

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN



NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA Y DURABILIDAD
DE ROCAS ÍGNEAS DE TLALPUJAHUA MICHOACÁN PARA
USO ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICO”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JOSÉ CARMEN GARCÍA PERDOMO

ASESOR DE TESIS:

M. I. CINDY LARA GÓMEZ

COASESOR DE TESIS:

M.I. NOEL DÍAZ GONZÁLEZ

M.I. SANDRA DEL CARMEN ARGUELLO HERNÁNDEZ

MORELIA, MICHOACÁN, ABRIL DE 2019

DEDICATORIAS

Esta tesis elaborada con esfuerzo y perseverancia en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, dedicando el trabajo de tesis a mis padres: Miguel García García y Juana Perdomo Granados, por estar conmigo en los buenos y malos momentos. Uno de los consejos que me ha dado mi padre “si vas a hacer una cosa, hazlo bien”, motivo por el cual cada día me propongo hacer las cosas mejor.

A mis hermanos: Pbro. Fabián, Arq. Daniel, Norma, Miguel y Alma Griselda; por su apoyo moral y económico. Sus consejos profesionales y motivación que me han proporcionado para salir adelante.

A mis amigos: Miguel Ángel, Julio César, José Guadalupe, José Rogelio, José Luis, Cipriano Bernabé, Daniela, Santiago, Alonso, Esmeralda, Estefanía, Leslie, Enrique, Leonardo, Goretti, Wilbert, Isaías, Alberto, Noel, Sandra, Uriel, Ariel, Josué, Jesús y Eduardo. Siempre me han apoyado en momentos críticos, sin duda en los momentos más difíciles es cuando se encuentra a los mejores amigos, gracias por su apoyo.

A mis compañeros de servicio social y los que estuvieron en el séptimo Verano Nicolaita de investigación de agosto 2018; por su apoyo en pruebas de investigación acerca del tema.

A mi novia por estar siempre conmigo, alentarme y motivarme día con día. Por sus consejos y por todo el apoyo que me ha brindado.



AGRADECIMIENTOS

De antemano le doy las gracias a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Civil, Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”. Por su apoyo de equipo para llevar a cabo la investigación de este trabajo de tesis.

Al asesor de tesis M.I. Cindy Lara Gómez, por el apoyo y orientación en el proyecto que se realizó de tesis. Proporcionarme equipo y documentos necesarios para la investigación y los buenos consejos científicos para mi formación académica.

A la Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán por su apoyo de conocimientos sobre el área acerca del tema, por los libros que me proporcionó para complementar la investigación.

Al M.I. Noel por su orientación y manejo de equipos, sus opiniones y consejos que me ayudaron a tener mejor criterio en el área de investigación.

Al M.I. Sandra quien estuvo al pendiente el transcurso de los trámites y parte la investigación apoyando y motivando para la realización del proyecto de tesis.

A la Dra. Aída López Hernández por su apoyo y su conocimiento que me proporcionó acerca del tema de investigación.

Al M.I. Cipriano Bernabé Reyes, por sus consejos que me brindo durante la investigación de este proyecto de tesis y motivación a seguir adelante en la vida profesional.



RESUMEN

Se realizó trabajos de investigación en rocas obtenidas en el Municipio de Tlalpujahua Michoacán, localizadas en los diferentes bancos de material pétreo, clasificando el nombre del banco, con el nombre de la comunidad donde se encuentran las rocas: “El moral” rocas de color bronce (BR) y dorado (D), “la américa” rocas de color gris (G) y rosa (R), “llano grande” rocas de color café oscuro (Co), café rojizo (CR) y negro (N).

En las pruebas de caracterización física consistió en evaluar el porcentaje de humedad de absorción, densidad relativa, densidad absoluta y colorimetría. Para evaluar las propiedades mecánicas se realizó: compresión simple (resistencia máxima), prueba de flexión estática (módulo de ruptura). En la evaluación durabilidad en rocas: Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU), Resistividad Eléctrica (RE) y porosidad para cada una de las rocas clasificadas por color. En la evaluación acelerada física se realizó congelamiento y deshielo; en la parte química se atacó por medio de sulfato de sodio.

El mejor comportamiento de las diferentes evaluaciones se presentó en el color rosa, con menor absorción, mayor densidad, mayor resistencia a compresión. De acuerdo a la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981), se clasifica como roca blanda debido a que las resistencias están dentro del parámetro de 5 a 25 Mpa. En la evaluación de durabilidad; resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico se evaluó con parámetros para concreto hidráulico debido a que no hay normativa específica en evaluación de rocas de lo cual resultó con riesgo moderado a la corrosión en la prueba RE. En la clasificación VPU en promedio su calidad resultó normal, además se considera como roca sana de acuerdo a ISRM (1981), ya que los valores están dentro del parámetro de 2069.4 y 3713.6 m/s

En la prueba de congelamiento y deshielo se concluye que al término de 25 ciclos de 3 horas las rocas no sufren daños representativos. En evaluación por interperismo acelerado en su mayoría los especímenes logran llegar al cuarto ciclo de prueba con una pérdida de masa menor al 5%. CRITM.



ABSTRACT

Research work was carried out on rocks obtained from the Municipality of Tlalpujahua, Michoacán, located in the different stone material banks, classifying the name of the bank with the name of the community where the rocks are found: "El Moral" are bronze-colored rocks (BR) and gold (D); "La america" are gray (G) and pink (R) rocks; "Llano grande" are dark brown rocks (Co), reddish brown (CR) and black (N).

In the physical characterization tests, the percentage of absorption moisture, relative density, absolute density and colorimetry were evaluated. To evaluate the mechanical properties, simple compression (maximum resistance) and the static flexion test (rupture modulus) were performed. In the evaluation of durability in rocks: Ultrasonic Pulse Rate (VPU), Electrical Resistivity (RE) and porosity. The accelerated physical wear of the samples was carried out by freezing and thawing; the chemical attack was carried out by means of sodium sulphate. The best behavior of the different evaluations was presented by the pink colored rock, with lower absorption, higher density, greater resistance to compression. According to the International Society of Rock Mechanics (ISRM, 1981), it is classified as soft rock because the compressive strengths are within the range of 5 to 25 MPa. In the evaluation of durability, for electrical resistivity and ultrasonic pulse velocity, parameters that refer to hydraulic concrete were considered because there is no specific regulation for rocks. Under these parameters, the rock was classified as a material with a moderate risk of corrosion in the RE test. In the VPU test, its quality was normal.

It is also considered as healthy rock according to ISRM (1981), since the values are within the range of 2069.4 and 3713.6 m / s.

In the freeze and thaw test, it is concluded that the rocks have the capacity to not suffer damages due to freezing and thawing in a period of 25 cycles. In the evaluation by accelerated weathering, most of the specimens manage to reach the fourth test cycle with a mass loss of less than 5%. CRITM.



Tabla de contenido

DEDICATORIAS	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
JUSTIFICACIÓN	VIII
OBJETIVO	VIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	2
1.1 COMPOSICIÓN DEL MATERIAL	2
1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS	3
1.2.1 Rocas ígneas	3
1.2.2 Rocas sedimentarias	9
1.2.3 Rocas metamórficas	10
1.3 ACTIVIDAD VOLCÁNICA	13
1.3.1 Depósitos volcánicos.....	13
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	17
2.1 LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO	18
2.2 Fisiografía	19
2.2.1. Importancia de la minería en la región	23
2.3 Uso actual de roca ígnea o riolita.....	24
2.4 Extracción del material de cantera ígnea	28
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA	28
3.1.1 Porcentaje de humedad de absorción	29
	V



3.1.2	Densidad relativa o Gravedad específica	31
3.1.3	Densidad absoluta por medio del picnómetro	33
3.1.4	Colorimetría.....	35
3.2	PRUEBAS MECÁNICAS.....	36
3.2.1	Compresión simple.....	37
3.2.2	Flexión Estática en Rocas.....	39
3.3	ANÁLISIS DE DURABILIDAD	41
3.3.1	Velocidad de Pulso Ultrasónico	41
3.3.2	Resistividad Eléctrica (Durar, 1998)	45
3.3.3	Porosidad	49
3.3.4	Porosidad Efectiva.....	50
3.3.5	Porosidad total.....	53
3.3.6	Congelamiento y deshielo en rocas de cantera ígnea.....	58
3.3.7	Prueba de ataque de Sulfatos de sodio en rocas ígneas	64
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		70
4.1	Porcentaje en humedad de absorción.....	70
4.2	Densidad relativa o Gravedad específica.....	70
4.3	Densidad absoluta por medio del picnómetro	71
4.4	Colorimetría	72
4.5	Compresión simple	72
4.6	Flexión Estática en Rocas.....	73
4.7	Velocidad de Pulso Ultrasónico	75
4.8	Resistividad Eléctrica.....	76
4.9	Porosidad Efectiva	77



4.10	Porosidad total.....	78
4.11	Congelamiento y deshielo en rocas de cantera ígnea	79
4.12	Evaluación por ataque acelerado en Sulfato de sodio de rocas ígneas	83
CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN		86
Anexo 1. Bibliografía		87
Anexo 2. Índice de figuras.....		89
Anexo 3. Índice de tablas		98



JUSTIFICACIÓN

En el mercado nacional e internacional se requieren productos de buena calidad, es por ello que en este trabajo se buscó analizar las propiedades de las rocas ígneas del municipio de Tlalpujahua Michoacán, México. De esta manera se puede lograr la exportación e inversión que beneficie a los pobladores y así elevar las condiciones de vida.

OBJETIVO

El principal objetivo es conocer la caracterización físico, mecánica y los análisis de durabilidad en rocas ígneas de Tlalpujahua Michoacán localizados para uso estructural y arquitectónico de acuerdo a las especificaciones de cada proyecto de construcción. Con el estudio realizado poder lograr inversión y beneficio de la región y sus pobladores.



INTRODUCCIÓN

En un inicio el hombre vivía en cavernas formadas naturalmente, construían con rocas de buena resistencia para protegerse en su habitar, posteriormente en algunos lugares se tenía que tallar y moldear hasta tener un buen punto estético de arquitectura. Para obtener estos puntos de arquitectura se construía en rocas blandas por su fácil tallado arquitectónico y en lugares cálidos para tener una vivienda a temperatura soportable.

En el desarrollo de infraestructura de nuestro Estado de Michoacán ha aumentado de tal manera que el turismo es una fuente principal por su estructura arquitectónica e individual que contiene los diferentes municipios que son representativos al estado y contienen construcciones de cantera, pero no se sabe con exactitud cuál es su característica física, mecánica y durabilidad de las rocas ígneas en la región.

La caracterización del material de la región de Tlalpujahua Michoacán, nos permite conocer las características físicas, mecánicas y de durabilidad de las rocas. Para esto se utiliza pruebas no destructivas.

La evaluación realizada en pruebas no destructivas: Velocidad de Pulso Ultrasónico, Resistividad Eléctrica, frecuencia de resonancia, nos ayuda a determinar sus características físicas de los siete tipos de roca diferenciadas por su color y localizadas en la misma región.

Las pruebas destructivas realizadas: resistencia a compresión, flexión, durabilidad y porosidad permiten analizar realmente las características mecánicas de cada roca.



CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 COMPOSICIÓN DEL MATERIAL

La mayoría de las personas están familiarizadas con los usos más comunes de metales básicos, entre ellos el aluminio, cobre, oro y plata. Sin considerar algunos otros materiales que contiene nuestro planeta, que son útiles para la sociedad como por ejemplo el grafito que utilizamos la mayoría de los estudiantes, alguna vez se han preguntado de donde proviene el material de los lápices. (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013). Estos materiales son minerales que se encuentran en nuestro planeta.

Los minerales son los componentes básicos de las rocas. Los primeros minerales que se extrajeron por las personas en el año 3700 a.C. fueron utilizados para la fabricación de armas y herramientas, los egipcios comenzaron a extraer oro, plata y cobre de las minas. Y en el 2200 a.C. los humanos descubrieron como combinar el cobre con el estaño para hacer bronce, una aleación dura y resistente. Durante la edad media la extracción de gran variedad de minerales era común por toda Europa y el estudio de los minerales (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

Los geólogos definen los minerales como sólido inorgánico natural, que se forman mediante procesos geológicos naturales. Por tanto los diamantes y rubíes sintéticos además de otras sustancias, en los laboratorios no se consideran minerales. Las rocas son cualquier masa solida de materia mineral, o parecida aun mineral que se presenta de forma natural en nuestro planeta (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

A su vez una roca es un sólido constituido por minerales que ocurren en la naturaleza determinando su mineralogía, ésta composición es el estudio de los minerales de una roca para determinar textura, tamaños y forma en que se juntan unos con otros. En la figura 1.1, se muestra clases de minerales de identidad individual (López Hernández , 2013).





Figura 1.1. Roca ígnea granito y tres de sus principales minerales constituyentes (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

Los geólogos de acuerdo a sus observaciones basándose en su origen han dividido las rocas de la tierra en tres grupos principales: ígneas, sedimentarias y metamórficas (Judson, 2000).

1.2.1 Rocas ígneas

Las rocas ígneas toman su nombre del latín (ignis = fuego). Estas rocas fueron desde un comienzo, una masa fundida semejante a un líquido caliente que recibe el nombre de magma, que posteriormente al enfriarse se convierte en una roca dura y firme (Judson, 2000).

