un alto grado de recristalización. Los componentes básicos del mármol es el carbonato cálcico y de magnesio, cuyo contenido supera el 90 %; los demás componentes, considerados impurezas, son los que dan gran variedad de colores en los mármoles y definen sus características físicas y económicas.

Los mármoles se originan por medio de una serie de procesos geológicos que inducen cambios mineralógicos y estructurales tanto en las rocas eruptivas como en las rocas sedimentarias. Estos cambios son consecuencia de la búsqueda del equilibrio físico-químico de las rocas cuando se encuentran sometidas a ambientes diferentes de aquel en que se formaron. Los principales agentes que producen estas transformaciones son los fluidos químicamente activos, la presión y la temperatura. La estructura de las rocas metamórficas se puede clasificar en dos grandes grupos las foliadas y las no foliadas (afaníticas o granulares). Para el caso de la cantera estos mármoles son foliados.

Los mármoles proceden del metamorfismo de las rocas calizas o dolomitas con una recristalización de sus minerales, originándose por lo general, un aumento de la compacidad y variando el resto de las características con respecto a la roca de origen. A esta roca la



acompaña una gran diversidad de otros minerales (mica, silicatos magnésicos, grafito, óxidos de hierro, etc).

**Estructura:** Su estructura será compacta y su fractura es plana de aspecto sacaroidea. La clasificación de los mármoles de acuerdo con el tamaño de sus cristales es:

- a) Afanocristalinos
- b) Muy finamente cristalinos
- c) Finamente cristalinos
- d) Medianamente cristalinos
- e) Groseramente cristalinos
- f) Muy groseramente cristalinos

Características generales:

- a) Densidad aparente entre 2,6 y 2,85 g/cm<sup>3</sup>
- b) Densidad real de 2,7 a 2,9 g/cm<sup>3</sup>
- c) Dureza 3 en la escala de Mohs
- d) Resistencia a compresión comprendida entre 40 y 180 MPa (400 y 1800 kg/cm<sup>2</sup>)

#### **4.2.3. Oxidaciones del Mármol**

Constituyen unos de los mayores problemas que afecta a la calidad de la roca, a la vez que condiciona la explotabilidad o no de la misma. La forma de presentar las oxidaciones en las rocas se ha podido constatar que es muy variada, tanto en su génesis, como en su grado de desarrollo. Proceden en su mayor parte de la inestabilidad de sulfuros metálicos primarios en la roca, que en orden de importancia son: piritita, pirrotina y monosulfuro de  $Fe - Cu$ .

#### **4.3. Metamorfismo y rocas metamórficas**

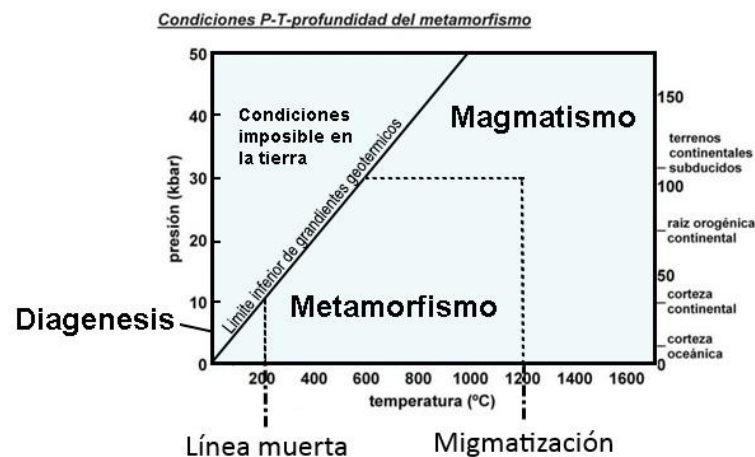
El metamorfismo es la transformación sin cambio de estado de la estructura o composición química o mineral de una roca cuando queda sometida a condiciones de presión o temperatura distintas a las que la originaron o cuando recibe una inyección de fluidos.

El metamorfismo puede producirse en cualquier tipo de roca existente con anterioridad, cuando cambian las condiciones en las que la roca era estable. La presión aumenta cuando la

roca cambia de profundidad, y la temperatura lo hace por proximidad a un magma. Ambos procesos suelen darse conjuntamente, aunque también pueden ocurrir por separado.

Lo más habitual es que las rocas no pierdan ni reciban sustancias químicas, de modo que la mayor parte de los cambios que se producen en el metamorfismo son mineralógicos: la roca en su conjunto está formada por los mismos elementos químicos, pero distribuidos de forma distinta, en minerales diferentes.

El metamorfismo se produce en condiciones intermedias entre la sedimentación y el magmatismo. A poca profundidad no se producen cambios en la estructura de la roca, pero sí la litificación de los sedimentos. El final de la litificación y el principio del metamorfismo se identifican por la aparición de ciertos minerales característicos, concretamente por la aparición de la antracita y la desaparición del petróleo (línea muerta). El límite superior del metamorfismo está marcado por la presencia de rocas mixtas, las migmatitas, algunos de cuyos componentes se han fundido, mientras que otros no lo han hecho.



**Figura 4.1. Condiciones de presión-temperatura para que pueda ocurrir el metamorfismo de una roca**

Tomado de sitio web: (¿Entiendes la Ciencia?, 2018) consultado febrero 2018

#### **4.3.1. Físico-química del metamorfismo**

El fluido más importante es el agua ya que contiene iones en solución. El agua se encuentra en los poros y fracturas y muchos minerales están hidratados (tienen agua asociada

mediante enlaces químicos). Durante el enterramiento profundo la compactación es cada vez mayor de las rocas promueve la expulsión de agua y se originan las reacciones químicas en el entorno. Las rocas hidratadas son deshidratadas por el calentamiento y el agua liberada actúa como un catalizador al promover la migración iónica. En algunos casos, el agua promueve la recristalización de nuevos minerales. (Baamonde, 2006)

Si las condiciones en las que se encuentra el sistema (presión, temperatura) cambian, también cambia la proporción de sus minerales, hasta que se alcanza un nuevo estado de equilibrio, diferente, al estado inicial.

Las rocas y los minerales son también sistemas físico-químicos, aunque algo más complejos que el ejemplo del agua. Las rocas están formadas por uno o varios minerales, caracterizados por su composición y por su estructura. En unas condiciones dadas de presión y temperatura la roca está formada por una proporción determinada de minerales (que se están transformando unos en otros, aunque a una velocidad extremadamente lenta), pero si esas condiciones cambian las proporciones de los minerales que la forman cambiarán hasta que se alcance un nuevo equilibrio, en el que la roca estará formada por una proporción diferente de minerales o por minerales distintos.

Las facies metamórficas representan un grupo de rocas de composición mineral específica originadas bajo diversos grados de metamorfismo sobre rocas de diferente origen. Las facies metamórficas indican un específico tipo de metamorfismo originado sobre una roca determinada, lo cual produce unos minerales característicos que definen a una facies metamórfica dada. Las facies metamórficas están relacionadas con las variaciones de presión y temperatura a las cuales están sujetas las rocas originales durante el metamorfismo. Estas variaciones ocurren durante el metamorfismo regional, de contacto y el relacionado con la tectónica de placas durante la subducción y formación de un arco volcánico, el cual podemos dividir de la siguiente manera.

**Metamorfismo de alta presión y baja temperatura:** Relacionado directamente con la placa oceánica cuando se hunde en la zona de subducción. La facies representativa es la de los esquistos azules.

**Metamorfismo de baja presión y alta temperatura:** Es el metamorfismo asociado a la formación del arco de islas. Facies características de esquistos verdes

**Metamorfismo de alta presión y alta temperatura:** Se produce en las zonas profundas de la subducción asociado con el magma que fluye para formar el arco de islas volcánico. Facies de eclogita (Baamonde, 2006)

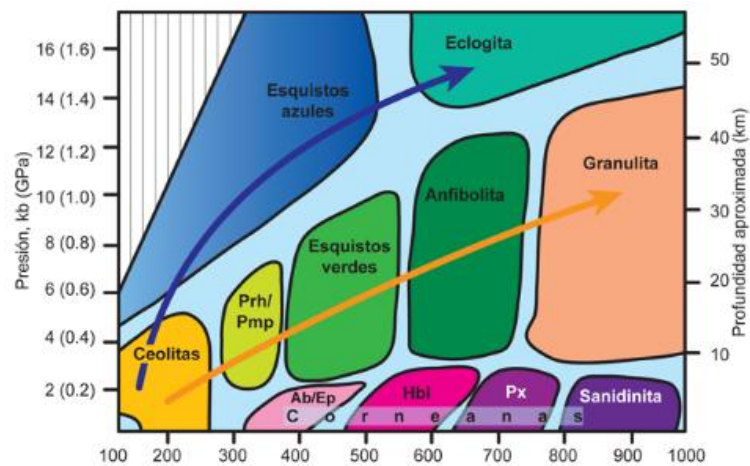


Figura 4.2. Facies Metamorfismo

(Tomado y Modificado de (Miyashiro, 1973))

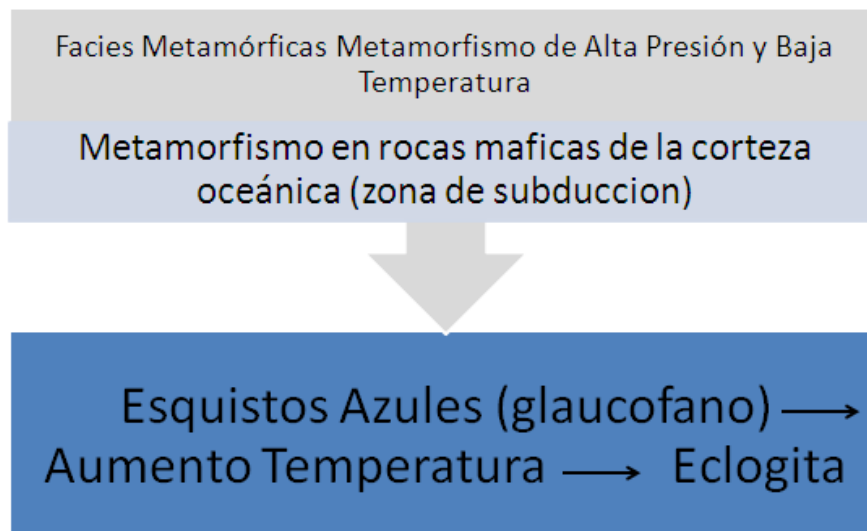
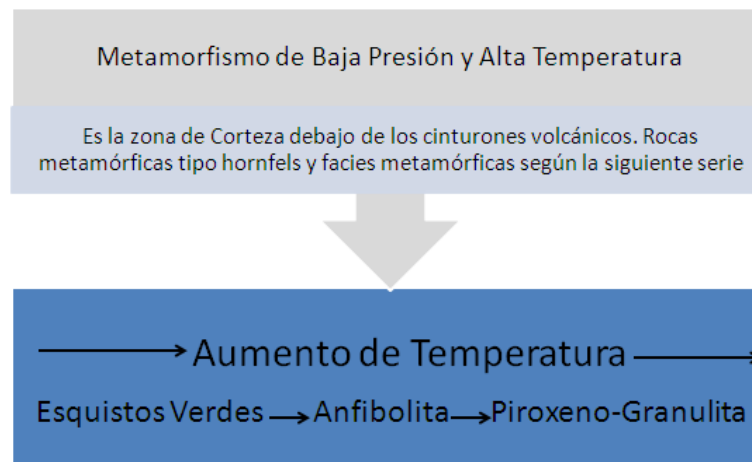


Figura 4.3. Facies metamórficas metamorfismo de alta presión y baja temperatura

(Tomado y Modificado de Baamonde, 2006)



**Figura 4.4. Metamorfismo en zona baja presión y alta temperatura**

(Tomado y Modificado de (Baamonde, 2006)

El calor es el factor metamórfico más importante ya que proporciona la energía que impulsa los cambios químicos que resultan en la recristalización de los minerales. En términos generales la temperatura aumenta con la profundidad. Sin embargo, cerca de la superficie pueden ser sometidas a una gran temperatura y calor cuando son penetradas y modificadas por material fundido (magma) que asciende. Cerca de la superficie o en ella, la diferencia de temperatura entre el magma que asciende y emerge, y la roca huésped que será sujeta a metamorfismo, indica alta temperatura y baja presión.

Las rocas situadas cerca de la superficie pueden ser empujadas lentamente hacia abajo por el peso de los nuevos sedimentos y rocas que se van colocando encima (cuencas sedimentarias profundas). Con el aumento de la profundidad y el gradiente geotérmico serán sometidos a metamorfismo en zonas profundas.

En las zonas de subducción o límites convergentes de las placas, los materiales de la tierra están siendo transportados a grandes profundidades, produciéndose metamorfismo con el aumento de la temperatura y la presión. El aumento del gradiente geotérmico en la corteza superior es de 20 °C a 30 °C por kilómetro de profundidad aumenta a 40 °C en los cinturones orogénicos y a 60 °C en las regiones volcánicas. A unos pocos kilómetros de la superficie las arcillas empiezan a recristalizar en minerales como la mica moscovita. (Baamonde, 2006)

#### 4.3.2. Efectos del metamorfismo sobre las rocas

Los cambios de presión y de temperatura alteran la estructura y la composición de los minerales que constituyen las rocas de varios modos distintos:

**Deshidratación:** el aumento de la presión y de la temperatura provoca la pérdida de agua presente en la roca. En una primera fase se pierde el agua de los poros, y más adelante, si el proceso continúa, se elimina el agua que forma parte de los cristales del mineral.

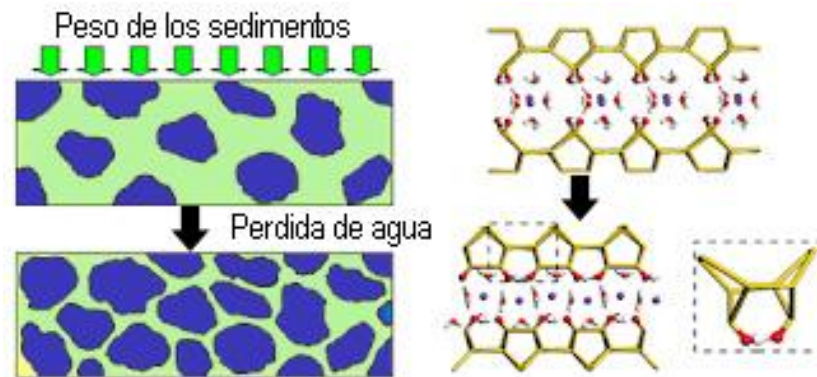
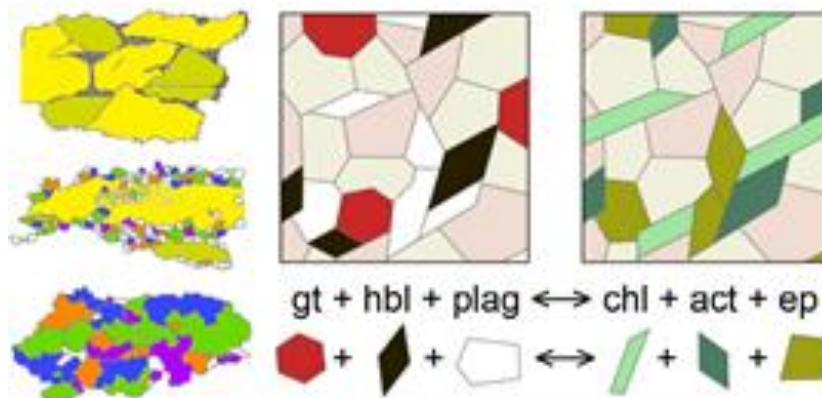


Figura 4.5. Efectos del metamorfismo sobre las rocas tipo Deshidratación

Tomado de sitio web:(¿Entiendes la Ciencia?, 2018) consultado febrero 2018

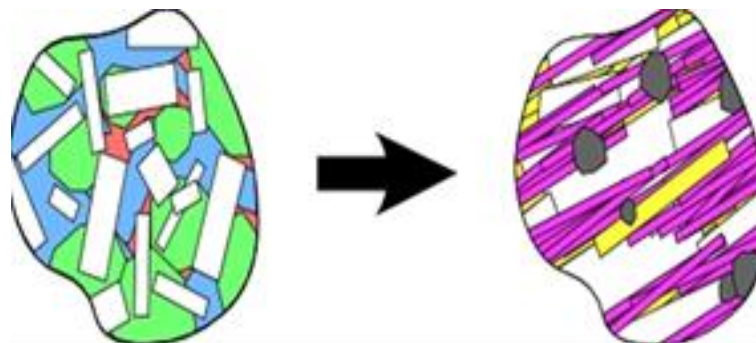
**Recristalización:** el aumento de la temperatura permite el movimiento de las partículas que forman los minerales y hace posible la formación de nuevos cristales. También se produce recristalización como consecuencia de reacciones químicas que transforman unos minerales en otros.



**Figura 4.6. Efectos del metamorfismo sobre las rocas tipo Recristalización** gt=granate, hbl=hornblenda, plag=plagioclasa, chl=clorita, act=actinolita y ep=epidoto

Tomado de sitio web:(¿Entiendes la Ciencia?, 2018) consultado febrero 2018).

**Reorientación:** la presión dirigida que se ejerce durante el metamorfismo provoca que los cristales se orienten perpendicularmente a la dirección de la fuerza que soportan.