La masa de roca ígnea se origina a profundidades de la corteza terrestre y del manto superior donde alcanza una temperatura de 700 °C, para fundir la roca donde los geólogos dividen las rocas ígneas en dos tipos, intrusivas y extrusivas (López Hernández , 2013).

Considerando la lava expulsada por los volcanes es de manera violenta y explosiva, provocando las erupciones catastróficas de vapor y ceniza. La porción líquida llamado fundido está compuesto por iones móviles, uno de los elementos que forman parte de la corteza terrestre; silicio y oxígeno, junto con cantidades pequeñas de aluminio, potasio, calcio, sodio, hierro y magnesio. Componentes

solidos que forman parte de magma, son los silicatos ya cristalizados desde el fundido del material (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

1.2.1.1 Formación de las rocas ígneas

Las rocas ígneas están formadas por la solidificación de un material fundido denominado magma que proviene de la parte superior del manto y que trata de buscar naturalmente la salida a la superficie. Si logra llegar a la superficie a través de conductos o fisuras, se forman las rocas extrusivas o volcánicas y si se quedan atrapado dentro de la corteza se forman cuerpos intrusivos. Si se toma en cuenta el grosor de la corteza a 16 kilómetros de profundidad, el 95 % de su volumen está compuesto por rocas ígneas y metamórficas (Judson, 2000).

La masa de la roca ígnea cuando se enfría dentro de la corteza terrestre, se solidifica y se llaman rocas intrusivas o plutones. Adquiere diferentes formas en las que se encuentran las que se observan en la figura 1.2, incluyendo los mantos, diques, lacolitos y batolitos (Judson, 2000).

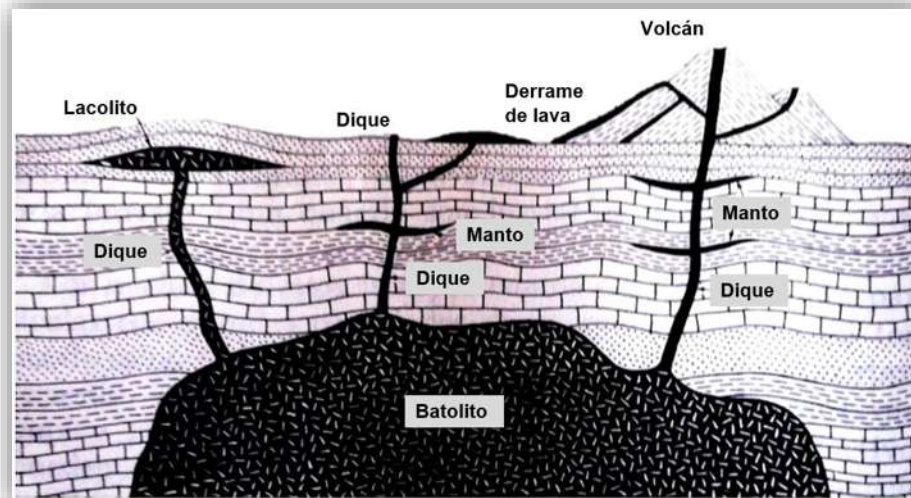


Figura 1.2. Plutones y formas terrestres en actividad ígnea (Judson, 2000).

1.2.1.2 Composición de rocas ígneas

El proceso de la solidificación de las rocas ocurre cuando se enfría el magma formando dos grupos importantes de silicatos: silicatos oscuros y silicato claros. Los silicatos oscuros son ricos en hierro y magnesio con bajo contenido de sílice; el olivino, el piroxeno, el anfíbol y la biotita son los más comunes de la corteza terrestre. Los silicatos claros contiene mayor cantidad de sílice, potasio y sodio en lugar de hierro y magnesio, entre estos silicatos se encuentra el cuarzo, la moscovita y el grupo mineral de feldespatos que en conjunto constituyen el 40 % de la mayoría de las rocas ígneas.

En la figura 1.3 se puede observar un ejemplo de una roca compuesta por silicatos claros: de cuarzo y feldespatos, que se considera tiene una composición félsica (granítica). Además de los minerales claros contiene alrededor un 10 % de silicatos oscuros normalmente de biotita y anfíbol.

Con esta composición se generan dos tipos de rocas: granito y riolita. Ver figura 1.3 Las rocas comprendidas de composición intermedia o andesítica, contienen aproximadamente un 25 % de silicatos oscuros, principalmente anfíbol, piroxeno y biotita. Las rocas formadas por estos minerales son las andesitas y las dioritas. Las rocas compuestas por silicatos oscuros no contienen cuarzo y se caracterizan por la presencia de olivinos y piroxenos se les conoce como gabro y basalto, y se localizan en el fondo del océano. Las rocas ultramáfica son materiales muy escasos en la superficie de la corteza (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).



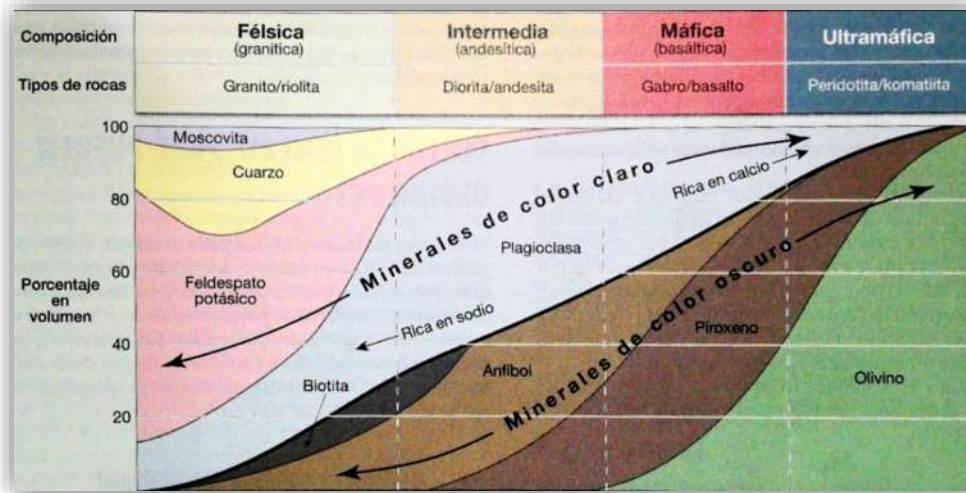


Figura 1.3. Minerales de rocas ígneas más comunes (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

1.2.1.3 Rocas ígneas intrusivas

Las rocas ígneas intrusivas se cristalizan en el magma en masas de roca no fundida dentro de la corteza terrestre de tal manera que el magma se enfría de forma lenta, produciendo cristales grandes de grano grueso, el granito es un ejemplo de roca ígnea intrusiva (López Hernández , 2013).

1.2.1.4 Rocas ígneas extrusivas o volcánicas

Las rocas ígneas volcánicas son las más abundantes de la Tierra, se forman cuando el magma se enfría rápidamente en la superficie formando volcanes o mesetas, tales como el basalto y las riolitas entre otras rocas de este grupo que son fáciles de reconocer por su textura vidriosa, textura de grano fino y forman cristales muy pequeños (López Hernández , 2013), precisamente nuestro estudio se centra en este tipo de roca.

1.2.1.5 Textura de rocas ígneas

Textura en un término del latín significa entretejer, es una característica física de las rocas con referencia a la textura, tamaño, forma y entrelace o arreglo de sus granos de los minerales que forman para construir sus combinaciones de las rocas ígneas (Judson, 2000).

La textura de la roca se forma a partir del enfriamiento de la lava durante las erupciones volcánicas. Una roca intrusiva de grano grueso como el granito, muestra los cristales visibles a simple vista y los cristales de rocas volcánicas son de grano fino tales como el basalto (López Hernández , 2013).

La textura es una característica importante donde revela el ambiente en el cual se formó la roca, permitiendo a los geólogos hacer deducciones sobre el origen de la roca mientras se trabaja en campo, determinando factores que influyen en las rocas como la velocidad en el cual fue enfriado la roca fundida, cantidad de sílice presente y la cantidad de gases disueltos en el magma (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013), ver figura 1.3.

Las rocas pueden presentarse en diferentes formas y tamaños. Ver figura 1.4, donde se aprecia el efecto de una erupción volcánica que expulsa a la atmosfera lava rica en sílice, formando un vidrio espumoso denominado como plumita, la consolidación de rocas exhibe una textura piroclástica que fueron expulsados en una erupción volcánica de manera violenta, cuando los fragmentos de roca son cristalizados cerca de la superficie de la tierra, se enfrían rápidamente formando una textura de grano fino, si el magma ya contiene cristales grandes produce una textura porfídica donde representa que tiene una mezcla de minerales que fueron enfriados primero lentamente y posteriormente rápido y la rocas de grano grueso conocidas como faneríticas se forman cuando el magma se solidifica lentamente en profundidad (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).



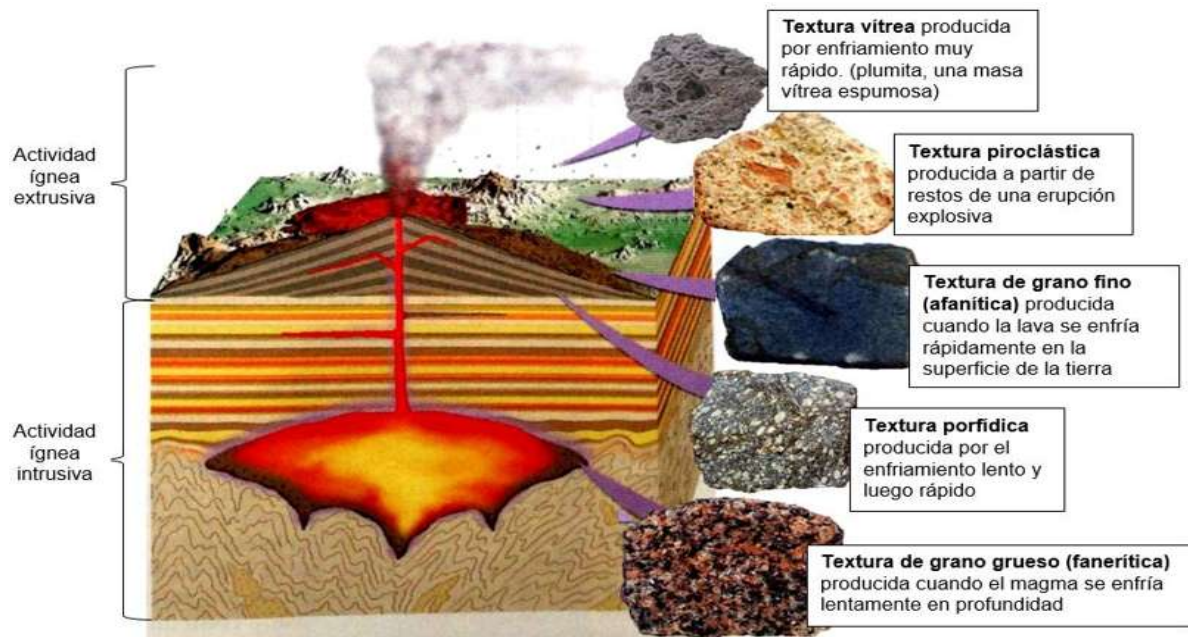


Figura 1.4. Textura de la rocas ígneas (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

Textura piroclástica, roca denominada como toba soldada está compuesta por partículas expulsadas por el volcán son de manera violenta en cenizas muy finas, gotas fundidas y fragmento de vidrio. Están compuestas por rocas piroclásticas que se solidificaron antes del impacto y se cementaron en algún tiempo después, dado que las rocas están compuestas de partículas o fragmentos individuales más que cristales interconectados, su textura es parecida a las rocas sedimentarias (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

Rocas ígneas más comunes, debido a que tienen una estética natural de uso arquitectónico es el granito habitualmente utilizado para monumentos, sepulturas y pisos que pueden ser pulidos con facilidad mostrando su belleza natural, ya que contiene cuarzo y feldespato; de colores claros generalmente de blanco a gris o rosa salmón. Otro material más común es la riolita equivalente del granito esencialmente compuesto por silicatos claros. La riolita contiene granos finos frecuentemente fragmentados vítreos y poros que indica el enfriamiento de su ambiente superficial de los materiales más comunes de depósitos de cenizas volcánicas que fueron arrojadas al exterior, ver la figura 1.5 (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

Textura	Composición		
	Félsica (Granítica)	Intermedia (Andesítica)	Máfica (Basáltica)
Fanerítica (De grano grueso)	 Granito	 Diorito	 Gabro
Afanítica (De grano fino)	 Riolita	 Andesita	 Basalto
Porfídica	 Granito porfídico	 Andesita porfídica	 Basalto porfídico

Figura 1.5. Rocas ígneas comunes (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

1.2.2 Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias (sedimentum = materia que se asienta) se forman de rocas que son acumuladas en la superficie de la tierra, en capas de arcilla y arena que las mismas olas de mar mueve formando un interperismo por su alteración de la roca en estado natural a través de un proceso inducido por el aire, agua y clima, formando un depósito sedimentario (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

Las partículas de rocas sedimentarias varían de tamaño como arena, limo y arcilla, conociendo algunos minerales como el cuarzo, feldespatos que son resistentes a la intensidad del interperismo (López Hernández, 2013).

Interperismo es un proceso en el cual las rocas se rompen en la superficie y son arrastradas por el viento o agua de un río que conduce al océano; atacadas por interperismo físico, cuando los minerales de roca son fragmentados por procesos mecánicos y no cambia su composición química e interperismo químico (López Hernández, 2013).

1.2.3 Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas conforman la tercera parte de rocas, su nombre en palabras griegas significa (meta = cambio) y (morphe = forma), que determina como cambio de forma por lo cual cambian su mineralogía, textura y composición química manteniendo su forma sólida sin pasar a estado líquido manteniendo su temperatura que se encuentra alrededor de 250 °C, sin llegar a una temperatura de 750 °C, que afecte su composición química (Judson, 2000).

El metamorfismo es un proceso geológico, que pertenece a la corteza del planeta como las rocas ígneas y sedimentarias. Solo que las rocas metamórficas se encuentran en la superficie a una profundidad que varía entre 10 a 30 km desde la mitad hasta la parte inferior de la corteza. La temperatura del planeta varía con la profundidad en distintas regiones, entre 20 °C hasta 60 °C por kilómetro de profundidad (López Hernández , 2013).

Foliación es el rasgo de textura del material de rocas con metamorfismo, consiste en un conjunto de planos paralelos y ondulaciones producidos por la deformación, dependiendo en gran medida, el grado de metamorfismo en el cual la roca este sometida. Los minerales tienden a cristalizarse de acuerdo a la posición paralela de la foliación que se presenta a una alineación llamado orientación preferente de los minerales apretando la roca y deformándola en el momento del metamorfismo afectando el tamaño de los cristales naturales de su foliación, ver tabla 1.1. Donde la roca recibe una textura diferente afectando su aspecto bandeado o estratificado, denominado en los planos de metamorfismo (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).



Tabla 1.1. Clasificación de rocas metamórficas comunes (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

NOMBRE DE LA ROCA		TEXTURA	TAMAÑO DE GRANO	OBSERVACIONES
PIZARRA	Aumento del metamorfismo	FOLIADA	MUY FINO	PIZARROSIDAD EXCELENTE, SUPERFICIES LISAS SIN BRILLO
FILITA			FINO	SE ROMPE A LO LARGO DE SUPERFICIES ONDULADAS, BRILLO SANTINADO
ESQUISTO			MEDIO A GRUESO	PREDOMINAN LOS MINERALES MICACEOS, FOLIACIÓN ESCAMOSA
GNEIS			MEDIO A GRUESO	BANDEADO COMPOSICIONAL DEBIDO A LA SEGREGACIÓN DE LOS MINERALES
MIGMATITA			MEDIO A GRUESO	ROCA BANDEADA CON ZONAS DE MINERALES CRISTALINOS CLAROS
MILONITA	PDCO FOLIADA		FINO	CUANDO EL GRANO ES MUY FINO PARECE SILEX, SUELE ROMPERSE EN LÁMINAS
METACONGLOMERATO			DE GRANO GRUESO	CANTOS ALARGADOS CON ORIENTACIÓN PREFERENTE
MÁRMOL	NO FOLIADA		MEDIO A GRUESO	GRANOS DE CALCITA O DOLOMITA ENTRELAZADOS
CUARCITA			MEDIO A GRUESO	GRANOS DE CUARZO FUNDIDOS, MASIVA, MUY DURA
CORNEANA			FINO	NORMALMENTE, ROCA MASIVA OSCURA CON BRILLO MATE
ANTRACITA			FINO	ROCA NEGRA BRILLANTE QUE PUEDE MOSTRAR FRACTURA CONCOIDE
BRECHA DE FALLA			MEDIO A MUY GRUESO	FRAGMENTOS ROTOS CON UNA DISPOSICIÓN ALEATORIA

Las pizarra es una roca foliada de una grano muy fino, ver en figura 1.6, compuesta por laminas pequeñas, usualmente es de color gris oscuro a negro, no es brillante muy parecido a la lutita, contiene materia orgánica (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).



Figura 1.6. Roca de cantera de pizarra (Tierra, 2018).

La filita se representa en grado metamórfico entre la pizarra y el esquisto, ver en figura 1.7, tienden a tener más brillo como los cristales de mica que pueden identificarse con facilidad y su superficie ondulada, se separan en placas de modo irregular (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).



Figura 1.7. Roca filita (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

El mármol es considerado como una roca metamórfica de cristales de grano grueso, de color claro. Su textura es suave, y la dureza es baja por lo cual es fácil de cortar y moldear para ser utilizada de modo arquitectónico en recubrimientos o simplemente para crear monumentos, su color puede ser rosa, blanco, gris, verde, y negro. Este tipo de material es el más utilizado para la construcción desde los tiempos prehistóricos como mármol decorativo (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

1.3 ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Las erupciones volcánicas ocurridas en nuestro planeta son conductos entre la superficie de la tierra y un cuerpo de magma situado dentro de la corteza, algunas pueden ser muy explosivas y otras no lo son. Los principales factores que influyen una erupción volcánica es la composición de magma, temperatura y gases. Estos son los factores que afectan la movilidad o viscosidad del magma, cuando es más viscoso un material, mayor es la resistencia a fluir (ver figura 1.8). El cono volcánico es un cerro formado por la acumulación de materiales expulsados al exterior, al enfriarse se convierte en rocas volcánicas. El cráter (cráter = cuenco), es la cima donde los volcanes tienen una cierta abertura para expulsar el magma, algunos volcanes tienen aberturas muy grandes denominadas calderas cuyos diámetros son mayores de un kilómetro y en raras ocasiones pueden superar los cincuenta kilómetros. Durante la conducción del magma, desde la cámara magmática hasta el cráter la mayor parte de descarga volcánica procede de una chimenea central. Las fumarolas (fumus = humo) es donde solo emiten gases (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

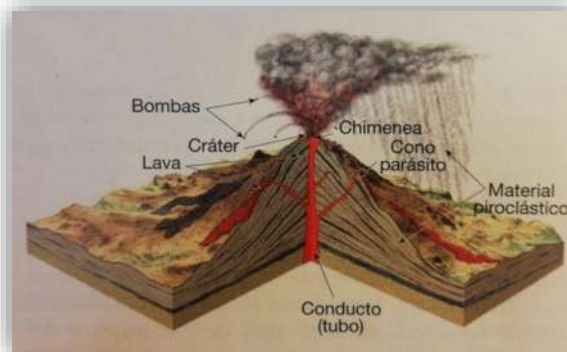


Figura 1.8. Anatomía de un volcán compuesto (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

1.3.1 Depósitos volcánicos

En los términos generales se producen en dos tipos de depósitos: Lavas y piroclastos. Los depósitos se forman dependiendo de magma del cual se deriva (López Hernández , 2013).

Lava: Se determina en diferentes formas del terreno como las montañas volcánicas que varían de forma de tamaño y flujos de lava que pueden ser modificados de acuerdo a sus diferentes tipos de temperatura, por ejemplo, cuando la lava es más viscosa fluyen con mayor dificultad y se mueve de manera muy lenta. Cuando la lava contiene gas es más probable que su erupción sea más violenta (López Hernández , 2013).

Se calcula que los volcanes al momento de hacer erupción expulsan grandes volúmenes de material. Donde se conoce como dos tipos de lavas basálticas denominadas lava pahoehoe y AA. Son de color oscuro y su erupción es a una temperatura de entre 1000 a 12000 °C, su flujo basáltico es de acuerdo a las condiciones donde se encuentre (López Hernández , 2013).

Lava pahoehoe: Significa (por donde se puede andar) en forma de cuerda (cordada) en una superficie lisa, de una palabra hawaiana, es muy fluida la lava al momento de desplazarse en capas y se solidifica en la superficie mientras continua fluyendo por debajo de la superficie donde el líquido fundido es arrastrado y retorcido de forma de ondulaciones y anillos tomando forma de cuerdas, ver la figura 1.9, (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).



Figura 1.9. Lava pahoehoe (Foto de Frans Lanting/Corbis), Volcán Kilauea, Huawaií (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

Lava AA: Puede hacer erupción de la misma chimenea del volcán, sin embargo no es tan fluido que la lava pahoehoe, es de menor temperatura, pierde sus gases y es mas viscoso lo que permite que se forme una lava gruesa como por ejemplo el del volcán parícutín que hizo erupción el 20 de febrero de 1943 en el pueblo de Parícutín y San Juan Viejo Parangaricutiro (Parícutini y Parangarikutirhu en purépecha), ver en la figura 1.10, (López Hernández , 2013).



Figura 1.10. Movimiento lento de lava del Volcán Parícutín (parícutín, 2016)

Piroclastos: Se presenta cuando los volcanes entran en erupción y lanzan pedazos al aire y expulsan rocas pulverizadas, lava y fragmentos de vidrio por la chimenea. El tamaño de los fragmentos expulsados varía entre polvo y cenizas volcánicas del tamaño inferior a dos milímetros de diámetro y los fragmentos lanzados en forma de globos se denominan como bombas volcánicas. Las cenizas volcánicas se producen conforme el magma asciende por la chimenea, los gases se expanden de manera muy rápida generando un fundido parecido a la espuma de una botella de champán recién abierta. Mientras los gases calientes se expanden de una manera explosiva, la espuma se rompe en fragmentos de vidrio muy finos y las cenizas calientes cuando caen, las partículas vítreas se funden formando una roca llamada toba soldada cubriendo gran parte de lugares del planeta formando capas de flujos de cenizas volcánicas (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

Los materiales piroclastos, su tamaño varía entre 2 a 64 milímetros conocido como piedras pequeñas (lapilli), las partículas superiores a 64 milímetros de diámetro se denominan bloques cuando están formadas por lava solidificada y bombas cuando

son expulsados junto con la lava a grandes distancias, determinado su textura, composición y escorias que se le nombra al material expulsado, producto del magma basáltico. Cuando los magmas de composición intermedia son expulsado de forma explosiva la roca suele ser de color más claro, menos densa y más ligera conocido como fragmentos de plumita, ver en la figura 1.11, (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

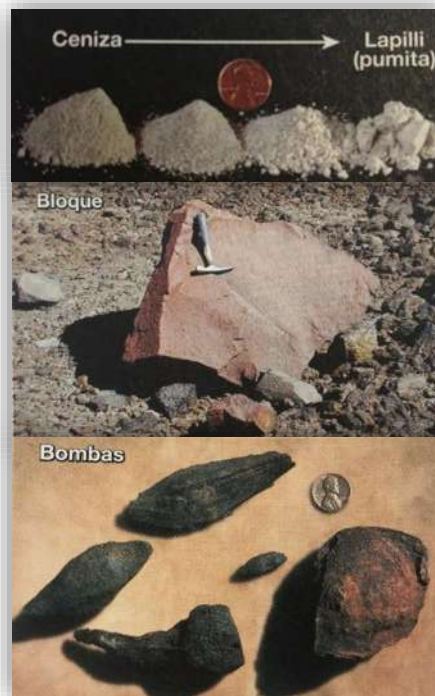


Figura 1.11. Ceniza volcánica, pequeños fragmentos de plumita (lapilli), Bloque volcánico de fragmento sólido y bombas basálticas de forma redonda mientras viajan por el aire (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

Los flujos piroclásticos o ígneas (cantera), provienen de erupciones muy violentas que ocurren cuando la ceniza caliente, polvo y gases son expulsados en forma de nubes ardientes que se mueven a una velocidad de 200 km/h, flotando gases a una baja densidad denominadas oleadas, moviéndose como una avalancha de nieve de gases volcánicos liberados por fragmentos de lava. El fuerte flujo turbulento es un mecanismo de cual los fragmentos de ceniza se mueven y la plumita son transportados en cantidades pequeñas de una colada piroclástica con suficiente

fuerza como para destruir edificios a su paso como en la figura 1.12, una nube caliente de cenizas destruyo y enterró casas, personas y todo lo que se encontraba a su paso (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).



Figura 1.12. Volcán Unzen de Japón, 3 de junio de 1991 (J. Tarbuck & K. Lutgens, 2013).

Cuando los materiales de una nube piroclástica rellenan la topografía a temperatura de 500 °C, las partículas llegan a un punto que se soldan y forman una roca endurecida llamada ígnea conocida como cantera que son cenizas volcánicas de material fino, se caracterizan por tener texturas piroclásticas (López Hernández , 2013).

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En la República Mexicana se conjugan sistemas montañosos, altiplanos, cuencas y planicies costeras, los climas variados, condicionados en parte por una topografía que ha dado lugar al desarrollo de desiertos, selvas tropicales, bosques montañosos (Lugo- Hubp, 1990).



Para el estado de Michoacán es de mucha importancia la información geológica minera actual, la explotación de los recursos mineros metálicos, no metálicos, rocas y agregados pétreos de los municipios (Bustamante García, 2007).

Tlalpujahua proviene del náhuatl *-tlalli-* que significa *tierra* y *-poxohuac-* que significa *fofa*, por lo tanto, Tlalpujahua significa Terra fofa o esponjosa, pueblo pequeño conocido como pueblo mágico de Michoacán designado el 27 de junio de 2005, comparte historias de riquezas en minería donde más de 3 siglos fue sitio de bonanza minera con vetas de oro y plata (Bustamante García, 2007).