**Figura 4.7. Efectos del metamorfismo sobre las rocas tipo Reorientación**

Tomado de sitio web:(¿Entiendes la Ciencia?, 2018) consultado febrero 2018

### 4.3.3. Tipos de metamorfismo

Los tipos de metamorfismo más importante son metamorfismo regional (figura 3.12) y de metamorfismo de contacto. Las rocas del primer tipo de metamorfismo se forman en áreas orogénicas amplias, a lo largo de cientos de km, soliendo presentar foliaciones e importantes deformaciones. Las del segundo tipo se forman en torno a los contactos entre cuerpos magmáticos intrusivos y las rocas encajantes, en respuesta al incremento de temperatura que sufren las rocas adyacentes al ponerse en contacto con los cuerpos ígneos. Este tipo de rocas no sufre esfuerzos dirigidos especialmente intensos durante la blastesis mineral, por lo

que suelen ser rocas no foliadas (exclusivamente blásticas). Existen, no obstante, otros tipos de metamorfismo, tal como el metamorfismo local, el cual se explica de manera detallada en la figura 2.11.



Figura 4.8. Clasificación Metamorfismo de Regional (modificado de Robertson, 1999)

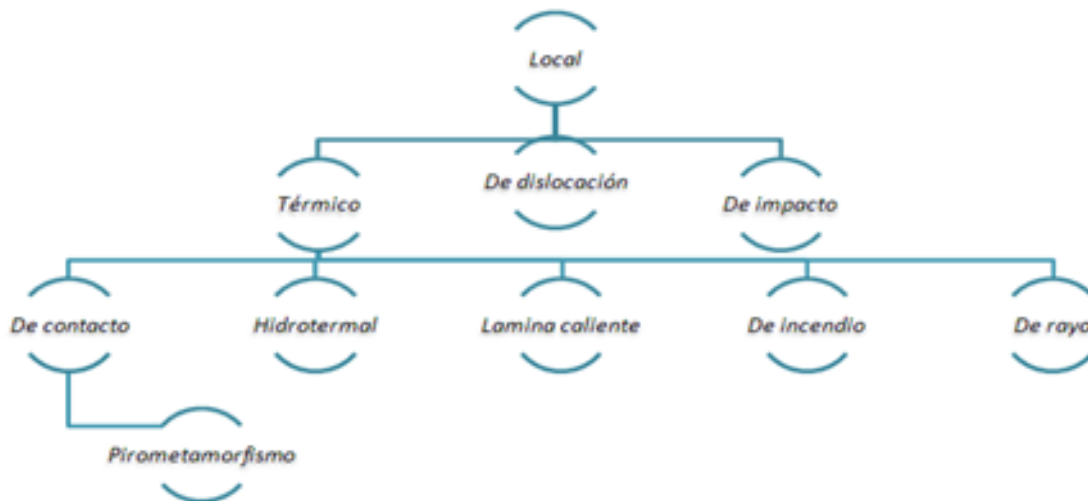


Figura 4.9. Clasificación Metamorfismo de Local (modificado de Robertson, 1999)

#### 4.4. Rocas Metamórficas

Los procesos de transformación mineral que se producen en las rocas metamórficas se denominan blastesis. En general, la blastesis provoca la desaparición de la textura original de la roca y la aparición de una textura específica, característica del metamorfismo, que recibe el nombre de textura cristalográfica. Las rocas metamórficas pueden presentar cuatro tipos diferentes de texturas cristalográficas, o diferentes combinaciones de esas texturas.

- **Textura granoblástica:** consiste en que la roca está formada por minerales cuyos cristales son de tamaño parecido en todas las direcciones, con tendencia a adquirir forma hexagonal.



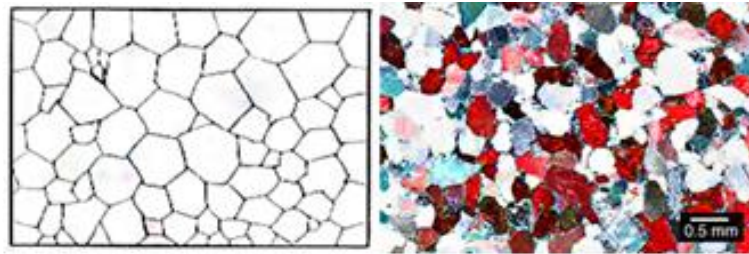


Figura 4.10. Rocas Metamórficas Textura granoblástica (Gómez Marcano, 2006)

- **Textura lepidoblástica:** se caracteriza por minerales con cristales alargados, orientados paralelamente entre sí.

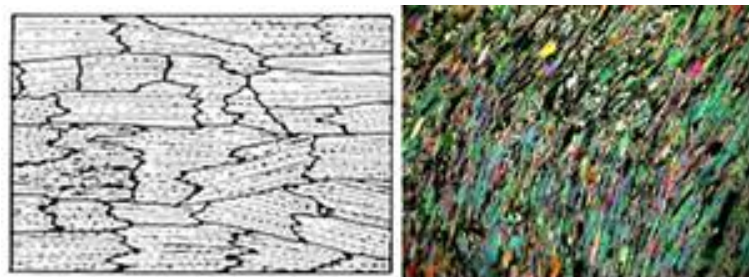


Figura 4.11. Rocas Metamórficas Textura lepidoblástica (Gomez Marcano, 2006)

- **Textura nematoblástica:** consiste en que los minerales tienen forma de aguja y adoptan una disposición orientada, situándose en paralelo.

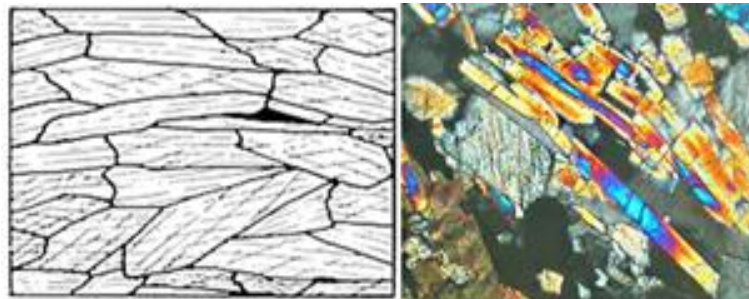


Figura 4.12. Rocas Metamórficas Textura nematoblástica (Gomez Marcano, 2006)

- **Textura porfidoblástica:** consta de una matriz formada por minerales de pequeño tamaño entre los que aparecen otros de tamaño mucho mayor, los pórfidos.

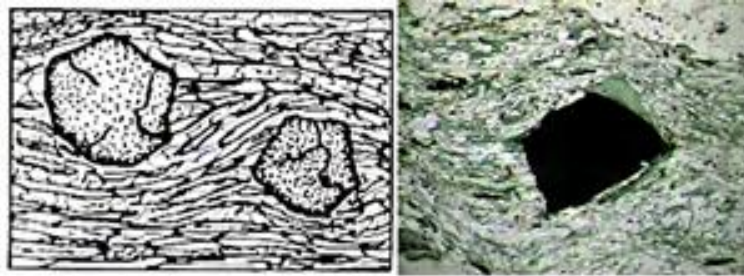


Figura 4.13. Rocas Metamórficas Textura porfidoblástica (Gomez Marcano, 2006)

#### 4.5. Vistosidad o calidad ornamental

Este criterio se basa en las tendencias del mercado en cada momento, si bien siempre tienen buena aceptación las rocas claras, lo que condiciona la calidad ornamental es, evidentemente, el color y el tamaño (Herrero, 1999).

#### 4.6. Homogeneidad del yacimiento

Se refiere a los cambios litológicos, variaciones de color, presencia y distribución de cristales, existencia de, en los paquetes de roca natural.

#### 4.7. Medidas de foliación y tectónicas

Se trata de determinar la orientación y el tipo de estructuras, son las que marcan las direcciones de corte del bloque extraído en la cantera. Estas orientaciones, cuando existen, son denominadas por las canteras como "ley" o "hilo" de la "piedra".

#### 4.8. Presencia de oxidaciones

Se refiere a la existencia de minerales alterables (como pirita etc.), que puedan dar lugar a manchas en la roca ornamental.

#### 4.9. Estudio del fracturamiento

El fracturamiento del yacimiento es uno de los factores condicionantes más importantes de la explotación del mismo, la densidad y espaciado, del diaclasado va a depender de que se pueda extraer o no los bloques de tamaño comercial. El primer aspecto que interesa conocer es la distribución espacial del sistema de diaclasado y su relación geométrica. Esto se puede

determinar mediante la representación en estereogramas de los distintos datos de dirección y buzamiento de las diaclasas medidas en el campo. La continuidad o desarrollo de las diaclasas, tanto en superficie como en profundidad, nos permite realizar la clasificación de las mismas en relación con las dimensiones y, por lo tanto, determina su grado de incidencia en el tamaño de bloque extraíble. La elección de estos intervalos viene condicionada por el tamaño de bloque comercial mínimo que se extrae en las grandes canteras de mármol.

Existen tres tipos fundamentales de diaclasas las cuales son: menores, mayores y principales, los espaciados entre las diaclasas de una misma familia constituyen el principal factor condicionante del tamaño del bloque natural.

**Tabla 4.1. Clasificación de las diaclasas según su densidad (González de Vallejo, 2004)**

Tipo de Diaclasa	Densidad	Número de diaclasas (m)
<b>Menores</b>	Muy Baja	< 1
	Baja	1 - 3
<b>Mayores</b>	Media	3 - 10
	Alta	10 – 20
<b>Principales</b>	Muy Alta	> 20

#### **4.9.1. Calidad de la roca**

El estudio de la calidad de la roca es necesario abordarlo a partir de los análisis en tres factores principales:

#### **4.9.2. Alterabilidad de la roca**

Pasa a determinarse a partir del deterioro actual que presenta y la meteorización potencial de la misma. El deterioro actual se calcula basándose en el estudio microscópico de la roca, en la que la alteración mineralógica y física (destrucción de los granos por microfracturas) se evalúa en cinco categorías. No se puede concebir el deterioro actual de la roca sin estudiar las oxidaciones que presenta. La alterabilidad de una roca depende, además del deterioro actual que presenta, de la meteorización potencial. La determinación de la meteorización

potencial hace referencia a la alteración provocada por agentes extremos a las rocas, que da lugar a la movilidad relativa de los elementos químicos primarios presentes en las mismas. Para el control de este factor es necesario realizar análisis químicos.

#### **4.9.3. Calidad mecánica de las rocas**

Se procede a diversos ensayos tecnológicos. Dichos ensayos son: estudios petrográficos, absorción, peso específico, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia a los cambios térmicos y resistencia al impacto. Estos ensayos permiten determinar los usos preferentes a los que pueden ser destinadas las rocas, de acuerdo a los valores mínimos aceptable en las normativas vigentes de la construcción.

#### **4.10. Fluorescencia de Rayos X**

La fluorescencia de rayos X (XRF) es una técnica analítica que se puede utilizar para determinar la composición química de una amplia variedad de tipos de muestras, entre los que se encuentran sólidos, líquidos, lodos y polvos sueltos. La fluorescencia de rayos X también se utiliza para determinar el espesor y la composición de capas y recubrimientos. Esta puede analizar elementos desde berilio (Be) hasta uranio (U) en gamas de concentración de un 100 %p a niveles sub-ppm.

La XRF es una técnica consistente que combina alta precisión y exactitud con preparación fácil y rápida de muestras. Se puede automatizar fácilmente para su uso en entornos industriales de alto rendimiento; además, la XRF proporciona información cualitativa y cuantitativa de una muestra. La combinación sencilla de esta información cualitativa y cuantitativa también permite un análisis de detección rápido (semicuantitativo).

#### **4.11. Resistencia a la Compresión Simple**

El valor de resistencia a compresión simple debe conocerse siempre que la roca tenga que soportar cargas elevadas tanto en su propia utilización como durante el transporte y almacenamiento. En términos generales, las rocas empapadas en agua resisten menos que

cuando estas secas, y que las rocas estratificadas resisten más cuando el esfuerzo se ejerce en dirección normal a la estratificación que cuando se ejerce paralelamente.

#### **4.12. Resistencia a Flexión**

Éste tipo de ensayos se hace a pizarras de techar y en algunos casos en mármoles y granitos cortados en placas, como por ejemplo en dinteles de huecos y peldaños de escaleras. Particular relevancia en el caso de revestimiento exterior de rascacielos por los empujes a que son sometidas las placas por la acción del viento. Si un elemento constructivo tiene que trabajar a flexión se producirán tracciones en algunas de sus partes. Por consiguiente, si los esfuerzos que ha de soportar una placa son elevados los apoyos están muy separados habrá que dotarla de un canto o espesor grande.

#### **4.13. Resistencia al Choque**

El valor de la resistencia al choque es importante para una roca que vaya a ser empleada en solados, peldaños de escaleras, en encimeras o mostradores, aunque la rotura de las placas se suele producir generalmente en zonas próximas a las aristas o vértices, por problemas de asentamiento que ponen en evidencia un esfuerzo de flexión u otro efecto de rotura, más que un impacto producido por la caída de objeto.

#### **4.14. Resistencia al Desgaste**

Una roca que sea más resistente al desgaste por abrasión será más apropiada para ser empleada en pavimentos que vayan a estar sometidos a tráfico intenso; por el contrario, sus costes de transformación elaboración y pulimento serán mayores.

#### **4.15. Resistencia a los Cambios Térmicos**

El resultado que se obtiene del ensayo de resistencia a los cambios térmicos se utiliza para predecir el comportamiento de un material pétreo frente a la acción de los agentes atmosféricos, de ahí su importancia para materiales que vayan a ser utilizados a la intemperie. El ensayo se realiza, sometiendo a la roca a ciclos repetitivo de secado en estufa

e inmersión en agua, por lo que la denominación de resistencia a los cambios térmicos tal vez resulte inadecuada y sea más apropiada llamarla resistencia a los cambios de humedad.

#### **4.16. Resistencia a las Heladas**

Esta característica no se debe pasar por alto a al momento de emplear una roca en áreas de clima húmedo y frío, en obras de pavimentos o de revestimientos de exteriores.

#### **4.17. Abrasividad**

Este ensayo mide el desgaste en un cono de acero causado rasguñando una superficie rocosa recién rota, para estimar el desgaste de los equipos, y tomar las previsiones de reemplazo de piezas desgaste, además de estimar los costos asociados por el uso de los equipos.

## CAPITULO V

### 5. Procedimiento Experimental

#### 5.1. Muestreo

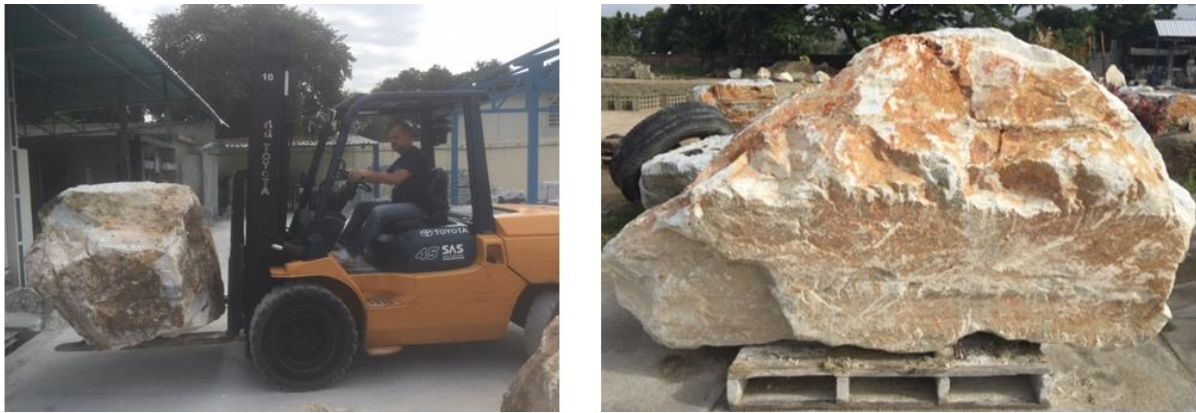
- Se realizó la toma de muestras a partir de la selección de bloques que no estuvieran afectados por las voladuras cuidando las imperfecciones físicas y químicas (diaclasas y oxidación) que el mismo tuviese, este fue seleccionado por color y posteriormente se cargó con una excavadora CAT330 en un camión y fue trasladado a una planta de procesamiento.



**Figura 5.1. Carga de Muestras para la Planta de Procesamiento.**

Al llegar a la planta estos bloques se bajaron con un monta-carga y fueron colocados en una paleta de madera para evitar ser maltratado.





**Figura 5.2. Montaje de Bloque en Paleta de Madera**

- Al estar en la paleta de madera es trasladado a la Talla bloques Modelo FS350 para posteriormente cortar las tiras con un disco de 550 mm adiamantado para luego ser llevado al laboratorio, estas se cortarán en dos sentidos uno perpendicular a la estratificación y otro corte paralelo.



**Figura 5.3. Montaje de Bloques en el equipo de corte**



De acuerdo a los ensayos a realizar los bloques se cortaron con las siguientes dimensiones bajo las normas UNE. Tabla 5.1

**Tabla 5.1. Dimensiones según normas UNE**

<b>Cantidad</b>	<b>Dimensiones (mm)</b>	<b>Nombre de Ensayos</b>	<b>Norma</b>
3	70x70x70	Peso Unitario	UNE 22 182
3	70x70x70	Absorción	UNE 22 182
3	NE	Porosidad	UNE 22 182
12	70x70x70	Compresión Simple	UNE 22 185
3	70x70x70	Resistencia las Heladas	UNE 22-184
4	70x70x70	Modulo Elasticidad	UNE 22 187
4	70x70x70	Abrasividad (Cerchar)	ISRM
6	90x30x30	Resistencia la Flexión	UNE 22 186
5	300x25x40	Resistencia a los cambios térmicos	UNE 22-184
4	200x200x30	Resistencia al Choque	UNE 22-189
1	75x150x22	Loseta Pulida	



Figura 5.4. Corte de Bloques

## 5.2. Procedimientos de determinación de la calidad de las rocas a través de los estudios geomecánicos

### 5.2.1. Peso específico aparente y coeficiente de absorción de agua

Estas dos determinaciones se obtienen a partir de un mismo ensayo y entre ambas existe una relación inversa. Para un mismo tipo de roca, cuanto mayor sea el peso específico aparente, menor es la porosidad y menor será el coeficiente de absorción de agua. El peso específico aparente es necesario para el cálculo de peso propio de los elementos que constituyen la obra.

El coeficiente de absorción de agua es de suma importancia cuando los materiales van a estar colocados a la intemperie, en contacto con agua o con la humedad del suelo (\* Son las óptimas Y recomendadas para ser utilizadas en la construcción y ornamentación). (Tabla 5.2).

**Tabla 5.2. Clasificación de la roca de acuerdo a su porcentaje de absorción  
(Deere y Miller, 1963)**

Clasificación	% de Absorción
Muy Alta	70-100
Alta	50-70
Media	30-50*
Baja	10-30*
Muy Baja	0-10*
(* Son las óptimas y recomendadas para ser utilizadas en la construcción y ornamentación)	

**5.2.1.1. El procedimiento para obtener el peso específico aparente de una roca es el siguiente:**

1. Las muestras de roca fresca son cortadas en forma cubica dentro de un rango de medidas (7x7x7) cm<sup>3</sup>. (UNE 22-172-85).

$$V = A \times e \tag{1.1}$$

donde:

$V$  = Volumen del cubo (cm<sup>3</sup>)

$A$  = área (cm<sup>2</sup>)

$e$  = espesor (cm)

A partir del volumen y el peso del cubo, se calcula la densidad de la roca. (ecuación (1.2)).

$$\gamma = \frac{m}{V} \tag{1.2}$$

donde:

$\gamma$  = densidad (g/cm<sup>3</sup>)

$m$  = masa (g)

$V$  = volumen (cm<sup>3</sup>)

### 5.2.1.2. Coeficiente de absorción de agua

Para la obtención del porcentaje de **absorción** de agua de una roca, se aplicaron los siguientes pasos:

1. Una muestra de mano, fresca y representativa: se somete a un proceso de secado durante 24 horas en un horno a temperatura constante de 140°C.
2. Al enfriarse la muestra, se procede a pesarla en una balanza  $W_{seco}$
3. Esta muestra se sumerge en agua durante 48 horas.
4. Por último, se pesa la muestra con el agua absorbida  $W_h$  y se calcula el porcentaje de absorción de agua mediante la siguiente ecuación, según la norma UNE 22-174. (ecuación (1.3))

$$\%A = \frac{W_{agua-abs}}{W_{seco}} \times 100\% \quad (1.3)$$

donde:

$\%A$  = % absorción

$W_{agua-abs}$  = peso del agua absorbida =  $W_h - W_{seco}$  (g)

$W_{seco}$  = peso de la muestra seca (g)

### 5.2.2. Resistencia a la Compresión Simple

Para aplicar el ensayo de resistencia a la compresión a una muestra de roca, se procede de la siguiente manera:

1. Se corta la roca en forma cúbica con las dimensiones de (5x5x5) cm aproximadamente o (7x7x7) cm como se utilizó en este trabajo.
2. Se toman las dimensiones de la muestra para obtener el valor del área (cm<sup>2</sup>).

3. Se coloca la muestra de roca cúbica en una prensa hidráulica, según la norma UNE-22-175, y se le aplica una fuerza hasta lograr que estos cubos se fracturen.
4. El equipo registrará de manera continua todos los valores geomecánicos asociados al ensayo
5. Los valores de la resistencia a la compresión se calculan mediante la (Ecuación (1.4)).

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (1.4)$$

donde:

$\sigma_c$  = Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

$F$  = fuerza (kg).

$A$  = área (cm<sup>2</sup>)

**Tabla 5.3. Clasificación de la roca de acuerdo a su resistencia a la compresión simple  
(Deere y Miller, 1963)**

Resistencia	$\sigma_{Compresion}$ (MPa)
Resistencia muy alta	> 220
Resistencia alta	110 - 220
Resistencia media	55 - 110
Resistencia baja	28 - 55
Resistencia muy baja	0 - 27

### 5.2.3. Resistencia a la Flexión

El procedimiento para obtener el coeficiente de resistencia a la flexión de una roca, es el siguiente:

1. Se procede a cortar las muestras en forma de paralelepípedo, con características definidas de peso y dimensiones (12 x 4 x 2) cm, aproximadamente.
2. Se miden las dimensiones de la muestra (altura, longitud, ancho).
3. La muestra es colocada sobre dos rodillos y se carga progresivamente, aplicándole la fuerza necesaria hasta romperla.

4. Obtenidos estos valores se procede a determinar la resistencia a la flexión, de acuerdo a la norma UNE-EN 12372 por medio de la (Ecuación (1.5)).

$$\sigma_{flexión} = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (1.5)$$

donde:

$F$  = fuerza (kg)

$L$  = longitud (cm)

$b$  = base (cm)

$d$  = ancho (cm)

**Tabla 5.4. Clasificación de la roca de acuerdo a su resistencia a la flexión  
(Deere y Miller, 1963)**

Resistencia	$\sigma_{flexión}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia muy alta	- 600
Resistencia alta	400 - 600
Resistencia media	250 - 400
Resistencia baja	140 - 250
Resistencia muy baja	30 - 140

#### 5.2.4. Resistencia a las Heladas

Esta característica no se debe pasar por alto a la hora de emplear una roca en áreas de climas húmedos y fríos, en obras de pavimentos o revestimientos de exteriores.

El ensayo se realiza sobre al menos tres probetas de 70x70x70 mm de arista previamente secadas en estufa a 110° C. Se sumergen en agua durante 48 horas y posteriormente se someten a 25 ciclos de hielo y deshielo, con sucesivas permanencias de 20 horas a -15° C y 4 horas a 15-20° C.

Por último, se pesan en seco y se ve el porcentaje en peso perdido, que es el módulo de helacidad.

### **5.2.5. Resistencia a los Cambios Térmicos**

Se utiliza para predecir el comportamiento de una roca en relación a la acción de los agentes atmosféricos, de ahí su importancia para materiales que vayan a ser utilizados en la intemperie. De las 5 placas rectangulares o cuadradas que se utilizan, una se mantiene inalterada. Las otras cuatro, una vez secadas por calentamiento a 105º C hasta peso constante, se someten a 25 ciclos de calentamiento en estufa a 105º C durante 20 horas e inmersión en agua a 20º C durante 4 horas, determinando posteriormente los pesos en seco. Se observa la pérdida porcentual de peso y las posibles alteraciones superficiales. Es determinante para el granito, y con él se puede observar la facilidad de éste para oxidarse con la aparición de manchas de color parduzco, con cuyo caso el granito pierde gran parte, sino todo su interés comercial. (UNE 22-197-85).

### **5.2.6. Resistencia al Choque**

El valor de la resistencia al choque es importante para una roca que vaya a ser empleado en peldaños de escaleras, encimeras o mostradores, aunque la rotura de las placas suele producirse en zonas próximas a las aristas y vértices, por problemas de asentamiento que ponen en evidencia un esfuerzo de flexión u otro efecto de rotura. Se ve la resistencia a la rotura de una muestra sometida al efecto de la caída de una esfera metálica desde distintas alturas. Realizando el ensayo en 4 placas de 200x200x30 mm, sobre lecho de arena, dejando caer sobre cada una ellas una bola de acero de 1 kg desde altura creciente en 5 cm. Hasta que se logre la rotura de la placa. El resultado es la media aritmética de la resistencia en las 4 muestras medida en cm. (UNE 22-189 en mármoles) (Figura 5.4).



**Figura 5.4. Ensayo Resistencia al Choque**

### **5.2.7. Resistencia Abrasividad Cerchar**

Permite conocer directamente la dureza y abrasividad de las rocas. A partir de la caracterización mediante lámina delgada del porcentaje de cuarzo de la muestra y otros minerales abrasivos, junto con el tamaño de grano y su resistencia a la tracción, obtenemos el índice Schimazek, de gran importancia para valorar el desgaste.

La determinación en el laboratorio de la abrasividad de la Roca usando el método Cerchar (ASTM D7625-15): el índice de abrasividad cerchar (CAI) se utiliza principalmente para evaluar la abrasividad de las rocas en excavaciones mecánicas. Consiste en medir el desgaste de una punta de acero con una dureza Rockwell determinada y forma cónica, tras hacerla pasar lentamente con un ángulo de  $90^\circ$  y un peso de 7 kg sobre una superficie de 10 mm de la roca, seis veces.

El índice de abrasividad cerchar (CAI) es el diámetro del plano del desgaste de la punta producida por el rozamiento, expresado en décimas de milímetros, y está comprendido entre 0 y 6; en la figura 5.5 puede verse el desgaste producido Por el ensayo. En la tabla 5.5 se muestra una clasificación de la abrasividad de las rocas en función de este índice.



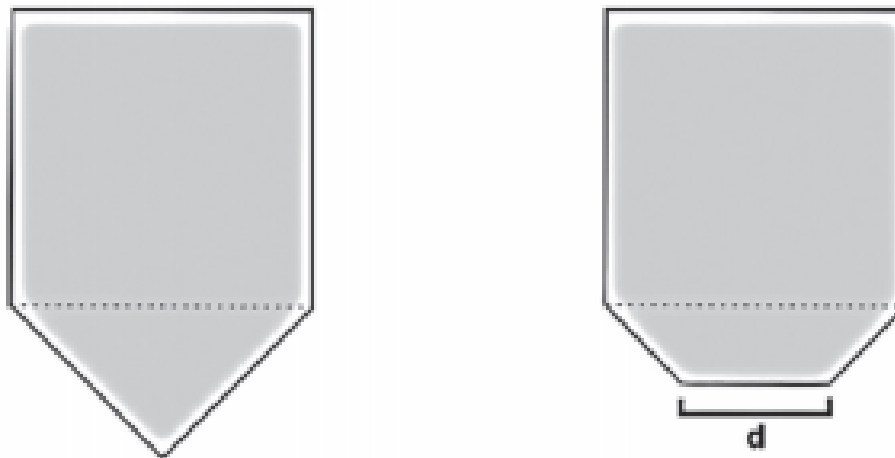


Figura 5.5. Esquema de la punta de acero antes y después del ensayo cerchar.

Tabla 5.5. Clasificación de la abrasividad de las rocas según índices de abrasividad CAI  
(Käsling y Thuro, 2010)

Clasificación	CAI	LAC	Ejemplos
No abrasiva	0,0-0,3	0-50	Material orgánico
No muy abrasiva	0,3-0,5	50-100	Lutita, marga
Ligeramente abrasiva	0,5-1,0	100-250	Pizarra, caliza
Abrasividad media	1,0-2,0	250-500	Esquistos, areniscas
Muy abrasiva	2,0-4,0	500-1250	Basalto, cuarzo-arenita
Extremadamente abrasiva	4,0-6,0	1250-2000	Anfibolita, cuarcita

### 5.2.8. Análisis Petrográfico

El primer paso para realizar el análisis petrográfico es la preparación de la muestra, para ello se cortará una sección de la roca de  $\cong 300 \mu m$  de espesor, la muestra se fijara en un portaobjetos con bálsamo de Canadá, posteriormente se llevara a la devastadora y se le aplicara un abrasivo de 240, hasta llevarlas a un espesor de  $30 \mu m$  (espesor en el cual pueden observarse los minerales presentes en la roca). Las muestras serán identificadas con un marcador con su número de laboratorio, el cual se analizarán dos para los mármoles y dos para los esquistos.

Una vez preparada la muestra se procederá a realizar el análisis petrográfico de acuerdo a la norma (ISRM) de la siguiente manera:

1. Se describirá macroscópicamente la muestra de mano, señalando en primer lugar las características más resaltantes y luego las menos notorias, entre las que se pueden señalar: color homogeneidad, orientación, densidad y fracturas.
2. Se colocará la sección delgada de la roca en el microscopio y se observará con el objetivo de menor aumento y nicoles paralelos, con el objetivo de observar los colores de los minerales y detallar los minerales transparentes, opacos y coloreados, además características como el pleocroísmo, relieve, clivaje, forma, tamaño de los cristales, inclusiones, zonación, fracturas, alteración y el índice de refracción.
3. Se continuará observando la sección delgada en el microscopio con el mismo objetivo, pero con nicoles cruzados, para observar otras características ópticas de los minerales y complementar datos sobre las ya observada, como: anisotropía, birrefringencia, maclado, extinción, signo óptico, recristalización, tamaño de los cristales, estructura, zonación, clivaje, relieve y forma.
4. Una vez conocidas las características de los diferentes minerales, que forman la roca, estos se identificarán con ayuda de bibliografía.
5. Después de identificar todos los minerales se le asignará un porcentaje aproximado y con estos valores y la textura de la roca se procederá a clasificar, usando las diversas tablas de clasificación de roca.
6. Se elaborará el reporte correspondiente con todos los datos observados en el laboratorio.

## CAPITULO VI

### 6. Resultados

#### 6.1. Caracterización Geológica

En la caracterización geológica Inicialmente realizamos levantamiento topográfico con un GPS Geodésico Trimble 5800 con la finalidad de tener una base vectorizada del relieve de la zona en estudio para así poder digitalizar los contactos litológicos, tomar los rumbos y buzamientos y georeferenciar todos estos datos generando un plano con toda la información tomada.

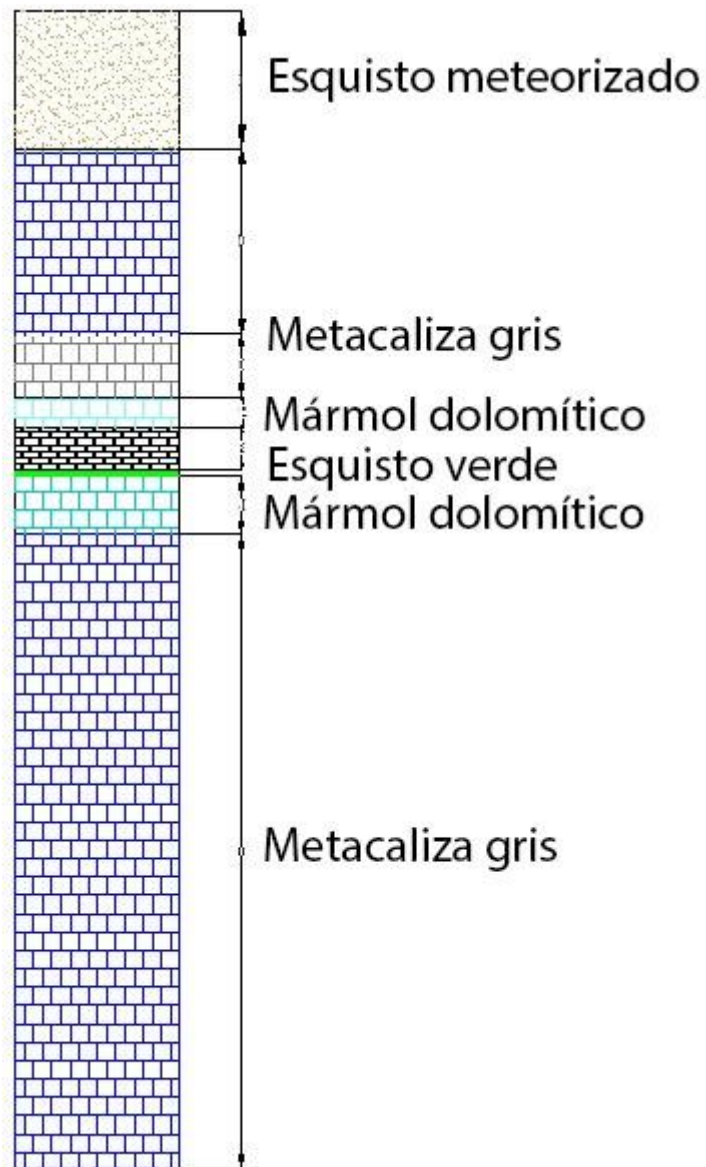


**Figura 6.1. Geo-referencia de GPS Trimble 5800**

Se consideró la toma de rumbos y buzamientos, puntos con el GPS de los paquetes de mármoles y esquistos definiendo contactos litológicos y espesores con la finalidad conocer la geometría y orientación de las rocas del yacimiento a continuación se muestra tabla de levantamiento de data.