El pueblo de Tlalpujahua colinda con Contepec, al este y al sur con el estado de México, al poniente con Senguio y al poniente con Maravatío a una distancia de 156 km de la capital del estado de Michoacán, la principal vía de comunicación desde Morelia, capital del estado, es la autopista de cuota México-Guadalajara a un tiempo de dos horas y media, cuenta con carreteras alternas como la carretera federal No. 126 , carretera antigua pavimentada que comunica a Morelia-Maravatio-El Oro-Atacomulco, además el municipio se conecta con una carretera estatal, con Venta de bravo al norte y al sur va hacia Santa María de los Ángeles, tramo donde se encuentran localizados los bancos de material de cantera conocido como rocas ígneas volcánicas, o riolitas de diferentes colores (Bustamante García, 2007).

En la presente investigación se pretende dar a conocer el material de agregados pétreos que se encuentran dentro la región del municipio de Tlalpujahua del Estado de Michoacán implementando la infraestructura geológico-mineral del pueblo para localizar los recursos de materia prima (Bustamante García, 2007).

2.1 LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO

Tlalpujahua de Rayón es una localidad donde se localiza en el extremo noreste del estado de Michoacán, tiene una extensión territorial de 1,231.49 km², equivalente al 0.39% de la superficie del estado, que es de 58,836.95 km², se encuentra limitado entre las coordenadas geográficas 19°42'- 19°52' de latitud norte, y 100°08'-100°17'



de longitud oeste; Tlalpujahua, cabecera municipal, está situada a $19^{\circ}47'40''$ de latitud norte y $100^{\circ}10'30''$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 2,580 metros sobre el nivel del mar, ver la figura 2.1, Carta Geológica del Municipio Tlalpujahua, escala 1:50,000.

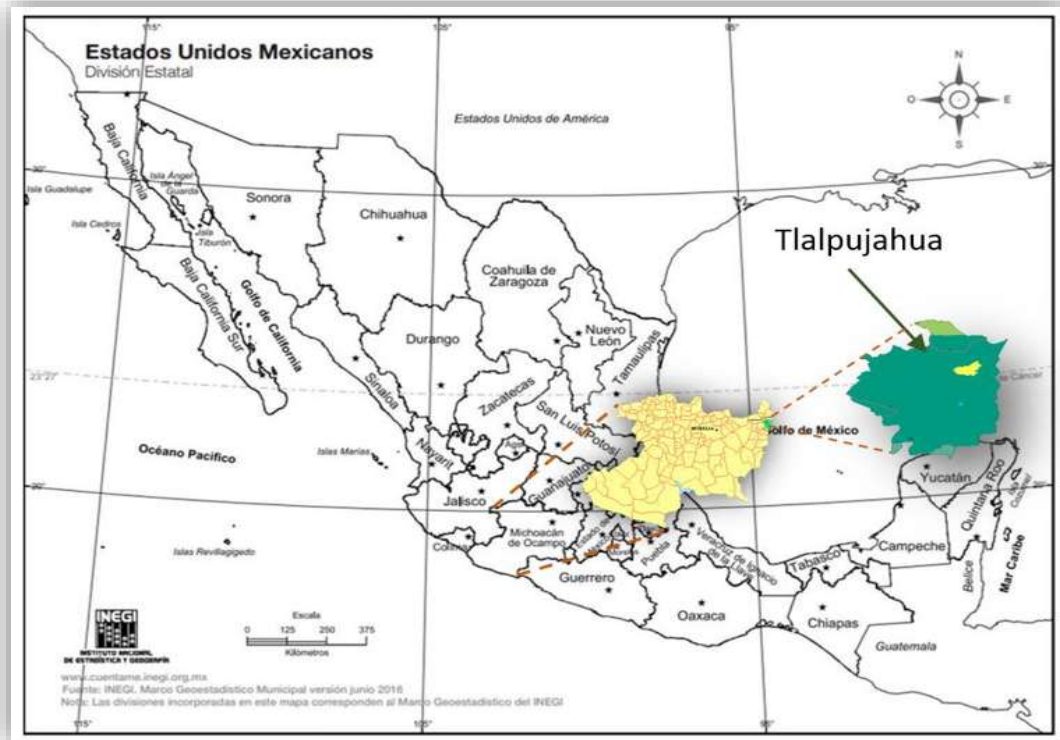


Figura 2.1. Mapa de Localización del Municipio de Tlalpujahua, Michoacán (INEGI, 2016).

2.2 Fisiografía

Se localiza fisiográficamente el municipio de Tlalpujahua en la Provincia del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) o zona de eje volcánico, ver figura n 2.2. La Provincia del Cinturón Volcánico Mexicano comprende toda la parte norte del estado de Michoacán y se extiende regionalmente desde Veracruz hasta Nayarit, es uno de los elementos estructurales más recientes de la geología de México, teniendo en cuenta estos aspectos fisiográficos el área del municipio se encuentra cubiertas por la Subprovincia de Mil Cumbres, ver en la figura 2.3, zona donde abarca los municipios del noreste de Michoacán; Angangueo, Ocampo, Áporo, Tlalpujahua y Epitacio Huerta (Bustamante García, 2007).



Figura 2.2. Provincias Fisiográficas de México (Bustamante García, 2011).

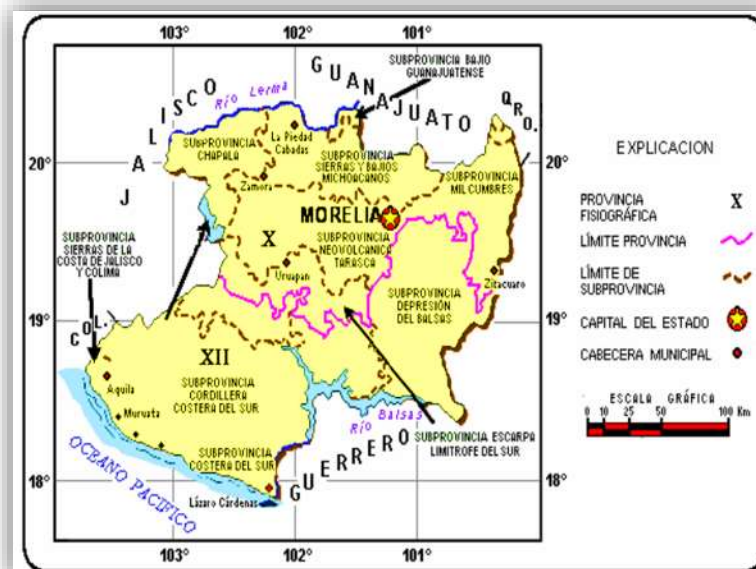


Figura 2.3. Provincias Fisiográficas del estado de Michoacán (Bustamante García, 2007).

Dentro del municipio de Tlalpujahua, en la parte central del área es una secuencia metamorfozada de esquistos verdes constituida por pizarra, metalutita, arenisca y piroclastos finos, por su parte las rocas son pertenecientes a la secuencia volcánica del cinturón mexicano, localizando los bancos de material de estudio, se encuentra la ígnea cuitzeo conocido como material dacita y piroclástico o ígneas, predominante al norte del municipio; La Granja (El gigante), El Moral, Llano Grande y La América, ver en la figura 2.4 (Bustamante García, 2007).

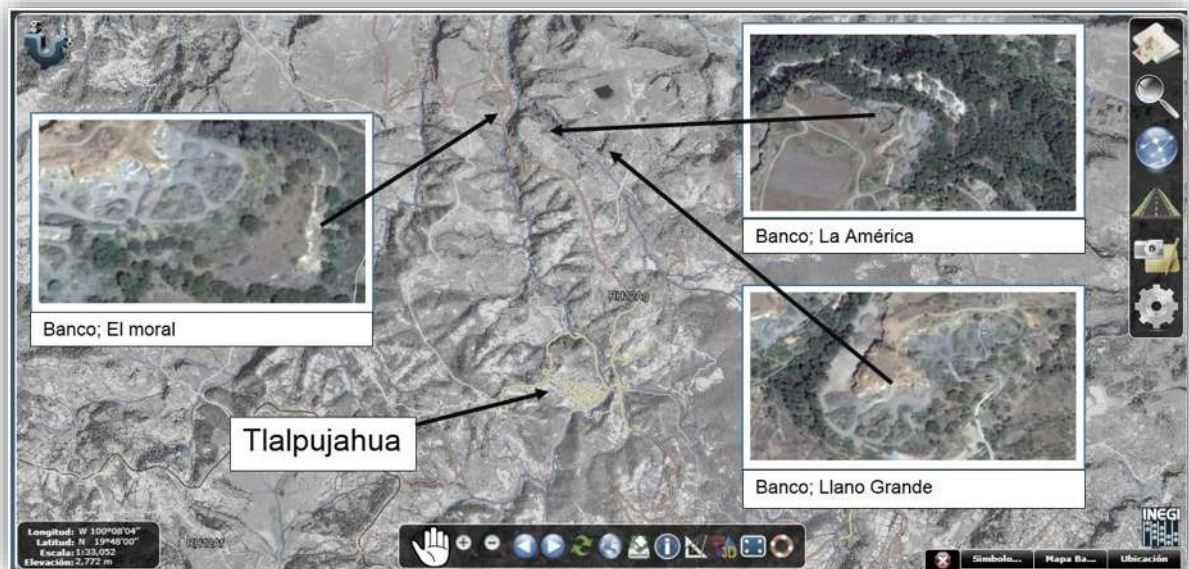


Figura 2.4. Localización de los bancos de material (INEGI, 2019).

Los bancos localizados en la parte norte del municipio de Tlalpujahua, donde se extrajo el material son los siguientes: banco El Moral, banco La América y banco Llano Grande. Se cuenta con muestras representativas de cada uno de los bancos, obtenidas directamente, observando los diferentes colores de rocas.

Banco El Moral: Banco conocido como mina a cielo abierto, se obtiene el material de color bronce (BR) y dorado (D), ver en la figura 2.5. Localizado en las coordenadas 19° 50' 20" latitud, 100° 11' 00" de longitud, 2,482 metros de altura sobre el nivel del mar, en la comunidad "El Moral" a una distancia de 4.08 kilómetros del municipio de Tlalpujahua.

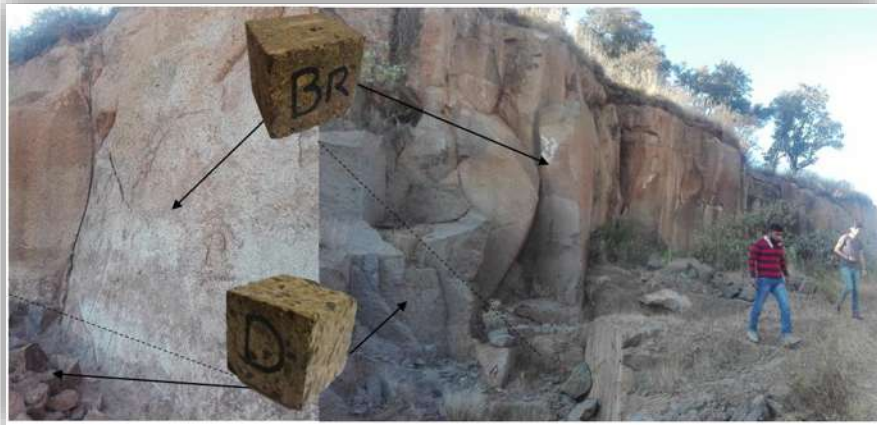


Figura 2.5. Banco de material "El Moral", Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Banco La América: Banco de cantera ígnea de textura piroclástica, se obtiene el material de color gris (G) y rosa (R), ver en la figura 2.6. Localizado en las coordenadas $19^{\circ} 50' 16''$ latitud, $100^{\circ} 10' 42''$ de longitud, 2,513 metros de altura sobre el nivel del mar, en la comunidad "La América" a una distancia de 3.58 kilómetros del municipio de Tlalpujahua. Uno de los principales recursos de cantera que se obtiene en la actualidad de este color claro; gris y rosa. Para su uso actual en recubrimiento en fachadas, pisos y entre otros aspectos utilizados de forma estructural y arquitectónica.

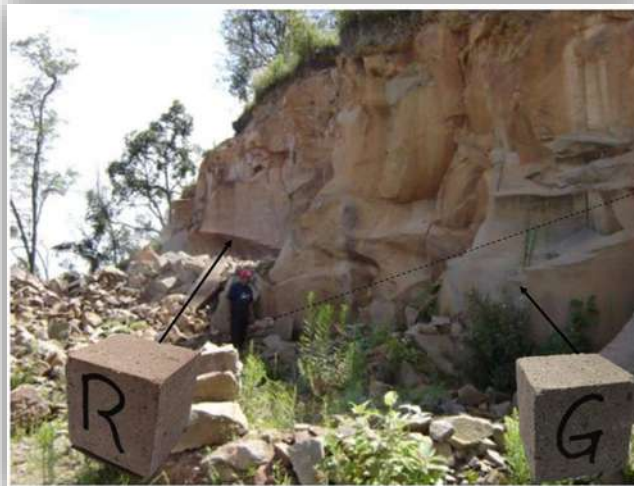


Figura 2.6. Banco de material "La América", Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Banco Llano Grande: Banco de cantera ígnea de textura piroclástica de color negro (N), café oscuro (Co) y café rojizo (Cr), ver en la figura 2.7. Localizado en las coordenadas 19° 50' 03" latitud, 100° 10' 13" de longitud, 2,556 metros de altura sobre el nivel del mar, en la comunidad "Llano Grande" a una distancia de 2.34 kilómetros del municipio de Tlalpujahua. Uno de los principales recursos de cantera actual más utilizada comúnmente es de color negro (N), para recubrimiento en fachadas, pisos y entre otros aspectos utilizados de forma estructural y arquitectónica.