**Tabla 6.1. Levantamiento Geológico**

Punto	Este	Norte	Litología	Rumbo	Buzamiento	Azimth	Inclinación	Espesor (m)	Espesor Promedio (m)
1	614793	1155681	Esquisto Rojizo Meteorizado, micaceo el mismo presenta lentes pegmatíticos blanquecinos, moderadamente deleznable.	N63E	55N	333	55	10	10
2	614761	1155656		N60E	54N	330	54	9	
3	614813	1155698		N59E	60N	329	60	9	
4	614768	1155648		N59E	60N	329	60	10	
5	614800	1155674		N59E	60N	329	60	11	
6	614820	1155691		N65E	57N	335	57	10	
7	614893	1155770		N65E	57N	335	57	10	
8	614945	1155829		N65E	57N	335	57	11	
9	615127	1156017		N64E	56N	334	56	10	
10	614769	1155640	Metacaliza Gris Oscuro en el tope presenta lentes de oxidación, bandeada y masiva	N68E	60N	338	60	7	7
11	614816	1155678		N68E	60N	338	60	6	
12	614847	1155709		N60E	60N	330	60	8	
13	614888	1155754		N60E	60N	330	60	7	
14	614939	1155813		N70E	58N	340	58	7	
15	615128	1156008		N70E	58N	340	58	7	
16	614751	1155621	Dolomita Blanca, presenta diaclasas	N62E	63N	332	63	4	4
17	614801	1155661		N62E	63N	332	63	4	
18	614843	1155700		N69E	57N	339	57	3	
19	614889	1155746		N69E	57N	339	57	4	
20	614944	1155807		N69E	57N	339	57	3	
21	615138	1156007		N68E	56N	338	56	3,5	
22	614755	1155624	Esquisto Anfibolitico verdoso deleznable	N69E	57N	339	57	0,6	0,6
23	615142	1156010		N68E	56N	338	56	0,6	
24	614756	1155609	Dolomita Gris Clara masiva compacta	N60E	55N	330	55	12	12
25	614841	1155680		N60E	55N	330	55	11	
26	614887	1155722		N61E	57N	331	57	13	
27	614963	1155799		N61E	57N	331	57	12	
28	615130	1155966		N66E	60N	336	60	12	
29	614829	1155569	Metacaliza Gris Oscuro, bandeada y masiva	N55E	55N	325	55	45	44
30	614925	1155657		N55E	55N	325	55	45	
31	615081	1155831		N57E	58N	327	58	44	
32	615155	1155936		N57E	58N	327	58	43	



**Figura 6.2. Columna Litológica de Yacimiento Cantera Tacarigua C.A**

De acuerdo a los datos obtenidos de rumbos y buzamientos del levantamiento de campo se obtuvieron con el método de las proyecciones hemisfericas los planos preferenciales de los cuerpos mineralizados de mármol (Paquetes) presentes, resultando un planos preferencial de N63E,58N (343,58)

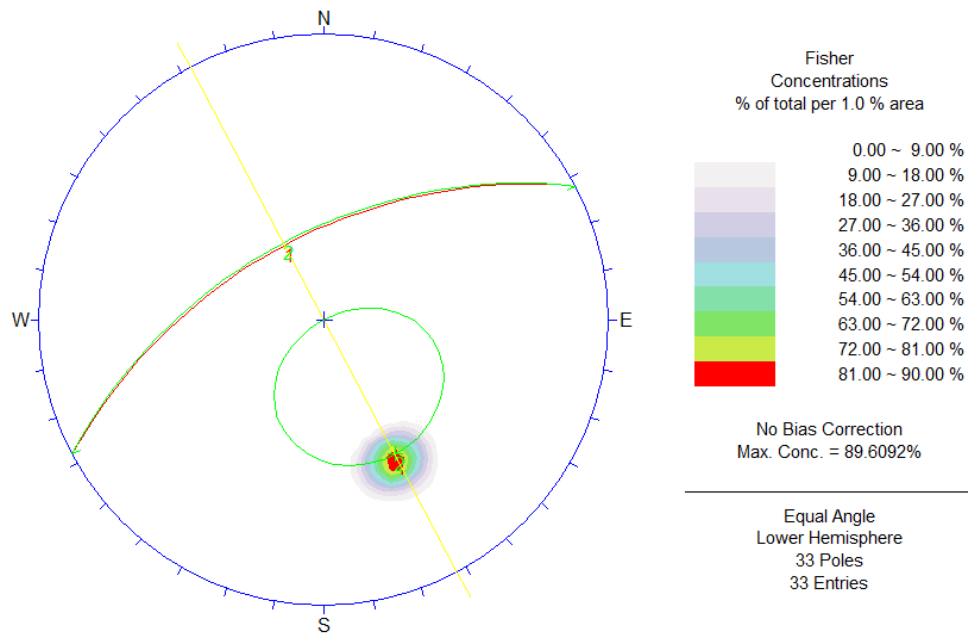


Figura 6.3. Concentración promedio de estadística espacial de orientación de los rumbos y buzamientos.

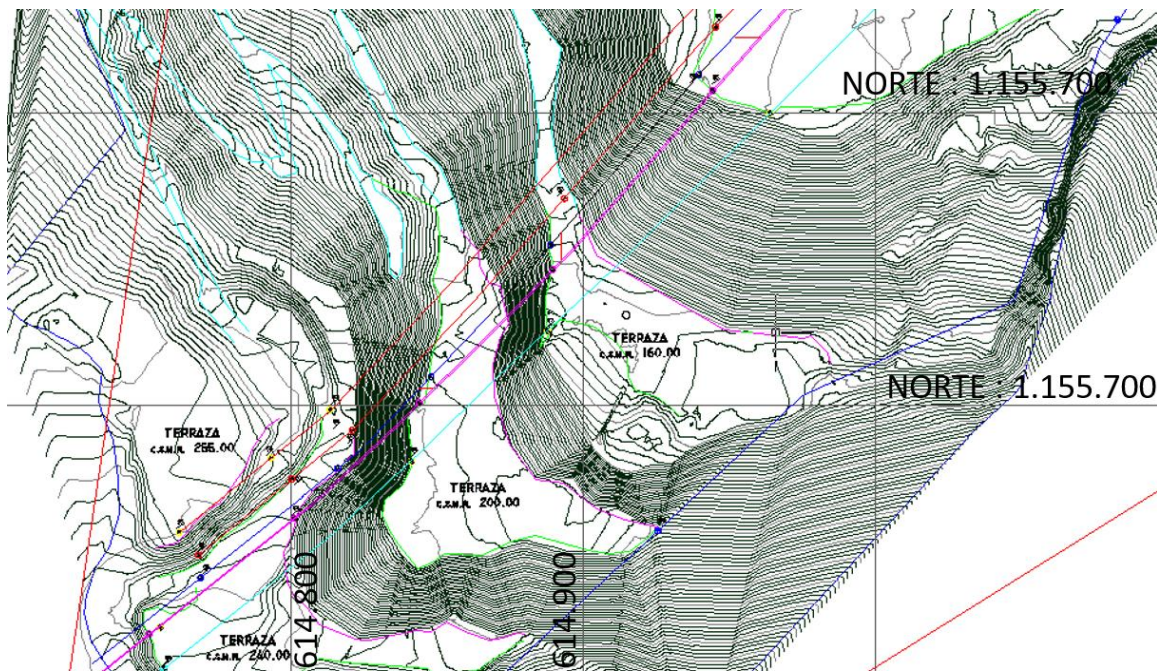


Figura 6.4. Mapa Geológico trazas Levantadas del Yacimiento

## 6.2. Caracterización Geomecánica del Yacimiento

### 6.2.1. Análisis Petrográfico

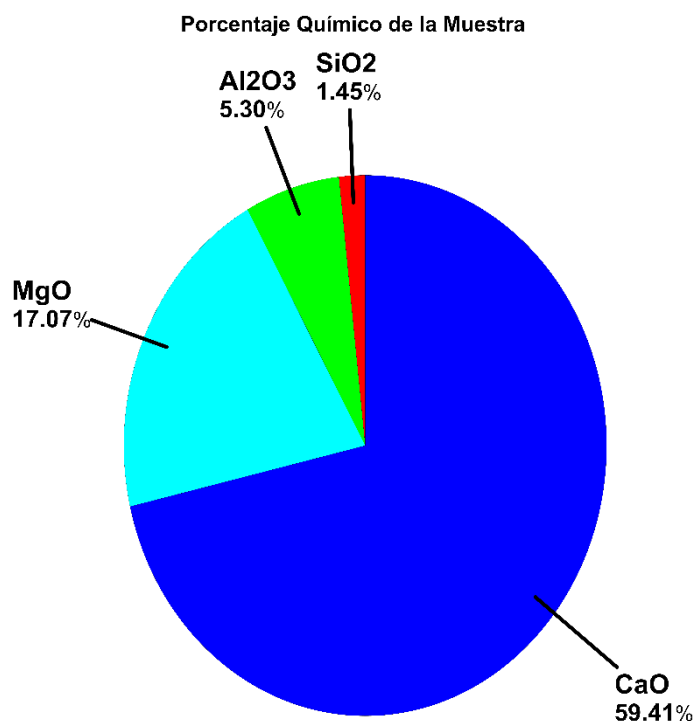
Se analizaron las siguientes muestras 2410; 2429/04-20-27-37-43, La muestra en prácticamente su totalidad se halla caracterizada por la presencia de calcita, con diferentes tamaños. Ocasionalmente se pueden observar minúsculos cristales de filosilicatos (muscovita) y cuarzo y dependiendo de la tonalidad del blanco hacia el gris se pueden diferenciarse hasta tres tipos de minerales: calcita, calcita + grafito y grafito.

### 6.2.2. Fluorescencia de Rayos X

Se presenta el promedio por minerales de las muestras 2429/04-20-27-37-4 De los resultados obtenidos se evidencia que la suma de los minerales *CaO MgO* representan un 76.49% de promedio y este contenido estará asociado a los minerales orgánicos no detectados por la técnica como es el carbono, que es el grafito responsable de las distintas tonalidades de gris presentes las muestras.

**Tabla 6.2. Resultado de Fluorescencia de Rayos X**

Minerales	(%)
<i>CaO</i>	59,41
<i>MgO</i>	17,07
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	5,30
<i>SiO<sub>2</sub></i>	1,45
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0,15
<i>K<sub>2</sub>O</i>	0,27
<i>MnO</i>	0,05
<i>Ti<sub>2</sub>O</i>	0,01
Sub Total	83.56
Orgánicos + <i>CO<sub>2</sub></i>	16,44
<i>CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub></i> (total)	96.41



**Grafico 6.1. Resultado de fluorescencia de rayos X**

De acuerdo al contenido de carbonatos de calcio y carbonatos de magnesio que se obtuvo de la fluorescencia de rayos X para muestra de la unidad de mármol se clasificaron tomando en cuenta el criterio establecido Teodorovich 1958

**Tabla 6.3. Resultados de Carbonato (Magnesio y Calcio)**

<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>CaCO<sub>3</sub></i>	<i>MgCO<sub>3</sub></i>
35,39	17,07	63	37

**Tabla 6.4. Clasificación de Rocas Calcáreas Dolomíticas Teodorovich 1958 (Valores Teóricos Vs Valores Calculados en Laboratorio)**

De los valores obtenidos en por Fluorescencia de Rayos X de CaCO<sub>3</sub> y MgCO<sub>3</sub> (96.37%) representan el 100% de los carbonatos de Ca y Mg presentes, que una vez obtenida la proporción de cada uno de ellos respecto al 100%, obtenemos los valores presentados en la tabla.



Nombre de la Roca	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	Resultado Laboratorio UCV CaCO <sub>3</sub> (%)	Resultado Laboratorio UCV MgCO <sub>3</sub> (%)
Mármol Calcítico	90-100	0-10	<b>63</b>	<b>37</b>
<b>Mármol Calcítico Dolomítico</b>	<b>80-65</b>	<b>20-35</b>		
Mármol Dolomítico Calcítico	20-35	80-65		
Mármol dolomítico	0-10	90-100		

Siendo estos los resultados y de acuerdo a la tabla de clasificación los mármoles es un **Mármol Calcítico Dolomítico**.

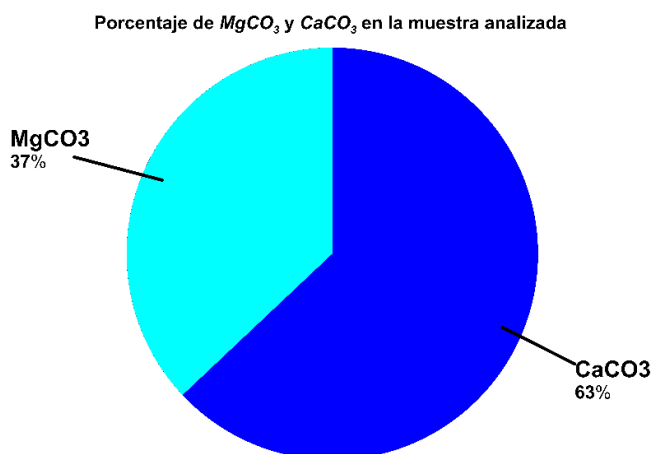


Grafico 6.2 Porcentaje de MgCO<sub>3</sub> y CaCO<sub>3</sub> en la muestra analizada

### 6.2.3. Peso Unitarios y Absorción

#### 6.2.3.1. Peso Unitarios Seco y Húmedo, Porosidad y Humedad.

Se presenta resultados de peso unitario seco y húmedo, porosidad y humedad a continuación y se observa que el peso unitario seco y el húmedo es el mismo debido a que la porosidad y la humedad es baja

Tabla 6.5. Resultados Peso unitario seco y húmedo, porosidad y humedad

Ensayo	Promedio
Humedad %	0.06%
Porosidad %	0.51%
PU Húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	2,37
PU Seco (g/cm <sup>3</sup> )	2,37

### 6.2.3.2. Absorción

Se realizó ensayo y se comparó con tabla de Clasificación de la roca de acuerdo a su porcentaje de absorción (Deere y Miller, 1963). Siendo la roca apta para ser utilizada con fines ornamentales.

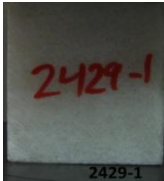
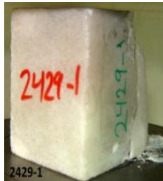
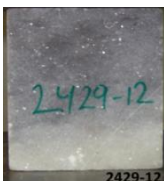

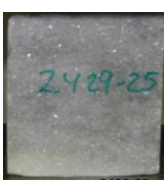
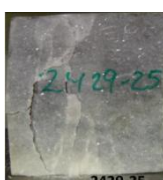
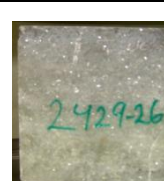
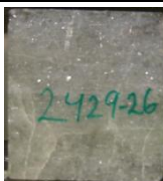
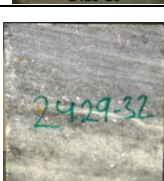
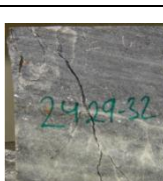
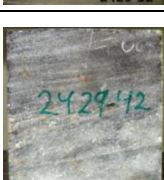
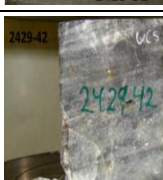
**Tabla 6.7. Clasificación de la roca de acuerdo a su porcentaje de absorción (Deere y Miller, 1963) vs. valores calculados en el Laboratorio de UCV**

Clasificación	Absorción (%)	Resultado Laboratorio UCV (%)
Muy Alta	70-100	0,22
Alta	50-70	
Media	30-50*	
Baja	10-30*	
<b>Muy Baja</b>	<b>0-10*</b>	
(* Son las óptimas y recomendadas para ser utilizadas en la construcción y ornamentación). Deere y Miller, 1963		


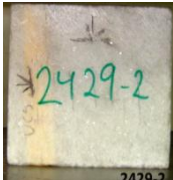

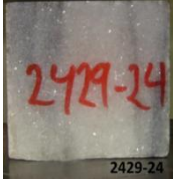

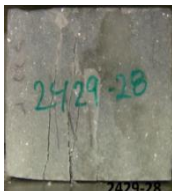

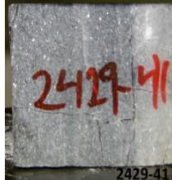
### 6.2.4. Ensayos de Compresión Simple

Se presentan los valores de resistencia a la compresión para cada una de las muestras estudiadas. se analizaron las probetas 2429/01-12-25-26-32-42 el cual fueron ensayadas en sentido perpendicular al plano de estratificación y se analizaron probetas 2429/02-13-24-28-33-41 las cuales fueron sometidas a esfuerzos paralelos al plano de estratificación se observa que la muestra entra en rangos diferentes dependiendo la clasificación por autor, es notable que los valores de los resultados de las muestras ensayadas en sentido paralelo a los planos de estratificación son más resistente que los obtenidos de las muestras ensayadas en sentido perpendicular al plano de estratificación como se muestra en las tablas 6.8 y 6.9

**Tabla 6.8. Resultados resistencia a la compresión sometida a esfuerzos en sentido paralelo a la estratificación**

N°	Muestra	Color	Resistencia a la Compresión (MPa)	Sentido del Esfuerzo ↓	Antes de Ensayar	Muestra Ensayada
1	2429-01	Blanco	41,05	Perpendicular al Plano de Estratificación		
2	2429-12	Gris Claro	57,64	Perpendicular al Plano de Estratificación		
3	2429-25	Gris Oscuro	35,31	Perpendicular al Plano de Estratificación		
4	2429-26	Gris Claro	55,25	Perpendicular al Plano de Estratificación		
5	2429-32	Gris Oscuro	56,56	Perpendicular al Plano de Estratificación		
6	2429-42	Gris Oscuro	38,44	Perpendicular al Plano de Estratificación		

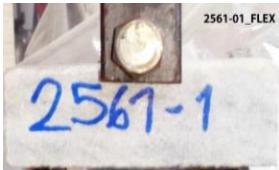



**Tabla 6.9. Resultados resistencia a la compresión sometida a esfuerzos en sentido Perpendicular al plano de estratificación**

N°	Muestra	Color	Resistencia a la Compresión (MPa)	Sentido del Es fuerza 	Antes de Ensayar	Muestra Ensayada
1	2429-02	Blanco	112,43	Paralelo Estratificación		
2	2429-13	Blanco Gris	78,09	Paralelo Estratificación		
3	2429-24	Gris Claro	61,82	Paralelo Estratificación		
4	2429-28	Gris Claro	33,77	Paralelo Estratificación		
5	2429-33	Gris Oscuro	57,38	Paralelo Estratificación		
6	2429-41	Gris Oscuro	63,33	Paralelo Estratificación		

### 6.2.5. Ensayos de Flexión

En la tabla 6.10 se muestran los valores de resistencia a la flexión obtenidos para cada una de las muestras estudiadas. Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión arrojaron que las muestras tienen una resistencia muy baja a la flexión según las normas UNE 22-186 y la clasificación de Deere y Miller, (1963). Esto se debe que el yacimiento no es monolítico presentando planos de estratificación haciendo que la roca tenga plano de debilidad

**Tabla 6.10. Resultados resistencia a la flexión**

Muestras ensayos de flexión norma UNE-22-186							
N°	Muestra	Color	Dimensiones (mm)	Resistencia la Flexión (MPa)	Antes de Ensayar	Muestra Ensayada	Clasificación Deere y Miller, (1963)
1	2561-01	Blanco	90 x 30 x 30	18,42			Resistencia muy baja
2	2561-02	Blanco Gris	90 x 30 x 30	19,05			Resistencia muy baja
3	2561-03	Gris Claro	90 x 30 x 30	17,97			Resistencia muy baja
4	2561-04	Gris Claro	90 x 30 x 30	16,91			Resistencia muy baja
5	2561-06	Gris Claro	90 x 30 x 30	17,24			Resistencia muy baja

### 6.2.6. Resistencia a las Heladas

Se analizaron cuatro muestras con dimensiones 70 x 70 x 70 mm según la norma UNE 22-184 Resistencia a las Heladas para mármoles y calizas ornamentales obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 6.11. Resultados resistencia a las heladas**

Muestra	Dimensiones (mm)	Masa Seca (g)	Masa Saturada Inicial (g)	Masa Saturada Final (g)	Pérdida Masa (%)
2320-08	70 x 70 x 70	884.50	886.70	887.40	0.07888
2429-06	70 x 70 x 70	413.60	413.80	413.90	0.02416
2429-15	70 x 70 x 70	399.30	399.60	399.60	0.00000
2429-36	70 x 70 x 70	409.60	409.70	409.60	-0.02441
<b>Promedio</b>					<b>0.01966</b>

### 6.2.7. Resistencia a los Cambios Térmicos

Se analizaron cuatro muestras con dimensiones 300x25x40 de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-22-184 – Resistencia a las Heladas para mármoles y calizas ornamentales Obteniendo los siguientes resultados.