Figura 2.7. Banco de material "Llano Grande", Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

2.2.1. Importancia de la minería en la región

En actualidad la actividad laboral más importante en el municipio es la minería, explotación de roca volcánica, se utiliza para uso estructural como en mamposteo y arquitectónico en fabricación de diversas figuras artesanales, esculturas o detalles decorativos. El municipio cuenta con alrededor de 40 talleres donde se trabaja el material, en diferentes localidades donde hay varios productores pequeños o medianos, sin embargo existen 4 o 5 productores que cuentan con más gente y equipo, para la explotación de los bancos (Bustamante García, 2007).

El municipio de Tlalpujahua ha estimado una reserva potencial aproximada de los bancos de material de roca cantera que actualmente se encuentran en producción ver tabla 2.1 (Bustamante García, 2007).

Tabla 2.1. Bancos de rocas dimensionables (Bustamante García, 2007).

NOMBRE	SUBSTANCIA	POTENCIAL m3	ORIGEN
El Gigante	Dacita (cantera)	1'000,000	Volcánico
El Chimal	Andesita (cantera)	250,000	Volcánico
El Chimal I	Andesita (cantera)	30,000	Volcánico
La Escuela	Riolita (cantera)	100,000	Volcánico
El Moral	Dacita (cantera)	1'500,000	Volcánico
Llano Grande II	Riolita (cantera)	80,000	Volcánico
El Moral I	Andesita (cantera)	100,000	Volcánico
La América	Riolita (cantera)	20'000,000	Volcánico
El Roble	Andesita (cantera)	90,000	Volcánico
Llano Grande I	Riolita (cantera)	100,000	Volcánico
Llano Grande	Andesita (cantera)	1'200,000	Volcánico
La América I	Dacita (cantera)	300,000	Volcánico
La América II	Andesita (cantera)	400,000	Volcánico
Las Canteras	Andesita (cantera)	200,000	Volcánico
El Moral II	Andesita (cantera)	1'000,000	Volcánico
El Agrario	Andesita (cantera)	75,000	Volcánico

Los tres bancos de material pétreo en estudio indicados en la tabla 2.1; son los que tienen mayor cantidad de potencial en la región de acuerdo al inventario físico de los recursos minerales del municipio de Tlalpujahua del Estado de Michoacán, por su gran tamaño varia en algunos bancos el color de las rocas ígneas: banco “El Gigante” contiene cantera Dacita de color negro (N), café oscuro (Co) y café rojizo (CR), banco “El Moral” contiene cantera Dacita de color bronce (Br) y dorado (D), banco “La América” contiene cantera Riolita de color rosa (R) y gris (G). de origen volcánico.

2.3 Uso actual de roca ígnea o riolita

La roca de cantera es una explotación minera a cielo abierto, se considera roca dimensionable y material ornamental, que se puede cortar, pulir, y dar alguna forma



específica deseada para uso estructural obteniendo el material de los bancos, para uso de mamposteo se transporta en camión volteo con capacidad de 7 m³, ver figura 2.8, su forma de cargar el camión es manual, permitiendo que cada pieza de cantera sea de un peso aproximado, maleable que permita la facilidad de transportar el material y construir algún elemento estructural deseado dando un punto estético de arquitectura, ver en la figura 2.9.



Figura 2.8. Transporte de cantera de color negro, banco "Llano Grande", Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 2.9. Muro de contención en función estructural y arquitectónico (J.C. García Perdomo, 2018).

El material con mayor demanda de trabajo en la región, para la construcción es el “laminado”, transportado por camiones a los talleres, ver figura 2.10, en forma de bloques grandes, listo para ser cortados en máquinas aptas para el material utilizando discos de diamante, ver figura 2.11, obtenido laminas grandes de diferentes medias deseadas para recubrimiento de pisos o fachadas dando un diseño arquitectónico a la construcción, ver figura 2.12 y 2.13. La roca de cantera también es utilizada para la elaboración de monumentos y figuras ornamentales, ver figura 2.14, donde se puede apreciar las grandes obras de arte labradas a martillo y cincel.



Figura 2.10. Transporte de bloques grandes de cantera, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 2.11. Maquinaria especial para corte en laminado de cantera, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 2.12. Material “laminado” después de proceso de corte y colocado en obra arquitectónica, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 1.13. Casa habitación con punto de enfoque arquitectónico de material de cantera color café oscuro
Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 2.14. Monumento de águila en glorieta de reforma y estelas de la constitución en Morelia Michoacán
(Lara Bautista, 2017).

2.4 Extracción del material de cantera ígnea

El material de investigación se obtuvo en cada uno de los bancos de la región considerando lo suficiente para la experimentación, analizando tres bancos de material de cantera de los que se extrajo siete muestras diferentes, clasificándolas por su color: bronce (BR), dorado (D), gris (G), rosa (R), negro (N), café oscuro (Co) y café rojizo (Cr). Se cortaron muestras prismáticas con diferentes medias para su procedimiento de prueba en el taller de don Miguel García G. en la comunidad “La América” del municipio de Tlalpujahua Michoacán, ver figura 2.15, y se llevaron al Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



Figura 2.15. Corte de material con disco de diamante, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La caracterización física consiste en diferentes pruebas para determinar el contenido de a los análisis de ensayo; porcentaje de humedad de absorción, densidad relativa, densidad absoluta y colorimetría. Se obtuvo una muestra de color de tres bancos, colectando siete colores, analizando cinco muestras cubicas de 5cm x 5cm dando un total de 35 especímenes de los cuales se realizaron las pruebas de caracterización del material.

3.1.1 Porcentaje de humedad de absorción

La prueba de contenido de humedad de absorción, se realizó de acuerdo a los estándares indicados de la norma ASTM C127-04 y el Libro de Análisis de Materiales del Laboratorio "Ing. Luis Silva Ruelas", ya que coinciden en el objetivo y su procedimiento.

Objetivo: Determinar el porcentaje de agua que puede absorber una muestra representativa de roca durante un tiempo de 24 horas con respecto a su masa seca.

Equipo:

- 5 muestras representativas de roca de forma cúbica de 5 centímetros de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera.
- Un recipiente con agua.
- Una franela.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Un horno para el secado de las muestras.

Procedimiento:

1. Se limpian, enumeran y se secan las muestras en el horno durante un tiempo de 24 horas a una temperatura de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$. Se dejaron en el horno en un periodo de 48 horas a tal manera de obtener su masa seca constante, ver figura 3.1.
2. Se sacan las muestras, se dejan enfriar a temperatura ambiente y se determinan su masa seca (Ms) en la balanza, ver figura 3.2.
3. Se ponen a saturar las muestras, sumergidas completamente en un recipiente con agua durante un tiempo de 24 horas, ver figura 3.3.
4. Se extraen las muestras, se secan superficialmente con una franela y se determina su masa húmeda (Mh) en la balanza, ver figura 3.2.





Figura 3.1. Determinación de masa seca constante en gramos a temperatura 110 ± 5 °C, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.2. Obteniendo resultado de masa del material, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.3. Muestras representativas de cubos de roca completamente saturadas, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculo:

Se determina el porcentaje de absorción de la roca con la fórmula:

$$\% \text{ H. ABS} = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

Dónde:

% H. ABS = humedad de absorción expresada en porcentaje.

Mh = masa húmeda de la muestra superficialmente seca, g.

Ms = masa seca constante al horno de la muestra, g.



Especificaciones:

La absorción que indica la norma ASTM C127 -04 es de un valor promedio de 9.4%, cuando la muestra es ensayada en fracciones separadas (ASTM - C 127-01, 2003).

La absorción de agua permisible en fragmentos de roca que se empleen en elementos estructurales de mampostería, no será mayor del 4%, (N-CMT-2-01-003, 2002).

3.1.2 Densidad relativa o Gravedad específica

Objetivo: Obtener la densidad relativa de una muestra representativa de roca, respecto a la densidad del agua que genera un empuje vertical.

Equipo:

- 5 muestras representativas de roca de forma cúbica de 5 centímetros, de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Una canastilla metálica.
- Un recipiente con agua.
- Un horno para el secado de las muestras.
- Una franela.

Procedimiento:

1. Se limpian, enumeran y se secan las muestras en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. ver figura 3.4.
2. Se dejan enfriar a temperatura ambiente y se determina su masa seca (Ms). ver figura 3.5.
3. Se ponen a saturar sumergidas completamente en un recipiente con agua durante 24 horas, posteriormente se secan superficialmente con la franela y se determina su masa superficial seca (Mss). ver figura 3.5 y 3.6.
4. Se adapta la canastilla a la balanza y se sumerge en agua para determinar su masa (Mc).



5. Se coloca la muestra dentro de la canastilla sumergida para determinar su masa sumergida más la canastilla (M_{mc}). ver figura 3.7.
6. Se determina la masa sumergida de la roca ($M_a = M_{mc} - M_c$)



Figura 3.4. Muestras en el horno a temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta tener masa constante, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.5. Se determina masa, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.6. En un recipiente se colocan las muestras hasta quedar completamente saturadas de agua, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.7. Determinación de la masa específica, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculo.

Fórmula para determinar la gravedad específica de la roca es:

$$G. E. = \frac{M_s}{M_{ss} - M_a}$$



Dónde:

Ms = Masa seca de la muestra (g).

Mss = Masa superficialmente seca (g).

Ma = Masa sumergida de la muestra (g).

G.E = Gravedad específica

Especificaciones:

Considerando la densidad relativa (gravedad específica), cuando la muestra es ensayada en fracciones separadas, el valor promedio es de 9.1 o 9.2. (ASTM - C 127-01, 2003).

3.1.3 Densidad absoluta por medio del picnómetro

Objetivo: Determinar la densidad de una roca de masa conocida por medio del desplazamiento de volumen.

Equipo:

- 5 muestras representativas de roca de forma cúbica de 5 centímetros de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Un picnómetro.
- Una probeta.
- Franela.

Procedimiento:

1. Las cinco muestras se ponen a saturar en un recipiente con agua durante 24 horas, posteriormente se secan superficialmente con la franela y se determina su masa húmeda (Mh). ver figura 3.8.



2. Se coloca el picnómetro y la probeta en una superficie plana, se llena con agua y se procede a colocar las muestras de roca dentro del picnómetro, recibiendo el agua desalojada con una probeta graduada, esperamos a que escurra el agua desalojada y tendremos en la probeta el volumen de agua correspondiente al (V) de las partículas de roca. Se utilizaron tres vasos precipitados para obtener el volumen de cada uno de los especímenes observando la graduación del cambio de nivel de agua. ver figura 3.9.



Figura 3.8. Muestras de cantera completamente saturadas con agua, en un periodo de tiempo de 24 horas, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.9. Vaso precipitado utilizado para medir el volumen de cada uno de los especímenes, misma función del picnómetro midiendo el agua que desaloja, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculo:

Fórmula para determinar la densidad absoluta de la roca:

$$D = \frac{M}{V}$$

Dónde:

M = Masa húmeda de la roca (g).

V = Volumen de la roca (cm³).

D = Densidad en g/cm³

Especificaciones:

Los fragmentos de roca tendrán una densidad de 2.3 como mínimo en materiales para mampostería (N-CMT-2-01-003, 2002).

3.1.4 Colorimetría

La colorimetría se comprende como un estudio de los colores que desarrolla métodos para obtener valores numéricos del color, una vez cuantificados se pueden operar con ellos y deducir las características de los colores mediante mezclas, así como averiguar las cantidades que hay que mezclar de varios colores elegidos y considerarlos como primarios para obtener el color deseado. Para esto se utiliza los valores de RGB, es la composición en términos de la intensidad de los colores primarios (rojo, verde y azul). Cada color se percibe de una manera diferente como el matiz, que es el estado puro del color, la saturación muestra el grado de pureza, y la intensidad o luminosidad un color, es la característica que hace que este aparezca más claro, independientemente de su saturación (N. Muriel).

Objetivo: Determinar un estudio de medida en los colores de rocas ornamentales denominando con nombres de referencia a los colores que pueden o no coincidir con el original.

Equipo:

- 5 muestras representativas de roca en forma prismática, con humedad ambiente, de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera.
- Aparato colorímetro “espectrofotómetro”.

Procedimiento:

1. Calibrar el aparato espectrofotómetro, ver figura 3.11.
2. Tomar lecturas usando un campo de aplicación de 10x30 cm², distribuyendo la toma de medición en 10 lecturas en promedio de 7 colores diferentes de rocas ornamentales, todas las probetas de la misma región pero de diferente banco, ver figura 3.10.





Figura 3.10. Toma de medidas de color.



Figura 3.11. Calibración del espectrofotómetro.

Valores en el sistema de color $L^* a^* b^*$:

Tabla 3.1. Medidas de L^* , a^* y b^* . Indica los valores de L^* , que sitúan alrededor del 32-56 %, obteniéndose valores positivos para a^* y b^* .