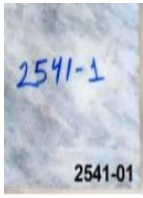



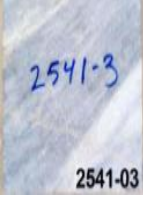

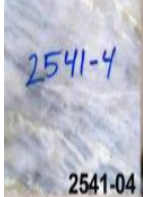



**Tabla 6.12. Resultados resistencia a los Cambios Térmicos**

Muestra	Dimensiones (mm)	Masa Seca inicial (g)	Masa seca final (g)	Pérdida Masa (%)
2320-07	300x25x40	411.10	411.10	-0.07714
2429-16	300x25x40	398	398	0.00000
2429-18	300x25x40	407.30	407.10	0.00000
2429-40	300x25x40	406.70	406.50	-0.04920
<b>Promedio</b>				<b>-0.03509</b>




### 6.2.8. Resistencia al Choque

Se analizaron ocho muestras de los cuales cuatro con dimensiones 150 x 150 x 30 mm y los restantes con dimensiones 120 x 50 x 10 bajo la norma europea UNE 22-189 – Resistencia al choque para mármoles y calizas ornamentales a continuación resultados de los ensayos.

**Tabla 6.13. Resultados Resistencia al Choque**

N°	Muestra	Masa Esfera (gr)	Dimensiones			Altura Rotura (cm)	Antes de Ensayar	Muestra Ensayada
			Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)			
1	2541-01	504.88	150,9	150,7	31,2	110		
2	2541-02	504.89	150,1	149	31,5	160		
3	2541-03	504.89	150,8	150,2	31,2	80		
4	2541-04	504.89	150,4	150	31	110		
5	2542-1	504.89	120	51.3	10,1	15		

**Tabla 6.13. Resultados resistencia al choque (continuación)**

N°	Muestra	Masa Esfera (gr)	Dimensiones			Altura Rotura (cm)	Antes de Ensayar	Muestra Ensayada
			Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)			
6	2542-2	250	120,3	51,1	10,3	15		
7	2542-3	250	120,5	51,3	10,1	15	No Imagen	No Imagen
8	2542-04	250	120,4	51,3	10,2	20		

### 6.2.9. Abrasividad (Cerchar)

En la tabla 6.12 se muestran los valores de porcentaje de abrasión obtenidos para cada una de estudio arrojaron según Clasificación de Abrasividad del espécimen de la norma ISRM 2016 - Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the CERCHAR Abrasivity Test y ASTM D7625 – 10 - Laboratory Determination of Abrasiveness of Rock Using the CERCHAR Method resultados altos, lo que permite considerarlas en el empleo ornamental puesto que muestran alta resistencia.

**Tabla 6.14. Resultados Abrasividad**

N°	Muestra	Dimensiones (mm)	Color	Valor CAI determinado (µm)
1	2410 Cer	70 x 70 x 70	Gris Oscuro	2.30
2	2429-4	70 x 70 x 70	Blanco	2.80
3	2429-20	70 x 70 x 70	Blanco Gris	2.80
4	2429-27	70 x 70 x 70	Gris Claro	2.80
5	2429-37	70 x 70 x 70	Gris Oscuro	3.00
6	2429-43	70 x 70 x 70	Blanco Gris	3.10
<b>Promedio</b>				<b>3.00</b>



### 6.2.10. Módulo de Elasticidad

Se analizaron cuatro muestras bajo la norma UNE 22 187 los resultados fueron los siguientes

Tabla 6.15. Resultados módulo de elasticidad

N°	Muestra	Condición de Descarga		Condiciones de Carga	
		Módulo Tangencial (MPa)	Módulo Secante (MPa)	Módulo Tangencial (MPa)	Módulo Secante (MPa)
1	2429-3	1770	4718	5398,34	3346,09
2	2429-14	2276	-9154,62	6156,15	4042,66
3	2429-29	1699,94	514,28	4724,75	2743,72
4	2429-34	1891,25	2168,08	5210,52	3431,41

### 6.2.11. Acabado del producto final

Para el acabado final se trabajaron cuatro muestras el cual dos fueron para espacato y dos para baldosas, el espacato luego de hacer la tira se coloca en un troquel haciéndole fractura por cizallamiento quedando caras rusticas, para la baldosa se trabaja mediante tratamiento superficial de desbastado se utilizaron piedras tipo prismáticos F16, F80, F200, F300, F400, a continuación, pasos para el pulido:

- Se limpió la superficie con un detergente y un paño suave.
- Se aplicó peróxido de hidrógeno y se le coloca una bolsa plástica dejándolo por 24 y 48 horas.
- Luego de las 24 a 48 horas, retiro el plástico, se vertió un poco de agua sobre el emplasto seco y limpio con un paño suave secando bien el área.
- Se comienza a pasar las piedras prismáticas desde la F16 hasta F400 hasta obtener caras lisas
- Se escogió una pulidora de baja revolución y telas de fieltro se les coloco acido oxálico y se le fue pasando la maquina uniforme en toda la baldosa.

- Se aplica una cantidad pequeña del compuesto de pulido (cera súper brillo) y nuevamente se le pasa la pulidora.
- Se aplica el sellador de mármol esto evita todas las manchas.

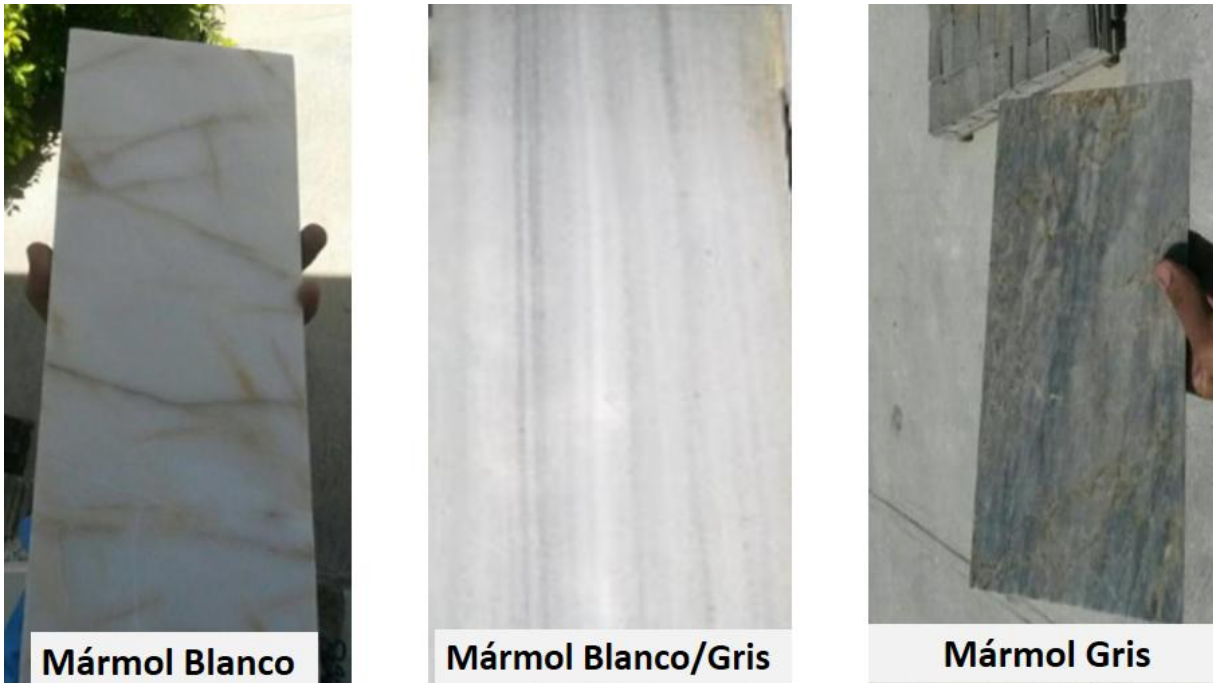


Figura 6.3. Baldosas de mármol pulidas de Canteras Tacarigua, C.A

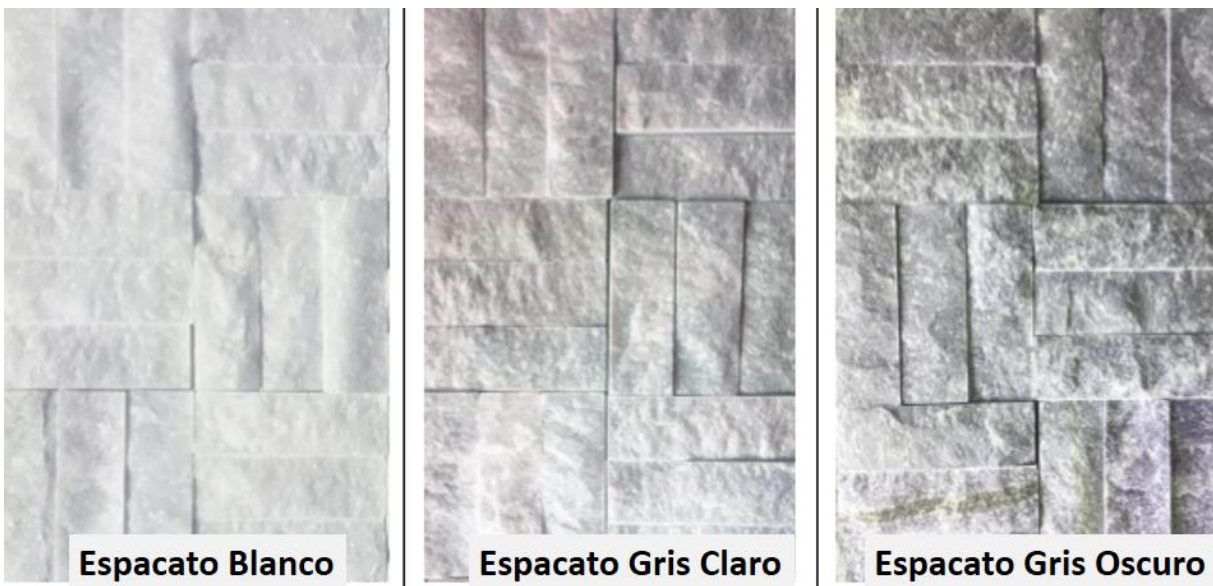


Figura 6.4. Espacato de mármol acabado rustico de Canteras Tacarigua, C.A

### 6.3. Ficha Técnica

Se elaboro ficha técnica de las rocas presentes en el yacimiento, de acuerdo a las normas existentes a nivel nacional e internacional. De acuerdo a los resultados obtenidos se presenta a continuación ficha técnica elaborada para los mármoles de la empresa Canteras Tacarigua, C. A., esta adjunta en anexo 1

### 6.4. Evaluación de los parámetros de Explotación, para la selección de equipos para el procesamiento acorde con el proceso de extracción de la roca ornamental

Para el desarrollo de este objetivo fue necesario realizar una clasificación de macizo rocoso con la finalidad de:

- Calificar de manera cuantitativa la calidad de un macizo rocoso
- Tener un parámetro para efectos de diseño de Cantera y escogencia de método.
- Conocimiento de discontinuidades geológicas en los frentes de explotación para uso de roca de forma ornamental.

El método de clasificación del macizo rocoso que utilizamos fue el diseñado por Bieniawski (1989) se analizaron las terrazas que no se encontraban tan afectadas por los procesos de voladura para así poder considerar la extracción de los bloques en dichos sitios. Los frentes de explotación que se analizaron fueron 4 terrazas sectorizadas.

Los parámetros que se definieron en la clasificación es el denominado índice **RMR** (ROCK MASS RATING), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación del macizo rocoso (R.Q.D.)
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades, el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:
  - Abertura de las caras de la discontinuidad.
  - Continuidad o persistencia de la discontinuidad.

- Rugosidad.
- Alteración de la discontinuidad.
- Relleno de las discontinuidades.
- Presencia del Agua, en un macizo rocoso, el agua tiene gran influencia. Sobre su comportamiento, las descripciones utilizadas para este criterio son: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

A continuación, se muestra tabla base para comparar los datos de campo calculados

**Tabla 6.16. Parámetros tabulados de Clasificación de Macizo Rocosos**

Parámetros		Escala de Valores						
Resistencia de la roca intacta (kg/cm <sup>2</sup> )	Compresión Simple a partir de Martillo Schmidt	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
<b>VALOR</b>		<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
<b>VALOR</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>		
Espaciado de Diaclasas (mm)		> 2000	600 - 2000	200 - 600	60 - 200	< 60		
<b>VALOR</b>		<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
<b>CONDICIÓN DE DIACLASAS</b>	Abertura de Discontinuidades (mm)	0	< 0,1	0,1 - 1	1 - 5	> 5		
	<b>VALOR</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
	Persistencia de Diaclasas (m)	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20		
	<b>VALOR</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
	Rugosidad de Diaclasas	Muy Rugosas	Rugosa	Ligerament e Rugosa	Lisa	Plana (Espejo Falla)		
	<b>VALOR</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
	Relleno de Diaclasas (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5		
	<b>VALOR</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>		
	Alteración de Diaclasas (mm)	Ninguno	Ligerament e Alterada	Moderadam ente Alterada	Muy Alterada	Descompuesta		
<b>VALOR</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>			
Aguas Subterráneas		Totalmente seco	Apenas Húmedo	Húmedo	Goteo	Flujo Continuo		
<b>VALOR</b>		<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>		

### 6.3.1. Resistencia a la compresión simple mediante Martillo Schmidt

Esta se determinó con la utilización de un Método para la determinación de la dureza mediante el Rebote de Schmidt, debido a que el Martillo utilizado en este ensayo es del Tipo M, para concreto, las lecturas obtenidas, deben convertirse al martillo tipo L. La expresión utilizada para esta expresión se muestra a continuación:

$$R L = 1.1141 \times R M + 3.964 \quad (1.6)$$

donde:

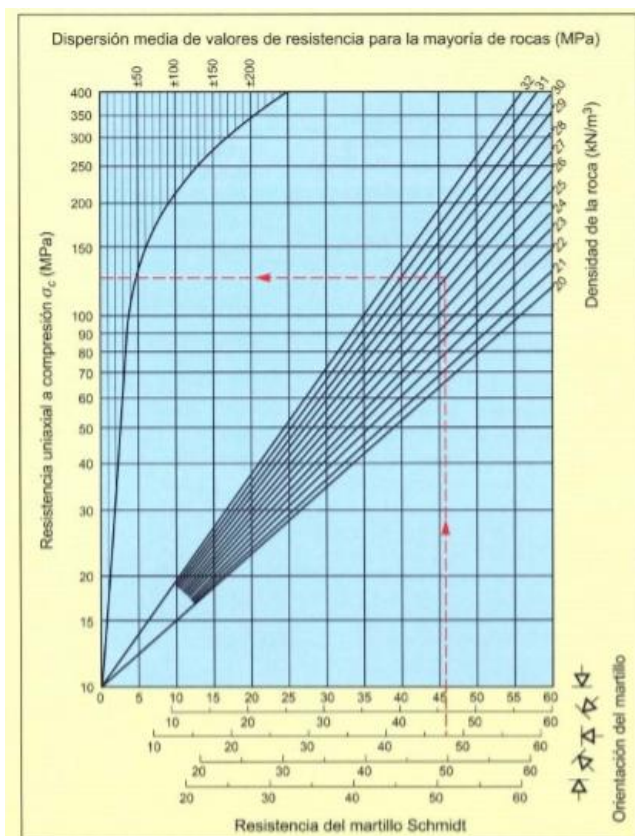
$R L$  : Rebote con el Martillo Tipo L

$R M$  : Rebote con el Martillo Tipo M

**Tabla 6.15. Cálculo de resistencia a la compresión mediante martillo Schmidt**

Número Mediciones	Número de Rebotes (N)		Equivalente Resistencia a la Compresión (MPa)	Promedio Resistencia a la Compresión (MPa)
	Matillo M	Martillo L		
1	30	38	80	95
2	35	44	92	
3	37	46	96	
4	40	50	100	
5	38	47	97	
6	37	46	96	
7	37	46	96	
8	40	50	100	
9	36	45	94	
9	37	46	96	

Con los valores de los números de rebote del martillo obtenidos en las pruebas de campo se estimó la resistencia a la compresión mediante la gráfica de dispersión media de valores de resistencia.