Nombre	Nomenclatura	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
Café rojizo	CR	42.26	10.09	14.02	16.89	56.09
Café Oscuro	Co	36.26	3.96	7.53	8.52	61.94
Negro	N	32.51	2.27	4.05	4.69	60.11
Dorado	D	46.46	4.08	9.42	10.26	66.67
Bronce	BR	46.85	5.67	12.26	13.52	65.09
Rosa	R	55.56	6.5	7.94	10.27	50.62
Gris	G	56.1	2.84	5.42	6.12	62.35

3.2 PRUEBAS MECÁNICAS

Las pruebas mecánicas que se realizan, se definen como capacidad del material para resistir acciones externas o internas que implican la aplicación de fuerzas sobre el mismo. Son las más comunes que se encuentran entre este tipo de pruebas y son muy importantes para la caracterización del material que este analizando, estas fuerzas son; compresión y flexión (González Cuevas & Feernandez Villegas, 2005).

3.2.1 Compresión simple

Objetivo: Determinar cuál es la máxima carga sobre el área que puede soportar una roca.

Equipo:

- 5 muestras representativas de roca de forma cúbica de 5 centímetros de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera.
- Un vernier o pie de rey.
- Máquina universal de pruebas Tinius Olsen ó Forney.
- Lija.

Procedimiento:

1. Se lijan las caras del área de contacto (si es necesario), para tener una superficie plana y se distribuya la carga de manera uniforme.
2. Se limpian, enumeran y se toman las medidas reales de cada una de las muestras para determinar el área efectiva de contacto. ver figura 3.12.
3. Se coloca la muestra en la máquina universal de pruebas. ver figura 3.13.
4. Se ajusta y se nivela la máquina universal. ver figura 3.14.
5. Se le aplica carga en forma lenta y constante hasta la falla de la muestra, registrándose la carga de ruptura. ver figura 3.15.





Figura 3.12. Se toman medias reales de cada cubo y se enumeran las muestras de los siete colores de análisis, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.13. Se coloca la muestra cubica en la maquina Universal para ser analizada en prueba de compresión simple, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.14. Se ajusta y nivela la maquina Universal, para aplicar carga y obtener su carga máxima, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.15. Punto de falla del material, mostrando su agrietamiento, así posteriormente se analizaron cinco muestras de los siete colores de prueba, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculo:

Se determina la resistencia máxima de ruptura a la compresión de una roca con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{W}{A}$$

Dónde:

R = resistencia máxima a la compresión (kg/cm²).

W = carga máxima aplicada a la muestra (kg)

A = área de contacto de la muestra (cm²)



Especificaciones:

Los fragmentos tendrán una resistencia mínima a la compresión simple en estado húmedo de 153 Kg/cm², (N-CMT-2-01-003, 2002).

3.2.2 Flexión Estática en Rocas

Objetivo: Determinar el módulo de ruptura cortante de rocas con dimensiones normalizadas que deben cumplir las probetas a ensayar y los accesorios necesarios para determinar la resistencia a flexión.

Equipo:

- Cinco muestras representativas de roca de forma prismática de 10 x 30 x 2.5 centímetros, con humedad ambiente, de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera.
- Un vernier o pie de rey.
- Máquina prensa hidráulica con cuchillas de carga y apoyos.
- Flexómetro.

Procedimiento:

1. Se limpia, enumeran y se toman las dimensiones reales de cada una de las muestras, ver la figura 3.16 y 3.17.
2. Se marca el lugar donde será colocado el material sobre los apoyos a 2.5 cm de los extremos, ver figura 3.18.
3. Marcar el centro de la muestra donde se aplicará la carga, ver figura 3.19.
4. Nivelar y ajusta la maquina donde se aplicará la carga.



5. Colocar la muestra en la maquina prensa hidráulica y verificar que coincidan las marcas con la cuchillas, ver figura 3.20.
6. Aplicar carga en la roca de cantera ígnea de forma lenta y continua hasta obtener la falla de la muestra ver figura 3.21.



Figura 3.16. Especímenes limpios, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

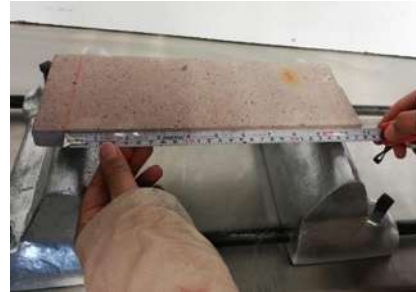


Figura 3.17. Toma de dimensiones del espécimen, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.18. Marcar a una pulgada los externos, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.19. Marcar el punto centro donde se aplica la carga, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.20. Colocar el espécimen en la prensa hidráulica, ajustar y nivelar, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.21. Aplicación de carga en el espécimen, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculo:

Se determina el módulo de ruptura a flexión de una roca con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{3WL}{2BD^2}$$

Y se calcula el esfuerzo cortante obteniendo con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{3W}{2A} = \frac{3W}{2BD}$$

Dónde:

σ = Esfuerzo cortante (Kg/cm²).

W = Carga máxima aplicada a la muestra (kg).

L = Longitud entre apoyos (cm).

A = Área de la sección de la muestra (cm²)

B = Ancho de la muestra (cm).

D = Peralte de la muestra (cm).

3.3 ANÁLISIS DE DURABILIDAD

3.3.1 Velocidad de Pulso Ultrasónico

En la prueba de Velocidad de Pulso Ultrasónico la norma NMX-C-275-ONNCCE-2004, especifica el método para determinar la velocidad de propagación de pulsos de onda de esfuerzo longitudinal y la Red durar se especifica un procedimiento similar. La medición de la velocidad del pulso ultrasónico es una prueba alternativa no destructiva. Mediante la propagación de ondas de sonido que atraviesan a los cuerpos sólidos a partir de excitaciones vibratorias en forma de: ondas longitudinales o de compresión, ondas transversales o de cortante y ondas superficiales o Rayleigh. La velocidad de estas ondas depende de las propiedades elásticas del medio, de tal manera que, conociendo la velocidad del sonido y la masa



del sólido, se puede evaluar la calidad, homogeneidad (uniformidad relativa) y densidad. De tal manera que se pueda indicar los cambios de propiedades en los vacíos o grietas y para evaluar la efectividad de las reparaciones a estas grietas. También es aplicable para indicar y en el estudio de las estructuras para estimar la severidad del deterioro (Durar, 1998).



Figura 3.22. Aparato V-Meter Mk IV, marca James Instruments, para Velocidad de Pulso Ultrasónico, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Equipo:

- 5 muestras representativas de roca de forma cúbica de 5 centímetros, de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera.
- Un vernier o pie de rey.
- Aparato de pulso electrónico de frecuencia ultrasónica (V-Meter MK IV).
- Transductor- emisor (aparato que posibilita la transformación del pulso eléctrico de onda de choque en una banda de 24 kHz hasta 500 kHz).
- Cables coaxiales que permitan la conexión de los transductores al circuito generador- receptor.

Procedimiento:

- 1) Los especímenes deben tener la superficie plana, lisa, exenta de suciedad y no deben estar carbonatados. Aquellas superficies que no sean suficientemente lisas, se pueden lijar de tal manera hasta obtener una superficie donde se pueda acoplar los transductores o sondas, pero sin que puedan interferir en la medida.
- 2) Se calibra el equipo de velocidad de pulso con ultrasonido usando la barra de referencia.
- 3) El modo de prueba puede ser de tres formas:
 - a) Transmisión directa: con los transductores en las caras opuestas del material, (En este caso usamos la transmisión directa). ver figura 3.23.
 - b) Transmisión indirecta: con los transductores en misma cara.
 - c) Transmisión semidirecta: con los transductores en las caras adyacentes.
- 4) Se aplica un adecuado agente de acoplamiento (como vaselina, grasa, goma moldeable, u otros materiales viscosos (en este caso gel para cabello) a las caras de los transductores o la superficie de ensayo o ambas.
- 5) Se presionan las caras de los transductores firmemente contra la superficie, hasta que se muestre un tiempo estable o hasta obtener el valor estable más bajo que se considere adecuado. ver figura 3.24.
- 6) Se registra ese valor y se determina la distancia en línea recta medida de centro a centro de las caras de los transductores.





Figura 3.23. Transmisión directa con los traductores en las caras opuestas de la roca, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.24. Registrando el valor más estable de la distancia en línea recta medida de centro a centro de la cara de los traductores, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculo:

Si es el caso donde se toma solamente la lectura del tiempo que toma el pulso para atravesar la longitud, se aplica la siguiente fórmula en los modos de prueba de transmisiones directas e indirectas:

$$V = \frac{L}{T}$$

Donde:

V = velocidad de pulso, en Km/s.

L = distancia de paso, en mm.

T = tiempo que toma el pulso para atravesar la distancia, en μ s.

De la medición de la velocidad de las ondas ultrasónicas es posible calcular el módulo elástico dinámico como sigue (en este documento no se realizó el cálculo de el modulo):

$$Ed = V^2 Q \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - u)}$$

Donde:

Ed = módulo de elasticidad dinámico, en MN/m².

V = velocidad de pulso, en Km/s.

Q = densidad en Kg/m³ (Masa saturada entre volumen)

u = proporción de Poisson (concreto de alta resistencia $u = 0.15$; concreto de baja resistencia $u = 0.30$).

Especificaciones:

De acuerdo a la Red Durar, para evaluar su calidad no basaremos en la tabla 3.2 de criterios de evaluación en especificaciones de concreto.

Tabla 3.2. Criterio de evaluación para calidad en función de Velocidad de Pulso Ultrasónico (Durar, 1998; NMX-C-275-ONNCCE, 2004).

Velocidad de Propagación (m/s)	Tolerancia permisible
<2,000	Deficiente
2,001 a 3,000	Normal
3,001 a 4,000	Alta
>4,000	Durable

3.3.2 Resistividad Eléctrica (Durar, 1998)

La Resistividad Eléctrica se define como una propiedad de cada material y corresponde al recíproco de su conductividad, su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m. (Durar, 1998)

Como indica la Ley de Ohm la resistividad es una propiedad volumétrica del material e indica su resistencia al paso de las cargas eléctricas. La prueba consiste en aplicar un voltaje V y medir el paso de corriente eléctrica, para después determinar la Resistividad Eléctrica dividiendo la distancia que hay entre electrodos entre el área transversal de la muestra.



Cuanto mayor es la resistividad menor es la porosidad, siendo mayor la resistencia al ingreso de sustancias agresivas y la resistencia mecánica, al tener más fase sólida por volumen. Además, la muestra deber estar saturada de agua para poder realizar la prueba, porque a menor saturación mayor resistividad. (Andrade & D'Andrea, 2011)

Equipo:

- 5 muestras representativas de roca de forma cúbica de 5 centímetros, de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera.
- Equipo medidor de dimensiones (Vernier).
- Equipo “Resistómetro” marca Nilsson.
- Placas metálicas.
- Almohadillas absorbentes de agua.

Procedimiento de prueba:

- 1) Se enumeran los especímenes de prueba, si son cubo se marca con una cruz la cara más plana del espécimen, que es donde se coloca una de las placas metálicas de la prueba. ver figura 3.25.
- 2) Se toman las dimensiones de la muestra: lado 1, lado 2, espesor y el peso. ver figura 3.26.
- 3) Se humedecen las almohadillas a colocar sobre las placas metálicas.
- 4) Se garantiza la conexión del amperímetro y voltímetro. ver figura 3.27.
- 5) Se monta la muestra en el equipo correspondiente, corroborando el contacto con las placas metálicas que se colocan sobre el espécimen. ver figura 3.28.



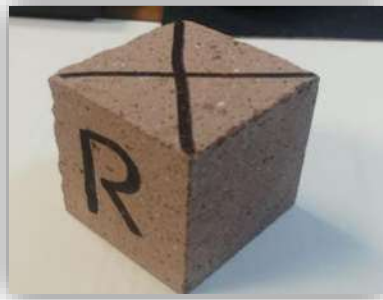


Figura 3.25. Se enumeran y se marcan con una cruz donde será colocada una placa metálica para la prueba, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.26. Se toman las dimensiones reales con un vernier, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.27. Se calibra el aparato resistómetro garantizando la conexión del amperímetro y voltímetro, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

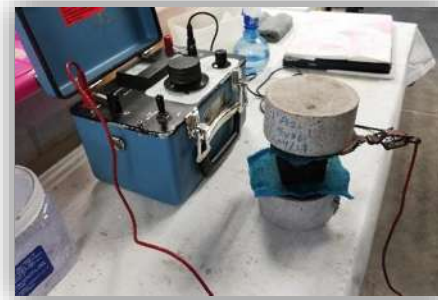


Figura 3.28. Se aplica la prueba de Resistividad Eléctrica, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Mediante la fuente y a través de las placas metálicas adosadas a las caras laterales del espécimen, se somete éste a una corriente dada, (I) y registrando un voltaje (E). La Resistencia eléctrica, R_e , se calcula como E/I y se expresa en ohm, (Durar, 1998).

Cálculo: De esta manera la Resistividad Eléctrica está dada por:

$$\rho = Re\left(\frac{A}{L}\right)$$

Dónde: ρ = Resistividad Eléctrica, en $k\Omega\text{-cm}$ (ohm-m).

Re = resistencia eléctrica, en $k\Omega$.

A = área transversal del espécimen, en cm^2 .

L = longitud del espécimen, en cm.

Especificaciones:

Considerando la Red Durar, para evaluar la calidad nos basaremos en la tabla 3.3, de criterios para evaluación en especímenes de concreto.

Tabla 3.3.Criterio para evaluar la resistencia eléctrica (*Durar, 1998*).

Resistividad del Concreto (ρ)	Pronóstico de Corrosión
KΩ.cm	
$\rho > 200$	Poco Riesgo
$200 > \rho > 10$	Riesgo Moderado
$\rho > 10$	Alto Riesgo

De acuerdo a los criterios de la normativa mexicana, considerados para evaluar la Resistividad Eléctrica, ver tabla 3.4.

Tabla 3.4.Criterios para evaluar Resistividad Eléctrica (*NMX-C-514-ONNCCE., 2016*)

Resistividad	Pronóstico de Corrosión
$> 100 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm} - 200 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	El concreto es muy denso, por lo que su porosidad interconectada es extremadamente baja, al igual que el transporte de agentes agresivos hacia el acero de refuerzo. Las velocidades de corrosión del mismo acero son muy bajas, independientemente del contenido de cloruros o del nivel de carbonatación. No existe distinción entre acero en estado activo o pasivo.
$50 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm} \text{ a } 100 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	El concreto tiene una porosidad interconectada baja, dificultando el transporte de agentes agresivos al acero de refuerzo. Las velocidades de corrosión del mismo acero son bajas.
$10 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm} \text{ a } 50 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	El concreto tiene una porosidad interconectada de consideración, permitiendo que el transporte de agentes agresivos hacia el acero de refuerzo sea rápido. Las velocidades de corrosión del mismo acero son moderadas o altas en concretos carbonatados o con cloruros.
$< 10 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	El concreto tiene una porosidad interconectada excesiva, permitiendo que el transporte de agentes agresivos hacia el acero de refuerzo sea



extremadamente rápido. Las velocidades de corrosión del mismo acero son muy altas en concretos carbonatados o con cloruros. La resistividad no es el parámetro que controla el proceso de corrosión. El valor de la velocidad de corrosión obtenido con la NMXC-501-ONNCCE-2015 (véase 2. Referencias) refleja la cota superior de la velocidad de corrosión en ese concreto para un determinado contenido de cloruros o nivel de carbonatación.

3.3.3 Porosidad

Objetivo: Determinar la absorción capilar y la porosidad como una medida de su compacidad, (Durar, 1998).

Como porosidad del concreto se consideran los espacios vacíos que quedan en la masa del concreto y morteros a consecuencia de la evaporación del agua excedente del amasado y del aire atrapado en su manipulación. Los poros dependiendo de su tamaño y características se subdividen en:

- **Poros de gel:** Son de menor tamaño ($< 15 - 25 \text{ \AA}$) y pertenecen a espacios intersticiales del gel de cemento. Estos poros solo intercambian agua con el ambiente cuando se secan a humedades $< 20\%$.
- **Poros capilares:** Son de forma variable y tamaño del orden de 2 nm a $1 \mu\text{m}$. Cuando están interconectados y abiertos al exterior constituyen la causa principal de la permeabilidad de la pasta de cemento endurecida, así como su vulnerabilidad a la acción de agentes externos. Por ello, la eliminación de la capilaridad interconectada es una condición necesaria para su durabilidad.
- **Poros de aire:** Son generados por las burbujas de aire atrapadas en la masa del concreto, en el proceso de manipulación tecnológica. No suelen estar interconectados entre sí y su dimensión es variable, aunque generalmente son mayores de 0.05 mm . Aunque afectan la resistencia mecánica, en cuanto a la durabilidad pueden, según el caso, inducir efectos beneficiosos, (Durar, 1998).



3.3.4 Porosidad Efectiva

Como absorción capilar se considera la masa de agua por unidad de área que puede ser absorbida en los capilares cuando el hormigón se encuentra en contacto con agua líquida. Representa la porosidad efectiva o accesible al agua y por tanto a los agresivos ambientales, (Durr, 1998).

Equipo:

- Estufa
- Cubeta de fondo plano y con tapa
- Esponja
- Parafina
- Balanza
- Especímenes de ensayo

Procedimiento:

La propuesta de la metodología de ensayo se debe a Fagerlund y describe la cinética de la absorción capilar a través de tres coeficientes: m (Resistencia a la penetración del agua), K (coeficiente de absorción capilar) y ξ_e (Porosidad efectiva).

- 1) Enumerar 5 especímenes cúbicos de 5 x 5 cm de cada color de cantera. ver figura 3.29.
- 2) Pre-acondicionamiento de secado a 50°C y posterior enfriamiento hasta masa constante y teniendo una diferencia de 0.5% entre sus masas en un intervalo de 24 horas. ver figura 3.30.
- 3) Introducir en un recipiente plano 500 g de parafina, resina y se colocan sobre la parrilla hasta que se vuelvan líquidas. ver figura 3.31.
- 4) Cubrir 4 lados laterales del espécimen con la parafina y resina líquidas dejando la cara superior e inferior libres y de esa forma garantizar que solo se absorba el agua por la cara inferior y se registra su peso inicial, W_0 . ver figura 3.32.



- 5) Colocar las muestras sobre una esponja húmeda en el interior de una cubeta de fondo plano, teniendo cuidado de que el nivel del agua sólo llegue a 3mm por encima de la parte inferior de la probeta de ensayo. y a lo largo del ensayo mantener cubierto el recipiente para evitar evaporación. ver figura 3.33.
- 6) Registrar el cambio de peso ($W_t - W_o$) de la probeta por unidad de área expuesta del espécimen (A). Se registra a intervalos de tiempo de 1/12, 1/6, 1/4, 1/2, 1, 2, 3, 4, 6, 24, 48... horas. ver figura 3.34 (Durar, 1998).



Figura 3.29. Enumerar 5 muestras de cada color, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.30. Se colocan las muestras en el horno a una temperatura $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta tener masa seca constante teniendo una diferencia de 0.5% de masa, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.31. Se introduce en un recipiente parafina hasta convertirse en líquido, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.32. Se cubren 4 lados laterales de cada cubo con parafina y resina líquida, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.33. Se colocan las muestras en un recipiente con una esponja húmeda en el interior al fondo con un nivel de agua de 3 mm, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.34. Se registra el cambio de masa de cada espécimen en diferentes intervalos de tiempo, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculos:

Los coeficientes se calculan en base a las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{t}{z^2} (s/m^2)$$

Donde:

m = Resistencia a la penetración del agua.

Z = profundidad de penetración del agua al tiempo t.

t = Tiempo de penetración del agua.

$$k = \frac{(Wt - Wo)/A}{\sqrt{t}} (Kg/m^2s^{1/2})$$

Donde:

Wo = Masa inicial de la probeta (Kg o g).

Wt = Masa final de la probeta (Kg o g).

A = Área expuesta de la probeta (m o cm).

K = coeficiente de absorción capilar.

T = Tiempo de penetración del agua.



$$\epsilon e = \frac{K\sqrt{m}}{1000} * 100$$

Dónde:

Ee = Porcentaje de porosidad efectiva.

K = Coeficiente k evaluado como la pendiente de la región lineal del gráfico (Wt-Wo)/A en función de $\sqrt{t}$.

m = Coeficiente en determinación del cálculo en tiempo requerido para que el agua ascienda a la cara superior de la probeta, es decir, $z = H$.

Con la anterior información, la **Sorci3n Capilar**, S, se calcula con la siguiente formula:

$$S = \frac{1}{\sqrt{m}} (mm/h^{1/2}) \text{ o } (m/s^{1/2})$$

D3nde:

S = Sorci3n capilar en $m/s^{1/2}$

m = Coeficiente en determinaci3n del c3lculo en tiempo requerido para que el agua ascienda a la cara superior de la probeta, es decir, $z = H$

3.3.5 Porosidad total

El ensayo de porosidad determina la absorci3n capilar y la porosidad total del material como una medida de su compacidad y puede efectuarse de manera independiente, es decir sobre espec3menes separados.



Equipo:

- 5 muestras cúbicas de roca (5 x 5cm).
- Balanza o báscula con aproximación al décimo de gramo.
- Canastilla de metal.
- Horno de secado.
- Franela.
- Parrilla.
- Recipiente para calentar agua.

Procedimiento.

- 1) El secado de la muestra se realizó en un horno con temperatura aproximada a $110\text{ C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas hasta masa constante (siendo esta la masa seca). ver figura 3.35.
- 2) Después se sumergen los cubos en agua hasta una saturación total, durante 24 horas hasta tener masa constante. ver figura 3.36.
- 3) Se extraen los especímenes cúbicos del agua, enumerando para su identificación.
- 4) Se obtienen las masas saturadas de los especímenes:
 - A. Obtención de la masa saturada por inmersión: Se secan las muestras superficialmente con la franela y con ayuda de la báscula su masa superficial seca (M_{ss}). ver figura 3.37.
 - B. Obtención de la masa saturada por ebullición: Obtener el valor de la porosidad solo por inmersión, no contiene más que una mínima parte de los poros de aire. Por lo que para conocer el valor real de la porosidad total



se debe saturar de agua totalmente el espécimen, hervir 5 horas y luego proceder a enfriarlo hasta registrar una masa “saturada”.

La norma mexicana NMX-C-263-ONNCCE-2010, indica que antes de la ebullición debe secarse la muestra a una temperatura de 100 °C a 110 °C hasta lograr la masa constante de cada una de las muestras y teniendo una diferencia de 0.5% entre sus masas en un intervalo de 24 horas. Ver figura 3.38.

- 5) Una vez que se obtuvo la masa seca (M_s) de las muestras, con ayuda de la balanza, se colocaron los especímenes cúbicos en un recipiente con agua, agregando agua hasta cubrir totalmente los cubos.
- 6) Con ayuda de la parrilla eléctrica, se realizó la ebullición de los cubos durante un tiempo de 5 horas cuidando que los especímenes se mantuvieran sumergidos en su totalidad todo este tiempo.
- 7) Se dejó enfriar en forma natural, pasado el tiempo de ebullición, hasta una temperatura final de 20 °C a 25 °C para después retirar cada espécimen del recipiente, quitar la humedad superficial con la franela y determinar su masa con ayuda de la balanza. Se registra la masa saturada por ebullición y superficialmente seca (M_e). Ver figura 3.39.
- 8) Pasado el punto anterior, se procedió a colocar cada una de las muestras dentro de la canastilla sumergida, registrando esta masa del espécimen como su masa sumergida más la canastilla ($M_s + M_c$). Para conocer la masa sumergida (M_a) de cada espécimen se restó la masa de la canastilla sumergida. Ver figura 3.40.





Figura 3.35. Se colocan 5 muestras de cada color en el horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta tener masa seca constante, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.36. Se sumergen los cubos en agua hasta obtener una saturación total, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.37. Secar superficialmente las muestras con franela y registrar la masa superficialmente seca, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.38. Saturar los especímenes en un recipiente durante 5 horas hasta llegar su punto ebullición a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.39. Se registra su masa saturada por ebullición superficialmente seca, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.40. Se obtiene la masa específica por medio de una canastilla sumergida bajo el agua con el espécimen, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculos:

Dado que se conocen las masas determinadas por el procedimiento anterior, los cálculos son los siguientes para conocer el porcentaje de volumen de poros permeables en las muestras (vacíos):

Porcentaje de porosidad total después de la inmersión:

$$\left(\frac{M_s - M_h}{M_s - M_i} \right) \times 100$$

Porcentaje de porosidad total después de la ebullición:

$$\left(\frac{M_{he} - M_s}{M_{he} - M_e} \right) \times 100$$

Donde:

Ms = Masa seca constante

Mh = Masa húmeda constante

Mi = Masa sumergida después de inmersión

Mhe = Masa húmeda después de ebullición

Me = Masa sumergida después de ebullición

Especificaciones:

De igual manera, la Red DURAR establece un criterio de evaluación el cual especifica la calidad de mortero de acuerdo al porcentaje de porosidad de los especímenes ensayados ver tabla 3.5.

Tabla 3.5. Criterio de evaluación de calidad del material en función de la porosidad total (Durar, 1998).

Porosidad Total	Criterio
< 10%	Buena calidad y compactación
10%-15%	Moderada calidad
>15%	Inadecuada durabilidad



3.3.6 Congelamiento y deshielo en rocas de cantera ígnea

Objetivo: Determinar las variaciones de resistencia por medio de ciclos de congelamiento y deshielo especificados en dos procedimientos de los cuales en ninguno de los dos proporciona cuantitativamente la durabilidad que se puede esperar, (NMX-C-205-ONNCCE-2005, 2005).

Equipo:

- 5 muestras representativas de roca de forma prismática de 6 x 6 x 26 centímetros de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera, las probetas se usan por recomendación de la norma NMX-C-169-ONNCCE, no menores de 76 mm de grueso ni mayores de 137 mm de ancho y no menores de 360 mm ni mayores de 406 mm de longitud, pueden ser de corazones o prismas cortados.
- Recipiente de plástico con capacidad para alojar 4 prismas por color de roca.
- Aparato para la congelación y deshielo, equipo de refrigeración con control para producir una temperatura continua y automáticamente especificada para el procedimiento.
- Equipo de medición de temperatura
- Báscula o balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Equipo de Velocidad de Pulso Ultrasónico.
- Equipo para medir la Resistividad Eléctrica.
- Máquina Universal de pruebas marca Forney.

Procedimiento:

1. Se preparó el aparato enfriador un día antes para tener una temperatura constante de -18°C .
2. Los prismas que se utilizaron, fueron sometidos en proceso de saturación por 48 horas hasta obtener masa constante. Ver figura 3.41.