**Grafica 6.3. Gráfica de dispersión media de valores de resistencia.**

Los resultados obtenidos en el ensayo con el martillo Schmidt el promedio de resistencia a compresión es de 95 MPa, lo que indica según la clasificación resistencia de la roca es extremadamente dura y se tiene un puntaje de 15.

**Tabla 6.16. Clasificación Bieniawski 1976 resistencia la compresión**

Índice del Ensayo de Carga Puntual (MPa)	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	Puntaje
≥10	≥250	15
4--10	100--250	12
2--4	50--100	7
1--2	25--50	4
	5--25	2
	1--5	1
	≤1	0

### 6.3.2. Grado de fracturación del macizo rocoso. (R.Q.D.)

En 1964 Deere propuso un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en una recuperación de los núcleos con perforaciones diamante, llamado el índice de calidad de la roca, el cual se identifica como RQD y se define como el porcentaje representado por la sumatoria de longitudes de tramos de núcleo de barrenos de diamante que se recuperan en longitudes enteras mayores o iguales a 100 mm, dividido entre la longitud total barrenada. Matemáticamente:

$$RQD \% = \left( \frac{\text{Longitud de los núcleos mayores de 100 mm}}{\text{Largo del Barreno}} \right) \times 100 \quad (1.7)$$

Se acepta normalmente que el RQD se establece en núcleos de cuando menos de 50 mm de diámetro, recuperando con una perforadora de diamante de doble barril. Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la calidad de la roca desde el punto de ingeniería.

**Tabla 6.17. Clasificación RQD**

RQD	Calidad de la Roca
>25%	Muy Mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
75-90%	Buena
90-100%	Excelente

Cuando no se dispone núcleos de perforación, se pondrá el RQD por un sistema cantidad de juntas en la unidad de volumen, en la que la cantidad de juntas por metro cubico, en cada sistema de junta se suman.

$$RQD = 115 - 3.3J_v, \text{ este si es mayor a } 4,5 \text{ discontinuidades o diaclasas} \quad (1.8)$$

y si es menor a 4,5 el valor de  $RQD = 100\%$

En el estudio realizado, no se contó con perforaciones geológicas adiamantina, por lo que no se hizo con la fórmula de longitudes de núcleos recuperados, se utilizó la fórmula que emplea el número de fisuras por  $m^3$ , aun cuando muchas de las fracturas en las rocas fueron inducidas por efecto de las voladuras. Debido al efecto de las voladuras, realizamos un levantamiento en pequeñas ventanas de  $1 m^2$  Tabla 6.17, estos levantamientos se realizaron en la cara del talud, asumiendo que las fracturas expuestas en dicha cara son continuas a 1 metro de profundidad, en este levantamiento obtuvimos lo siguientes valores:

**Tabla 6.17. Cálculo de RQD en campo**

N°	Bancos	Numero de Diaclasas (m)
1	Banco 160	3
2	Banco 200	2
3	Banco 240	3
4	Banco 260	4
<b>Promedio</b>		<b>3</b>

Como en el levantamiento no se determinó más de  $4,5J_v$  se asume el RQD es de 100% resultado de la puntuación es de 20 clasificándose como excelente

**Banco 160**

Coordenadas del sitio

E-614.889 / N-1.155.746



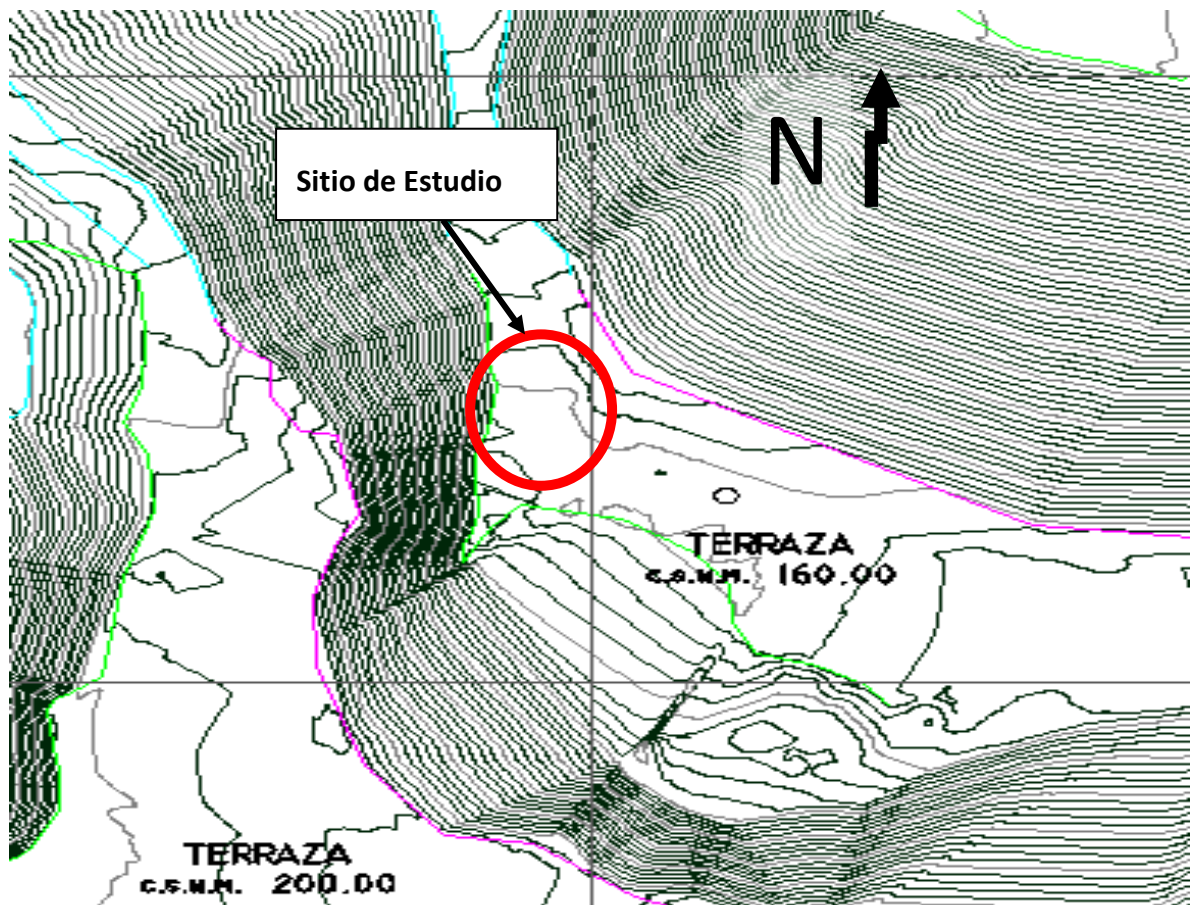
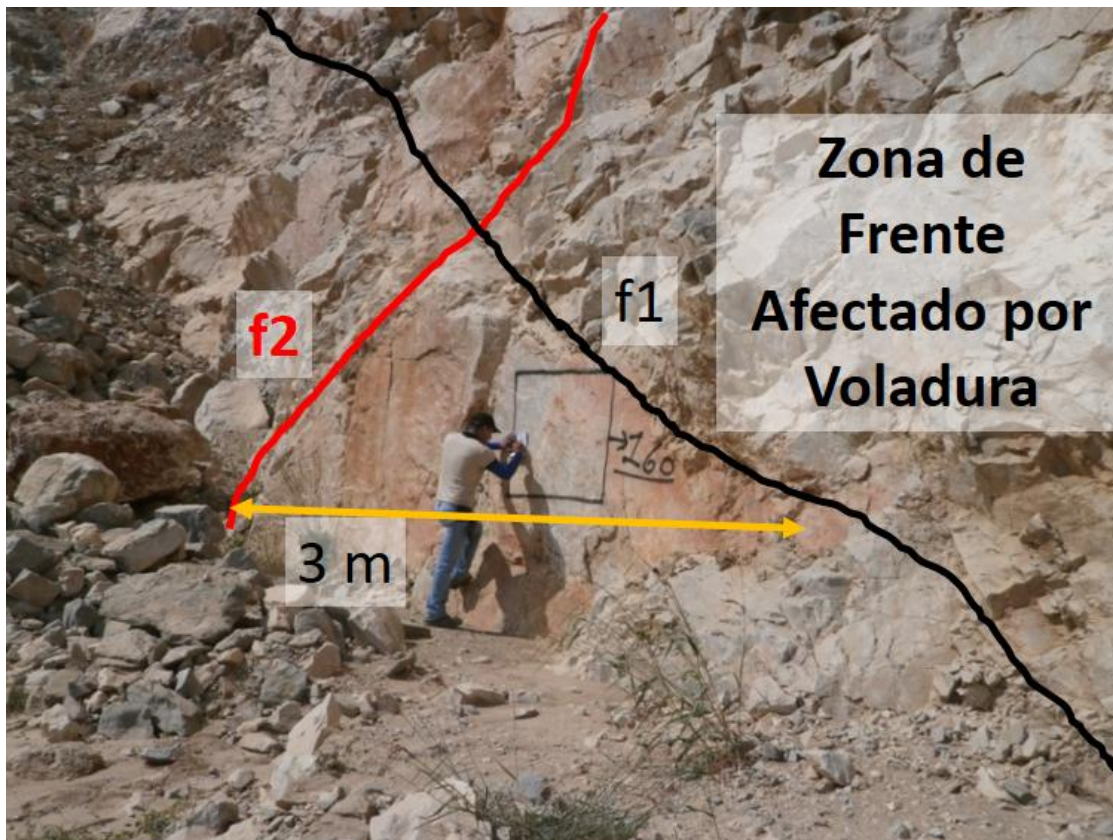


Figura 6.5. Plano de Ubicación de Terraza 160



**Figura 6.6. Estudio de discontinuidades geológicas terraza 160**

En el talud se observan dos familias de diaclasa la primera F1 N60E,50N y para segunda familia solo una con rumbo N60W,45S es por ello que se determinó un RQD de 100%

**Banco 200**

Coordenadas del sitio

E-614.864 / N-1.155.746

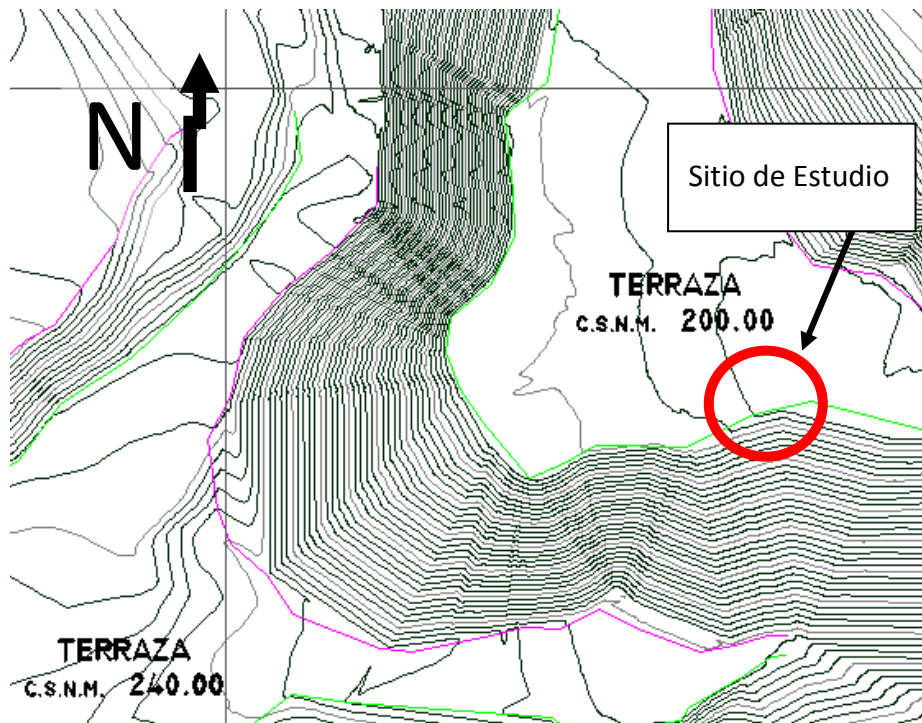


Figura 6.7. Plano de Ubicación de Terraza 200

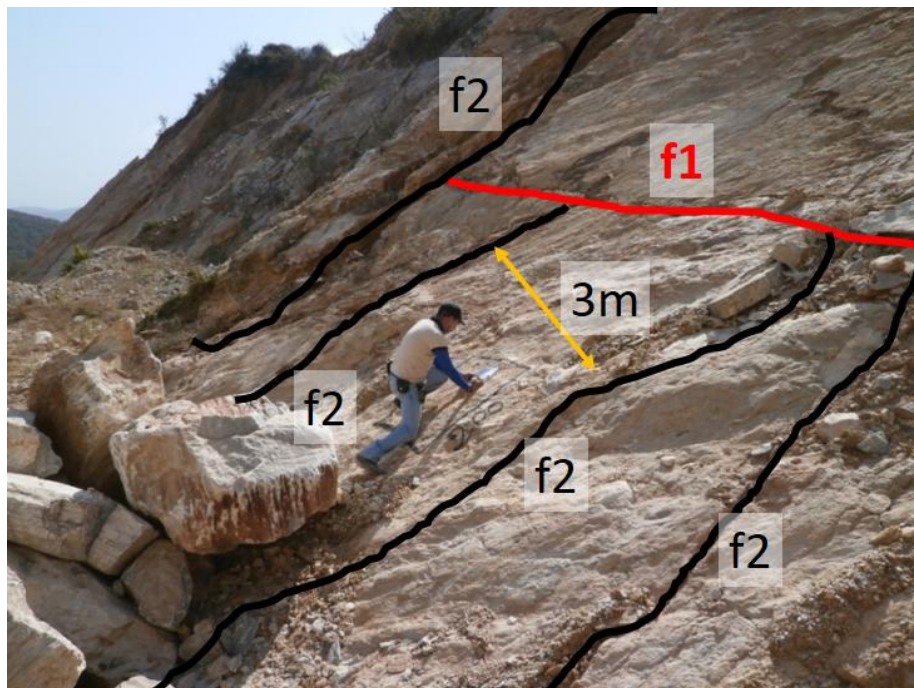


Figura 6.8. Estudio de discontinuidades geológicas terraza 200



Se contabilizaron dos familias de diaclasas una con rumbo N85E,65S siendo F1 y la otra N45W,60S nombrada F2 de acuerdo a la condición el RQD es 100% debido a que se obtiene menos 4,5  $J_v$  en un  $m^2$  de la cara del talud.

### Banco 240

Coordenadas del sitio

E-614.789 / N-1.155.594

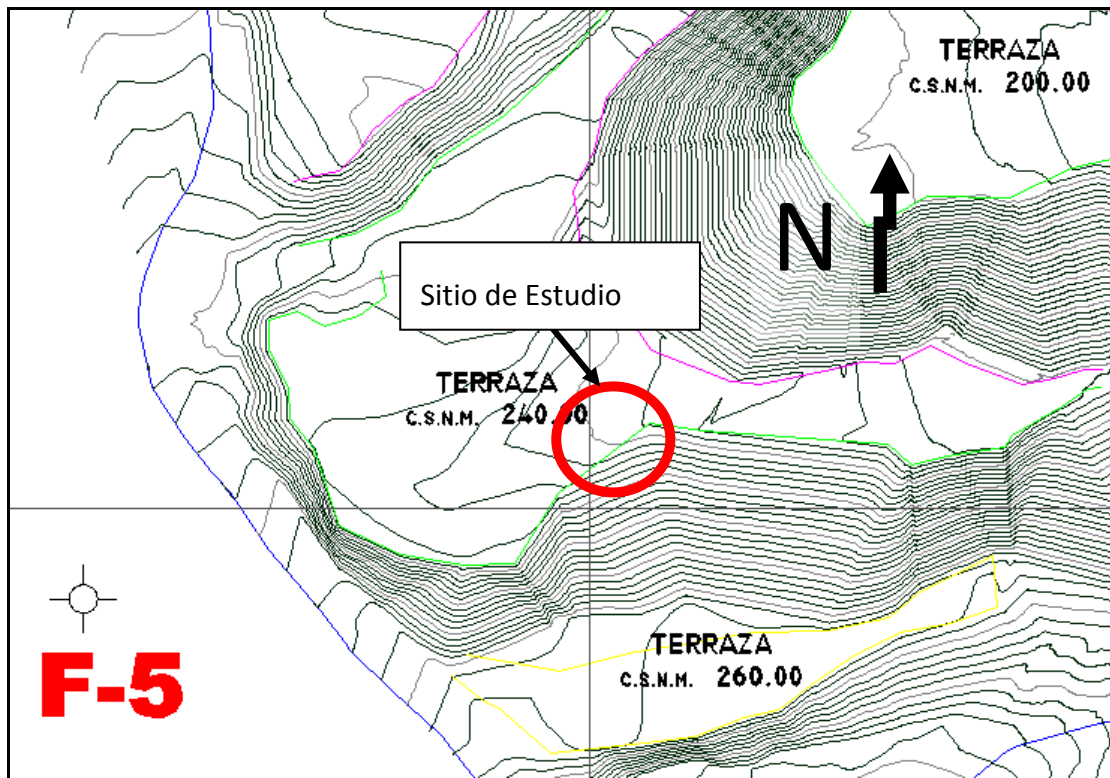
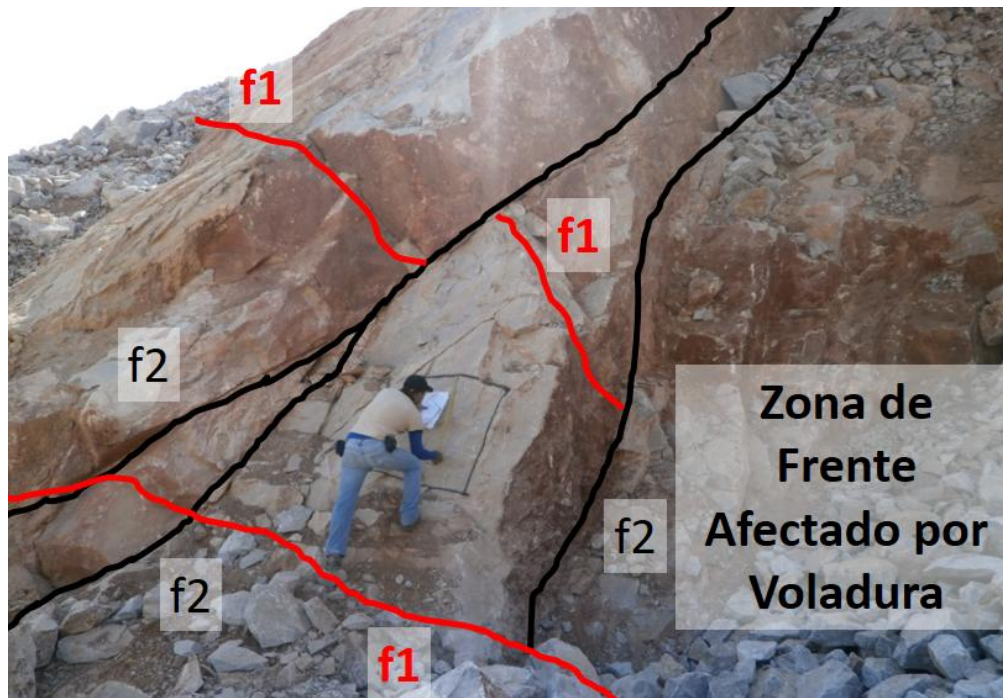


Figura 6.9. Plano de Ubicación de Terraza 240



**Figura 6.10. Estudio de discontinuidades geológicas terraza 240**

Se contabilizaron dos familias de diaclasas una con rumbo N70E,45S siendo F1 y la otra N45W,50S nombrada F2 de acuerdo a la condición el RQD es 100% debido a que se obtiene menos 4,5  $J_v$  en un m<sup>2</sup> de la cara del talud.

#### **Banco 260**

Coordenadas del sitio

E-614.811 / N-1.155.563

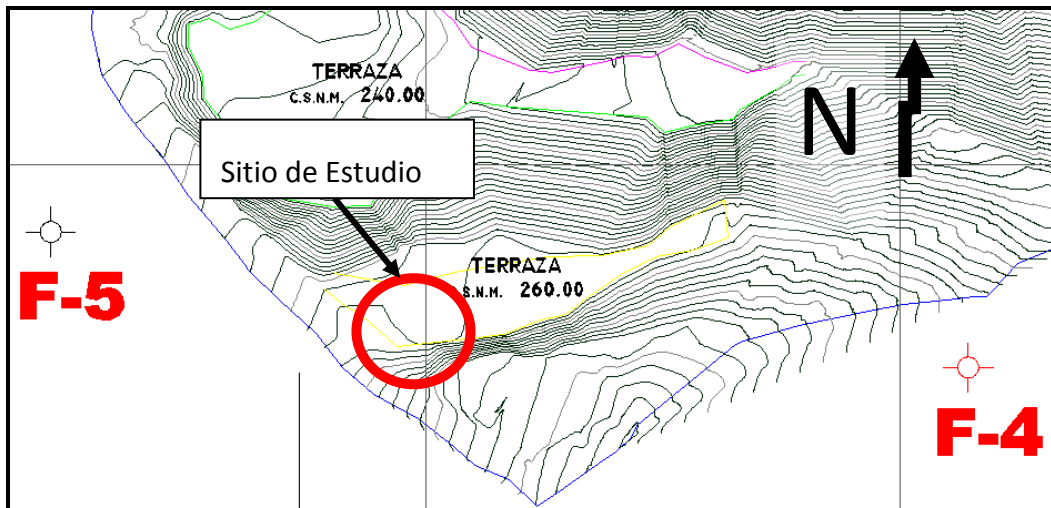


Figura 6.11. Plano de Ubicación de Terraza 260



Figura 6.12. Estudio de discontinuidades geológicas terraza 260

Se contabilizaron dos familias de diaclasas una con rumbo N63W,55N siendo F1 y la otra N80E,70S nombrada F2 de acuerdo a la cantidad de justas tomas no superan las 4,5  $J_v$  siendo el RQD es 100%.

### 6.4.3. Espaciado de las Discontinuidades.

La separación o el espaciado de las discontinuidades está clasificada según la tabla que a continuación se observa: Bieniawski 1989

**Tabla 6.18. Clasificación Bieniawski 1989 espaciado de discontinuidades**

Descripción	Espaciado de Juntas (m)	Tipo de Macizo Rocoso	Valoración
Muy Separadas	>2	Solido	20
Separadas	0,6 - 2	Masivo	15
Moderadamente Juntas	0,2 - 0,6	en Bloque	10
Juntas	0,06 - 0,2	Fracturado	8
Muy Juntas	< 0,06	Machacado	5

**Tabla 6.19. Clasificación del espaciado de las discontinuidades de acuerdo a los datos de campo obtenidos**

N°	Bancos	Espaciado de Discontinuidades (m)	Valor
1	Banco 160	0.6-2	15
2	Banco 200	0.6-2	15
3	Banco 240	0.6-2	15
4	Banco 260	0.6-2	15

### 6.4.4. Condiciones de las discontinuidades

Para el desarrollo de este parámetro se desarrolla las siguientes variables:

6.4.4.1. Abertura de las caras de la discontinuidad.

6.4.4.2. Continuidad o persistencia de la discontinuidad.

6.4.4.3. Rugosidad.

6.4.4.4. Alteración de la discontinuidad.

6.4.4.5. Relleno de las discontinuidades.

Para el caso del estudio los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 6.20. Condiciones de las discontinuidades**

TALUDES							
160	Estado de Discontinuidad	Longitud de Discontinuidad	Variable				Total
			Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteraciones	
	Resultado	≈ 1m	Nada	Muy Rugosa	Ninguna	Inalterable	
	Valor	6	6	6	6	6	
200	Estado de Discontinuidad	Longitud de Discontinuidad	Variable				Total
			Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteraciones	
	Resultado	≈ 1m	Nada	Muy Rugosa	R. Duro ≈ 5mm	ligeramente	
	Valor	6	6	5	4	5	
240	Estado de Discontinuidad	Longitud de Discontinuidad	Variable				Total
			Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteraciones	
	Resultado	≈ 1m	Nada	Muy Rugosa	R. Duro ≈ 5mm	Inalterable	
	Valor	6	6	6	4	6	
260	Estado de Discontinuidad	Longitud de Discontinuidad	Variable				Total
			Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteraciones	
	Resultado	≈ 1m	Nada	Muy Rugosa	R. Duro ≈ 5mm	Inalterable	
	Valor	6	6	6	4	6	



#### 6.4.5. Presencia del Agua

No se presenta presencia de agua en el frente de explotación.

#### Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados en la clasificación de macizo rocoso, según la tabla de categorías de Bieniawski de 1989 y comparada con las variables analizadas en Canteras Tacarigua, el macizo rocoso de los taludes de los diferentes frentes de explotación es muy bueno, siendo este de clase I, debido a que se encuentran el rango de 81-100 según la escala del R.M.R, a continuación, tabla de resultados:

**Tabla 6.21. Resultados Clasificación de macizo rocoso Canteras Tacarigua, C.A puntuación**

N°	Bancos de Explotación	Banco 1	Banco 2	Banco 3	Banco 4
	Variables de Clasificación	Valores	Valores	Valores	Valores
1	Resistencia Compresión	15	15	15	15
2	RQD	20	20	20	20
3	Distancia entre Discontinuidades	15	15	15	15
4	Condiciones de las discontinuidades	30	26	28	28
5	Agua subterráneas	15	15	15	15
<b>Total</b>		<b>95</b>	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>93</b>
<b>Categoría de Clasificación RMR (Bieniawski 1989)</b>		Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno

**Tabla 6.22. Clasificación de macizo rocoso (Bieniawski 1989)**

Categoría de Clasificación RMR (Bieniawski 1989)		
RMR	Descripción del Macizo Rocosó	Clase
Suma de Puntajes Obtenidos de las Tablas Anteriores		
81-100	Muy Bueno	I
61-80	Bueno	II
41-60	Medio	III
21-40	Malo	IV
0-20	Muy Malo	V

Para la escogencia del método de explotación se consideró la clasificación del macizo rocoso, el espacio que hay entre diaclasas que varía entre 1,5 y 2 m, siendo el color de los mármoles blanco con un espesor de 4m, gris claro 12 m con una inclinación de buzamiento que se encuentran entre 50 y 60°, y una variable muy importante considerada la continuidad de las diaclasas que son mayores a 1 m esto limita el tamaño de los bloques a extraer, se considera la construcción de bancos bajos, para cuidar la extracción de los diferentes paquetes de mármoles, se extraerán mediante la mezcla de dos métodos siendo estos el precortes con perforaciones y corte con hilo diamantado, la conjunción de estos métodos es muy versátil debido a que la dirección de los cortes puede cambiarse fácilmente en un mismo banco, también por la seguridad para la manipulación de los bloques,

El método finlandés o precorte se basa en la extracción de bloques cúbicos sin dañar el material, requiriendo una gran cantidad de barrenos perforados y el uso de una carga explosiva controlada.

## 7. Conclusiones

1. De acuerdo al levantamiento geológico realizado en el yacimiento de la cantera se determinó orientación espacial de todos los paquetes de marmol de N63E, 58N; los mármoles blanco tiene un espesor de 4 m y los paquetes de grises claros un espesor de 12 m, se describieron y fueron definidas las distintas unidades litológicas presentes.
2. Desde el punto de vista geológico el yacimiento estudiado y explorado está básicamente conformado por mármoles calcíticos-dolomíticos perteneciente a la formación Antímamo, son heterogéneos debido a que presenta bastante variedad de colores, que van desde el color blanco a grises. Además, exhibe una textura laminar, apta para la elaboración para la industria ornamental.
3. Las petrográficas de estos mármoles calcíticos-dolomíticos, se pueden observar minúsculos cristales de filosilicatos (moscovita) y cuarzo con tonalidades del blanco hacia el gris se pueden diferenciarse hasta tres tipos de minerales: calcita, calcita + grafito y grafito.
4. Las muestras de roca analizadas poseen muy bajo porcentaje de absorción de agua, inferior al 1%, densidades entre:  $2,68 \text{ Tn/m}^3$  y una porosidad de 0,51% por lo que se considerarán en estado bien consolidado y estable, aptas para uso ornamental y en la construcción.
5. Se realizarón ensayos de compresión en dos sentidos debido a que el yacimiento es Bioestratigráfico, se analizarón en sentido perpendicular a los planos de estratificación las muestras 2429-01/12-25-26-32-42 los cuales resultaron tener valores entre 35,31 a 57,64 MPa y se analizarón en sentido paralelo a la estratificación, las muestras 2429-02/13-24-28-33-41 los cuales resultaron tener valores entre 33,77 a 112,43 MPa se concluye que la roca ensayada en sentido paralelo son más resistente que la ensayada en sentido perpendicular a los planos de estratificación.
6. En cuanto a la resistencia a la flexión, las muestras en estudio presentaron valores bajos, según las normas UNE 22-176 y la clasificación de Deere y Miller (1963). Esto indica que todas las rocas no funcionan para realizar topes y láminas largas.

7. Para caso de la Resistencia a las Heladas una vez realizados los análisis se observa que la pérdida de peso de la muestra es bajo, determinando que la roca no tendría problemas al momento de ser instalada en sitios con bajas temperaturas.
8. Al analizar las rocas mediante los ensayos de resistencia de cambios térmicos presenta un promedio de pérdida de peso de 0.035%, este valor siendo bajo, indica que la roca no será alterada ni por la intemperie y tampoco por alta temperaturas.
9. Al obtener los valores de Resistencia al Choque se puede observar que la distancia promedio que soporta la caída de la esfera es de 65 cm siendo esta una roca con alta Resistencia al momento de soportar caída de objetos a la misma.
10. El numero calculado del indece de abrasividad Cerchar (CAI) promedio es de 2,70 y según la clasificación de abrasividad del espécimen es alta, lo que indica que al momento de hacer la selección de los equipos se debe considerar este valor para hacer la inversión correcta de las máquinas y los consumibles de corte para llegar al producto final con una rentabilidad adecuada.
11. El acabo final de la roca se considera dos tipos producto el primero las baldosas de 30x30 cm estas muestras adquieren acabos brillantes y lisos para utilización de pisos y la segunda espacato con formatos 5x15 y 3x15 cm con acabados rústicos.
12. La evaluación del yacimiento sugiere mantener el mismo método de explotación a cielo abierto, solo que se deben cambiar las alturas de los bancos, debido a que en el estudio de las discontinuidades, se determinó diaclasas con prolongaciones continuas, lo que no permite la explotación de bloques con tamaños mayores a dos metros.
13. Para la extracción de los bloques, se propone realizar perforaciones con distancias de entre sí de 10 cm y una pequeña carga de explosiva para que ocurra la generación de una grieta de corte, que facilite el desprendimiento del bloque del frente de explotación.
14. La maquinaria de transformación para la generación de productos comerciales, se sugiere hilo adiamantado para hacer los otros cortes y cortes con discos de 600 mm para sacar las tiras del espacato.

## 8. Recomendaciones

- 1) Evaluar la continuidad de los cuerpos de mármol en el subsuelo, ya que la caracterización de las muestras son hechos puntuales, por lo cual conviene investigar su relación con el resto de los frentes de explotación.
- 2) Realizar análisis químicos a todos los cuerpos de mármol de la concesión para sectorizar el yacimiento desde el punto de vista químico y poder clasificarlo.
- 3) Se debe evaluar las reservas de los cuerpos aprovechables para rocas ornamentales.
- 4) Realizar métodos de geofísica específicamente sísmica de reflexión para obtener tomografías del subsuelo y métodos eléctricos, con el propósito de establecer con precisión la geometría y la continuidad de los cuerpos de mármol.
- 5) Realizar perforaciones con recuperación de núcleo para definir con exactitud los contactos litológicos estéril/mármol.
- 6) Promoción y divulgación del trabajo realizado en Rocas Dimensionables de Cantera Tacarigua a fin de conocer la potenciabilidad de los marmoles de la Formacion Antimano para la fabricación de rocas ornamentales.

## 9. Bibliografía

- American Society for Testing and Materials. (s.f.). ASTM D5607. Standard test methods for performing laboratory direct shear strength tests of rock specimens. En ASTM, *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 04.08). Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de la Investigacion Introducción a la metodología científica* (Vol. 6). Caracas, Distrito Capital, Venezuela: Episteme C.A.
- ASTM. (2012). *ASTM – D4554 – 12 Standard Test Method for In Situ Determination of Direct Shear Strength of Rock Discontinuities*. West Conshohocken: ASTM International.
- Baamonde, J. M. (2006). *Geología Física*. Caracas, Distrito Capital: PDVSA.
- Deere, D. (1968). *Engineering Properties of Rock*. Nueva Yor, Estado Unidos.
- Gomez Marcano, A. (2006). *Caracterizacion Geologiacca de la Faja Dolomitica de la Zona Ubicada entre Gañango y Patanemo, Distrito Puerto Cabello, Estado Carabobo*. . Caracas: Universidad Central de Venezuela, Escuela de Geología Minas y Geofísica.
- González de Vallejo, L. I. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educational.
- Herdon, R. L. (1990). *Engineering and Design Construction with Large Stone*. Washington Dc : U.S. Army Corps Of Engineers.
- Hoigard, K. R. (2000). *Dimension Stone Cladding Design, Contruction, Evaluation, and Repair*.
- International Society for Rock Mechanics. (1981). *Rock Characterization Testing and Monitoring*. (E. T. Brown, Ed.) Oxford, Reino Unido: Pergamon Press.
- International Society for Rock Mechanics. (2013). *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014 (Orange book)*. (R. Ulusay, Ed.) New York: Springer-Verlag Wien.
- Mantilla, H. R. (2005). *Geología General* . Lima.

Mengo, O. (2009). *Investigación Documental*. Recuperado el 10 de 04 de 2018, de  
<https://pis1.wikispaces.com/file/view/Investigacion+documental.pdf>

Miyashiro, A. (1973). *Metamorphism and Metamorphic Belts* . Toki.

Rivero, D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. Shalam.

Robertson, S. (1999). *Classification of Metamorphic Rocks*. *British Geological Survey* . Nerc  
Copyright.

Samoon, M. A. (2009). *Stone Structures*.






Tarback, E. J. (s.f.). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física*. Pearson-  
Prentice Hall.


..

## ANEXOS




## A.1. Ficha Técnica

CANTERAS TACARIGUA, C.A. RIF: J-31326296-0	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS EN ROCA DIMENSIONABLE FICHA TÉCNICA			  RIF: G-20000062-7
	<b>CANTERAS TACARIGUA, C.A.</b>			
Código de Proyecto:	Cálculo:	Revisado:	Fecha:	Página 1 de 5
	Cristian Sánchez	Miguel Castillejo	18-07-2017	Espécimen: ver Reportes individuales
Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA ROCA DIMENSIONABLE, CANTERAS TACARIGUA, C.A.			
Peticionario:	Canteras Tacarigua, C.A. RIF: J-31326296 Carretera Nacional Gañango-Patanemo, Sector Mar Azul, estado Carabobo			
Yacimiento:	Canteras Tacarigua, C.A. Carretera Nacional Gañango-Patanemo, Sector Mar Azul, estado Carabobo			
Coordenadas:	E 614.498	N	1.155.849	
Tipo de Muestra:	BLOQUES MASIVOS – DIMENSIONADOS A LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA			
Tipo de Roca:	Mármol			
Denominación Comercial:	-Espato Blanco, Gris y Gris Oscuro.			
Fecha de toma de muestra:	Septiembre-2017			
<b>DENOMINACIÓN COMERCIAL</b>				
				
<b>ESPACATO BLANCO</b>	<b>ESPACATO GRIS CLARO</b>	<b>ESPACATO GRIS OSCURO</b>		

CANTERAS TACARIGUA, C.A. RIF: J-31326296-0	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS EN ROCA DIMENSIONABLE FICHA TÉCNICA				  RIF: G-20000062-7					
	<b>CANTERAS TACARIGUA, C.A.</b>									
Código de Proyecto:	Cálculo:	Revisado:	Fecha:	Página 2 de 5						
	Cristian Sánchez	Miguel Castillejo	18-07-2017	Especimen: ver Reportes individuales						
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b>										
<p><b>Norma: UNE-22-180 Clasificación de la Roca Ornamental</b></p> <p>Se analizaron las siguientes muestras 2410; 2429/04-20-27-37-43</p> <p>Las muestras en general se presentan homogéneas, presentando tres minerales relevantes (calcita, calcita + grafito y grafito). Dependiendo de la cantidad de grafito presente las muestras variaran su color desde blanco (100% <math>CaO + MgO</math>) a colores gris claro a gris oscuro dependiendo de la cantidad de grafito presente en la misma.</p>										
<b>DESCRIPCIÓN PETROGRAFICA</b>										
<p><b>Norma: UNE 22 181 Clasificación en base a la Petrografía</b></p> <p>Se analizaron las siguientes muestras 2410; 2429/04-20-27-37-43</p> <p>La muestra en prácticamente su totalidad se halla caracterizada por la presencia de calcita, con diferentes tamaños. Ocasionalmente se pueden observar minúsculos cristales de filosilicatos (muscovita) y cuarzo y dependiendo de la tonalidad del blanco hacia el gris se pueden diferenciarse hasta tres tipos de minerales: calcita, calcita + grafito y grafito.</p>										
<b>FLUORESCENCIA DE RAYOS X</b>										
<p><b>Norma: -</b></p> <p>Se presenta el promedios por elemento de las muestras 2429/04-20-27-37-43</p>										
<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> t</i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>MnO</i>	<i>Ti<sub>2</sub>O</i>	Total	<i>CaO + MgO</i>	Orgánicos
59.41	17.07	5.30	1.45	0.15	0.27	0.05	0.01	69.76	76.49	30.24
<p>De los resultados obtenidos se evidencia que la suma de los minerales <math>CaO + MgO</math> representan un 76.49% de promedio y este contenido estará asociado a los minerales orgánicos no detectados por la técnica como es el carbono, que es el grafito responsable de las distintas tonalidades de gris presentes las muestras.</p>										

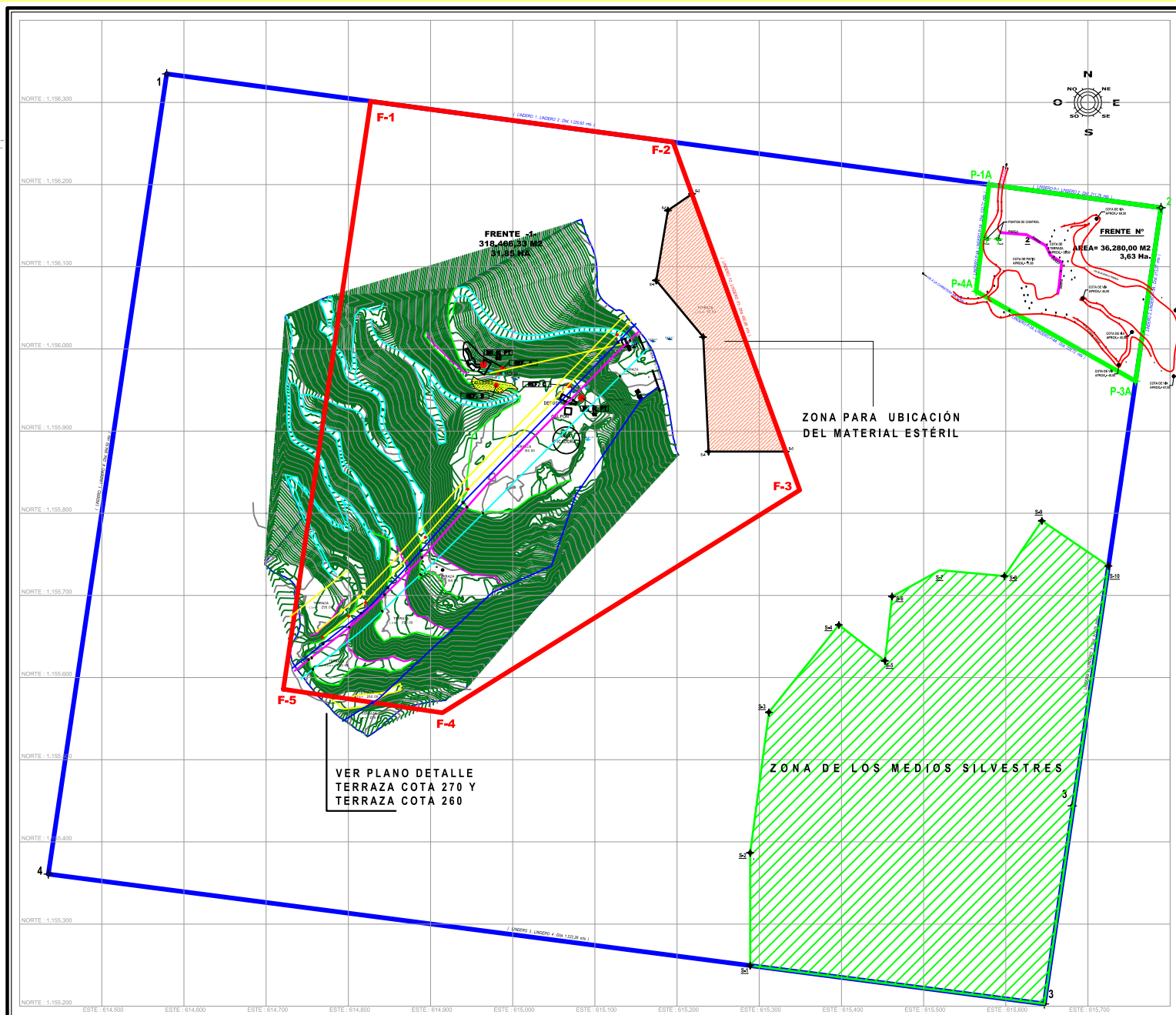
CANTERAS TACARIGUA, C.A. RIF: J-31326296-0	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS EN ROCA DIMENSIONABLE FICHA TÉCNICA			  RIF: G-2000062-7	
	<b>CANTERAS TACARIGUA, C.A.</b>				
Código de Proyecto:	Cálculo:	Revisado:	Fecha:	Página 3 de 5	
	Cristian Sánchez	Miguel Castillejo	18-07-2017	Espécimen: ver Reportes individuales	
<b>HUMEDAD, ABSORCIÓN, POROSIDAD, PU (HÚMEDO Y SECO)</b>					
<b>Norma: UNE 22 182 - Ensayo de Humedad, Absorción, Porosidad y PU (Húmedo y Seco) Mármoles y Calizas Ornamentales</b>					
Se presentan los promedios de las siguientes muestras 2429/05-30-35					
	<b>Humedad %</b>	<b>Absorción %</b>	<b>Porosidad %</b>	<b>PU Húmedo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PU Seco (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Promedio</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.22%</b>	<b>0.51%</b>	<b>2.37</b>	<b>2.37</b>
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE</b>					
<b>CARGA APLICADA PALALELA A LA ESTRATIFICACIÓN</b>					
<b>NORMA: UNE 22 185 Resistencia a la Compresión Simple</b>					
Se presentan los promedios de las siguientes muestras 2429/02-13-24-28-33-41					
Resistencia a la Compresión $\sigma_{max}$				<b>71.73 (MPa)</b>	
Deformación Axial Máxima $\epsilon_{max}$				<b>2.226 (%)</b>	
Módulo de Elasticidad Tangente				<b>3,617.19 (MPa)</b>	
Clasificación ISRM				<b>Media (R5)</b>	
Resistencia UCS corregido de la Muestra a 50 mm de diámetro y relación L/D = 2				<b>69.67 (MPa)</b>	
Módulo Elasticidad Tangente corregido de la Muestra a 50 mm de diámetro y relación L/D = 2				<b>5,123.93 (MPa)</b>	
Densidad Promedio Calculada				<b>2.65 T/m<sup>3</sup></b>	
<b>CARGA APLICADA PERPENDICULAR A LA ESTRATIFICACIÓN</b>					
<b>NORMA: UNE 22 185 Resistencia a la Compresión Simple</b>					
Se presentan los promedios de las siguientes muestras 2429/01-12-25-26-32-42					
Resistencia a la Compresión $\sigma_{max}$				<b>49.07 (MPa)</b>	

CANTERAS TACARIGUA, C.A. RIF: J-31326296-0		LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS EN ROCA DIMENSIONABLE FICHA TÉCNICA			  RIF: G-2000062-7	
		<b>CANTERAS TACARIGUA, C.A.</b>				
Código de Proyecto:	Cálculo:	Revisado:	Fecha:	Página 4 de 5		
	Cristian Sánchez	Miguel Castillejo	18-07-2017	Espécimen: ver Reportes individuales		
Deformación Axial Máxima $\epsilon_{max}$			1.955 (%)			
Módulo de Elasticidad Tangente			2785.81 (MPa)			
Clasificación ISRM			Moderada (R4)			
Resistencia UCS corregido de la Muestra a 50 mm de diámetro y relación L/D = 2			48.05 (MPa)			
Módulo Elasticidad Tangente corregido de la Muestra a 50 mm de diámetro y relación L/D = 2			3867.80 (MPa)			
Densidad Promedio Calculada			2.68 T/m <sup>3</sup>			
<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD AL 50% DE LA CARGA</b>						
NORMA: UNE 22 187 – Determinación del Módulo de Elasticidad de Mármoles y Calizas Ornamentales						
Se presentan los promedios de las siguientes muestras 2429/03-14-29-34						
Condición de Descarga			Condición de Carga			
Módulo Tangente	1,909.64 MPa		Módulo Tangente	5,182.99 MPa		
Módulo Secante	-438.50 MPa		Módulo Secante	3,216.83 MPa		
<b>RESISTENCIA A LA FLEXIÓN</b>						
NORMA: UNE 22 186 – Determinación de la Resistencia a la Flexión de Mármoles y Calizas Ornamentales						
Se presentan los promedios de las siguientes muestras 2561/01-02-03-04-06						
Resistencia a la Flexión Promedio			17.92342 MPa			
$\delta_{Max}$ – Deflexión máxima			0.37283 mm			
Et – Módulo de Elasticidad			6.31480 MPa			
Pendiente de la curva de Deflexión			0.84998 grados			
<b>Resistencia a la Choque</b>						
Norma:	UNE	22-179 – Resistencia al choque para granitos 22-189 – Resistencia al choque para mármoles y calizas ornamentales				
Masa de la Esfera: 504.88 gr			Masa de la Esfera: 250 gr			
Se presentan el promedio de las siguientes muestras 2541/01-02-03-04 (150 x 150 x 31) – Masa: 504.88 gr			Se presentan el promedio de las siguientes muestras 2542/01-02-03-04 (150 x 150 x 31) – Masa: 250.00 gr			
Promedio de altura de rotura		115 cm	Promedio de altura de rotura		16.25 cm	
Promedio de altura de Rotura de las dos Masas					65.63 cm	

CANTERAS TACARIGUA, C.A. RIF: J-31326296-0		LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS EN ROCA DIMENSIONABLE FICHA TÉCNICA			  RIF: G-20000062-7	
<b>CANTERAS TACARIGUA, C.A.</b>						
Código de Proyecto:	Cálculo:	Revisado:	Fecha:	Página 5 de 5		
	Cristian Sánchez	Miguel Castillejo	18-07-2017	Especimen: ver Reportes individuales		
<b>ABRASIVIDAD – MÉTODO CERCHAR</b>						
Norma: ISRM						
Se presentan los promedios de las siguientes muestras 2410-2429/04-20-27-37-43						
Valor CAI Promedio	2.70	Clasificación de Abrasividad del espécimen		ALTA		
<b>RESISTENCIA A LAS HELADAS</b>						
Norma	UNE	22-174 – Resistencia a las Heladas para granitos 22-184 – Resistencia a las Heladas para mármoles y calizas ornamentales				
Se presentan el promedio de las siguientes muestras 2320-08/2429-06-15-36						
<b>Pérdida de masa promedio -0.00893%</b>						
<b>RESISTENCIA AL CHOQUE TÉRMICO</b>						
Norma	UNE	22-174 – Resistencia a las Heladas para granitos 22-184 – Resistencia a las Heladas para mármoles y calizas ornamentales				
Se presentan el promedio de las siguientes muestras 2320-07/2429-07-16-38-40						
<b>Pérdida de masa promedio -0.03509%</b>						

## A.2. Normas Empleadas

Nombre de Ensayos	Norma
Peso Unitario	UNE 22 182
Absorción	UNE 22 182
Porosidad	UNE 22 182
Compresión Simple	UNE 22 185
Resistencia las Heladas	UNE 22-184
Modulo Elasticidad	UNE 22 187
Abrasividad (Cerchar)	ISRM
Resistencia la Flexión	UNE 22 186
Resistencia a los cambios térmicos	UNE 22-184
Resistencia al Choque	UNE 22-189
Loseta Pulida	-



**COORDENADAS POLIGONAL CONCESION "LOS VIEJOS"**

PUNTO	NORTE	ESTE	DISTANCIA
1	1156334.82	614578.03	
2	1156171.82	615788.03	1,220.93
3	1155202.82	615646.03	979.35
4	1155300.82	614434.03	1,222.26
1	1156334.82	614578.03	984.59

ÁREA: 1,213,330.00 M2  
121.33 HA

**PUNTOS**

PUNTO	NORTE	ESTE
E-1	1156160.510	615180.015
E-2	1156160.705	615204.015
E-3	1155875.111	615312.216
E-4	1155875.111	615204.015
E-5	1156014.414	615211.028
E-6	1156081.378	615376.560
E-1	1156160.510	615180.015

ÁREA GENERAL: 20,000.00 M2  
2.00 HA

**COORDENADAS ÁREA PARA LOS MEDIOS SILVESTRES**

PUNTOS	NORTE	ESTE
S-1	1155249.490	615286.935
S-2	1155386.726	615286.935
S-3	1155357.750	615311.737
S-4	1155664.014	615306.966
S-5	1155620.373	615452.916
S-6	1155690.685	615461.037
S-7	1155730.702	615520.001
S-8	1155723.973	615598.420
S-9	1155790.763	615643.935
S-10	1155732.858	615723.048
3	1155302.820	615646.935
S-1	1155249.490	615286.935

ÁREA GENERAL: 182,000.62 M2  
18.20 HA

**COORDENADAS POLIGONAL ÁREA DE AFECTACIÓN FRENTE -1-**

PUNTOS	NORTE	ESTE	DISTANCIA
F1	1156301.371	614827.234	371.17 mts
F2	1156351.818	615199.081	450.88 mts
F3	1155828.127	615349.290	515.38 mts
F4	1155357.804	614914.393	195.56 mts
F5	1155385.820	614720.935	723.40 mts
F1	1156301.371	614827.234	

ÁREA FRENTE -1-: 30,466.33 M2  
3.05 HA

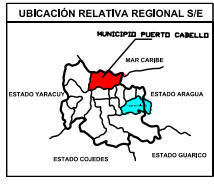
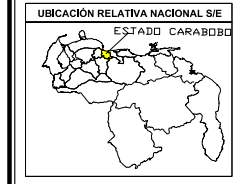
**LEYENDA**

**Polygonal**

- Concesión
- Frente 1
- Frente 2

**Lineal**

- Pie de Talud
- Cresta de Talud
- Vias
- Curvas Principales
- Curvas Secundaria



**TOPOGRAFÍA EXISTENTE  
CANTERAS TACARIGUA  
FEB. 2014**

COORDENADAS UTM  
EQUIPO UTILIZADO:  
GPS: Antech-Protonak 100)  
SERIAL: GPS 1 Nº 0200112100838  
SERIAL: GPS 2 Nº 0200112101116  
METODO: GEOPOSICIONAMIENTO SATELITAL  
CON POS-PROCESAMIENTO DIFERENCIAL  
HUSO: 19  
M.C. 80P  
DATUM: SIRGAS-REGOVEN  
ELIPSOIDE: WGS-84  
PUNTO DE ENLACE: VERTICE Nº CAR-19  
PLANTA CENTRO  
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO  
EQUIPO UTILIZADO:  
(ESTACION TOTAL, TRIMBLE M3 5" DR)  
SERIAL: Nº 132019

**CANTERAS TACARIGUA**  
**CONCESION "LOS VIEJOS"**  
ENSENADA DE MAR AZUL  
MUNICIPIO PTO. CABELLO  
PTO. CABELLO, ESTADO CARABOBO

CONTENIDO:  
ACT. PLANO TOPOGRAFICO 02-10-2019

LEVY	Fecha
Juan Carreras (Top)	Octubre 2019
CAL: Jim Christian Sanchez	Estudio
MIL: Jim Christian Sanchez	Aprobado
REVISOR: Geny Pedro Parra	Lamina-1
CS Nº 10100	