3. Se clasificaron por color y se enumeraron, se tomaron las dimensiones de cada uno de los especímenes. Ver figura 3.42.
4. Realizando pruebas de resistencia eléctrica, Velocidad de Pulso Ultrasónico y frecuencia de resonancia. Registrando los valores obtenidos en el ciclo cero considerando como valor inicial o testigo de los especímenes antes de ser sometidos al proceso de congelamiento y deshielo. Ver figura 3.43, 3.44 y 3.45.
5. La probeta debe estar completamente cubierta por 3 mm de agua durante todo el tiempo de la prueba y debe estar colocada en el fondo del recipiente de plástico adecuado para 4 especímenes. Ver figura 3.46.
6. Se ingresó cada recipiente con las muestras al aparato enfriador (refrigerador), tomando un tiempo de inicio, cumpliendo un periodo de 3 horas por ciclo dentro del aparato enfriador. Ver figura 3.47.
7. Una vez concluido el ciclo se sacan las muestras, se realizan pruebas de temperatura, dimensiones, masa, Resistividad Eléctrica, Velocidad de Pulso Ultrasónico y frecuencia de resonancia, registrando estos valores obtenidos en el ciclo uno. El procedimiento de realización de pruebas tiene que ser muy ágil a tal manera de no perder temperatura en los especímenes. Ver figura 3.48.
8. Después de realizarle pruebas a los especímenes, se vuelven a ingresar al aparato enfriador considerando su tirante mínimo de 3 mm de cada uno de los recipientes, inicia el próximo ciclo registrando periodos durante un tiempo de 3 horas.
9. En toda la prueba se repite el paso 7 y 8 hasta alcanzar 25 ciclos, cuidando el tirante de agua de cada uno de los recipientes. No se utilizaron guantes, el procedimiento fue muy extremo por la mayoría de las muestras se congelaban en el transcurso de cada ciclo. Ver figura 3.49 y 3.50.



10. Después de los 25 ciclos sometidos a congelamiento y deshielo se procedió a un aprueba de resistencia a flexión en el centro del claro de cada uno de los especímenes junto con los que se dejaron de testigo del ciclo cero. Ver figura 3.51.



Figura 3.41. Las muestras en forma de prisma fueron sometidas en proceso de saturación por 48 horas hasta obtener masa constante, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.42. Se enumeran y se registran las dimensiones reales los prismas, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.43. Se realiza la prueba de Velocidad de Pulso Ultrasónico, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.44. Se realiza la prueba de Resistividad Eléctrica, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.45. Se realiza prueba de Frecuencia de Resonancia, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.46. Se colocan 4 especímenes en cada recipiente, con un nivel de 3 mm sobre la superficie de la muestra, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.47. Se colocan todos los recipientes dentro del aparato enfriador cumpliendo un periodo de tiempo de 3 horas en el transcurso de cada ciclo, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.48. Se toma la temperatura cuando sale el recipiente de aparato enfriador con las muestras, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.49. Se realiza el ciclo de prueba de registro de temperatura, medición de dimensiones, masa, Resistividad Eléctrica, Velocidad de Pulso Ultrasónico y Frecuencia de Resonancia durante 25 ciclos, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.50. Conforme en cada ciclo de pruebas las muestras se congelan más por la penetración del hielo en los poros de la roca, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.51. Se realiza prueba de Flexión Estática al final de todos los ciclos que fue sometido el espécimen, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculos:

El valor del módulo de elasticidad dinámico relativo después de “c” ciclos de congelamiento y deshielo. Calculando con la siguiente formula:

$$P_c = \frac{n_{12}}{n_1} * 100$$

Donde:

P_c = Es el módulo relativo de elasticidad después de “c” ciclos de congelación y deshielo, en porciento (%).

n₁₂ = Es la frecuencia transversal fundamental a cero ciclos de congelamiento y deshielo.

n₁ = Es la frecuencia transversal después de “c” ciclos de congelamiento y deshielo.

Este cálculo del módulo dinámico de elasticidad relativo está basado en la suposición de que las masas y las dimensiones de las probetas permanecen constantes durante la prueba. Esta suposición no es verdadera en muchos casos debido a la desintegración de las probetas (NMX-C-205-ONNCCE-2005, 2005).

Para cuantificar los daños que sufren los especímenes sometidos en la prueba de congelamiento y deshielo se determina un factor de durabilidad del cual se calcula de la siguiente manera:

$$FD = \frac{P N}{M}$$

Donde:

FD = Es el factor de durabilidad de las probetas de estudio.

P = Es el módulo dinámico de elasticidad relativo a N ciclos (último ciclo), en porcentaje (%).

N = Es el número de ciclos a los cuales estuvo expuesta la prueba.

M = Es el número de ciclos específicos a los cuales se termina la prueba.

Para obtener el de P, se requiere calcular el módulo de elasticidad dinámico relativo en el primer y último ciclo con la siguiente formula:

$$P = \left(\frac{n_f^2}{n_i^2} \right) * 100$$

Donde:

P = Es el módulo de elasticidad dinámico relativo al ciclo “n” (último ciclo) %

nf = Es la frecuencia transversal en el último ciclo de prueba en Hz.

ni = Es la frecuencia en el primer ciclo de prueba en Hz.



3.3.7 Prueba de ataque de Sulfatos de sodio en rocas ígneas

Objetivo: Determinar la pérdida de masa, disminución de propiedades físicas y mecánicas, de una mezcla de mortero o concreto sometido a 5 ciclos de solución saturada de sulfato de sodio. La prueba se realizó en cubos de cantera de 5 cm de arista en ataque por sulfatos. Después de haber sido extraídos del banco de material de cantera.

Equipo:

- 30 muestras representativas de roca de forma cúbica de 5 centímetros de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera.
 - 5 especímenes (1, 2, 3, 4, 5), Ciclo cero o testigos
 - 5 especímenes (6, 7, 8, 9, 10), Ciclo 1
 - 5 especímenes (11, 12, 13, 14, 15), Ciclo 2
 - 5 especímenes (16, 17, 18, 19, 20), Ciclo 3
 - 5 especímenes (21, 22, 23, 24, 25), Ciclo 4
 - 5 especímenes (26, 27, 28, 29, 30), Ciclo 5
- Máquina Universal de pruebas marca Forney.
- Recipiente de plástico grueso con tapa, con capacidad suficiente para que puedan alojar canastilla de inmersión.
- Charolas de acero inoxidable.
- Rejillas de plástico de una superficie aproximada de 20 x 40 cm.
- Taladro con el aditamento de aspas mezcladoras.
- 3 recipientes de 19 litros aproximadamente con tapa.
- Horno de secado.
- Parrilla eléctrica.
- Termómetro.
- Sulfato de sodio (sal anhidrida) para la solución.
- Báscula o balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Careta plástica, (protección de la cara).
- Protección para salpicaduras de solución en el proceso de elaboración.



Procedimiento:

1. Se prepara una solución de sulfato de sodio (Na_2SO_4) con una concentración de 350 g de sulfato por cada litro de agua destilada. La cantidad debe ser suficiente para llevar a cabo 5 ciclos de humedecimiento y secado de los especímenes. Se recomienda preparar la solución en un bote de plástico de 19 litros de capacidad. El proceso de preparación de la solución consiste en disolver el sulfato en el agua por un tiempo mínimo de 1 hora, o hasta que se hayan formado los cristales, a temperatura ambiente a $22 \pm 2^\circ\text{C}$, manténgase a esta temperatura, por lo menos durante 48 horas antes de usarla. Se debe evitar que quede polvo al final del proceso o material contaminante en el recipiente del mismo. Ver figura 3.52.
2. Se consigue un recipiente capaz de contener todas las muestras sumergidas, uno para cada mezcla a evaluar, durante el tiempo de prueba procurando mantener un tirante de solución de no menor de 13 mm por encima de la superficie de los especímenes; el recipiente deberá tener su respectiva tapa para prevenir la evaporación y reducir la adición accidental de sustancias extrañas. Ver figura 3.53.
3. Ciclo cero. Se enumera y determina los parámetros físicos y mecánicos de los especímenes a evaluar, los cuales deben de estar curados, sumergidos en agua, hasta el día de la prueba.
 - a) Parámetros físicos:

Se determina a los 30 especímenes: Lado 1 (cm), lado 2 (cm), lado 3 (cm), masa húmeda en gramos, masa sumergida en gramos, resistencia eléctrica ($\text{K}\Omega$), Velocidad de Pulso Ultrasónico (m/s) y volumen. Ver figura 3.54.
 - b) Parámetros mecánicos:

Solo se ensaya 5 muestras por ciclo en nuestro caso las numeradas como 1, 2, 3, 4 y 5. Ver figura 81.
4. Los 30 especímenes deberán de secarse a una temperatura menor a 60°C , hasta masa constante. Se considera haber logrado la masa constante



cuando la pérdida de masa es menor que 0.1% de la masa de la muestra.

Se dejan enfriar los especímenes y se pesan para obtener la masa seca del ciclo cero en gramos. Ver figura 3.55.

El ensaye acelerado de ataque por sulfatos para fines prácticos se realizará en cinco ciclos, comienza a partir del ciclo 1.

5. Se colocan los especímenes restantes, solo muestras completas, en la solución de sulfato de sodio, estos especímenes deberán ir apoyados sobre una rejilla que evite su reposo directo sobre las sales cristalizadas, pero que asegure el contacto con la solución en todas sus caras. Los especímenes deberán de permanecer en la solución saturada de sulfato sodio durante un tiempo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas y manteniéndolos a una temperatura ambiente a $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Concluidas las 16 horas se sacan y se dejan escurrir los especímenes 15 ± 5 minutos. Ver figura 3.56.
6. Se determinan los parámetros físicos y mecánicos de los especímenes a evaluar, los cuales deben de estar saturados de la solución de sulfato de sodio:
 - a) Parámetros físicos:
Se determinan los parámetros físicos definidos en el ciclo cero.
 - b) Parámetros mecánicos:
Solo se ensayan 5 muestras, las correspondientes al ciclo. Ver figura 3.57.
7. Se dejan enfriar los especímenes y se pesan para obtener la masa seca del ciclo correspondiente.

Se repite los pasos del 5 al 7 hasta completar 5 ciclos de prueba o hasta que la pérdida de masa sea mayor al 5% de la masa inicial de las muestras. Ver figura 3.58. Se recomienda verificar la pérdida de masa antes de comenzar el ciclo siguiente.





Figura 3.52. Preparación de solución de sulfato de sodio (Na_2SO_4), Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.53. Se cubren las muestras con sulfato hasta quedar completamente saturadas y procurar un tirante de solución no menor de 13 mm por encima de la superficie del espécimen, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.54. Se determina los parámetros físicos en cada ciclo, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.55. Las muestras se dejan secar en el horno a una temperatura no menor a 60°C hasta obtener masa seca constante, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.56. Se colocan las muestras completas restantes en la solución de sulfato de sodio en un transcurso de 5 ciclos, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.



Figura 3.57. Se determina los parámetros mecánicos ensayando 5 muestras en cada ciclo, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

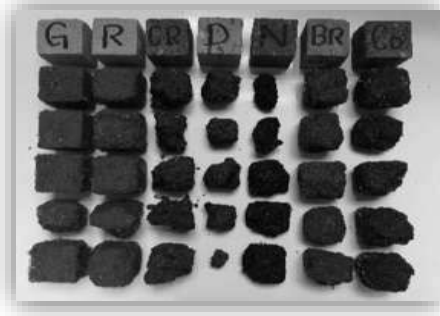


Figura 3.58. De acuerdo a los parámetros físicos y mecánicos, no se pueden analizar las muestras con aristas incompletas. Se puede observar la pérdida de masa que ha sufrido el espécimen durante los 5 ciclos en la solución de sulfato de sodio, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2018.

Cálculos:

Con los parámetros tomados en cada ciclo, podemos calcular las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes:

a) Propiedades físicas:

- Pérdida de masa

$$\% \text{ pérdida de masa} = \left(\frac{\text{Masa seca ciclo cero en g} - \text{Masa seca ciclo correspondiente en g}}{\text{Masa seca ciclo cero en g}} \right) * 100$$

- Porosidad total

$$\% \text{ Porosidad total} = \left(\frac{\text{Masa saturada en g} - \text{Masa seca en g}}{\text{Masa saturada en g} - \text{Masa sumergida en g}} \right) * 100$$

- Resistividad Eléctrica

$$\rho = Re \frac{A}{L}$$



Dónde:

ρ = Resistividad Eléctrica en $K\Omega\text{-cm}$

R_e = Resistencia eléctrica proporcionada por el Resistómetro en $K\Omega$

A = Área transversal del espécimen en cm^2

L = Longitud del espécimen en cm

- Densidad

$$D = \frac{M}{V}$$

Dónde:

M = Masa húmeda de la roca (g).

V = Volumen de la roca (cm^3).

D = Densidad en g/cm^3

- Velocidad de Pulso Ultrasónico (Se obtiene de manera directa en el equipo)

b) Propiedades mecánicas:

- Compresión simple

$$R = \frac{W}{A}$$

Dónde:

R = resistencia máxima a la compresión simple (kg/cm^2).

W = carga máxima aplicada a la muestra (kg)

A = área de contacto de la muestra (cm^2)



CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 Porcentaje en humedad de absorción

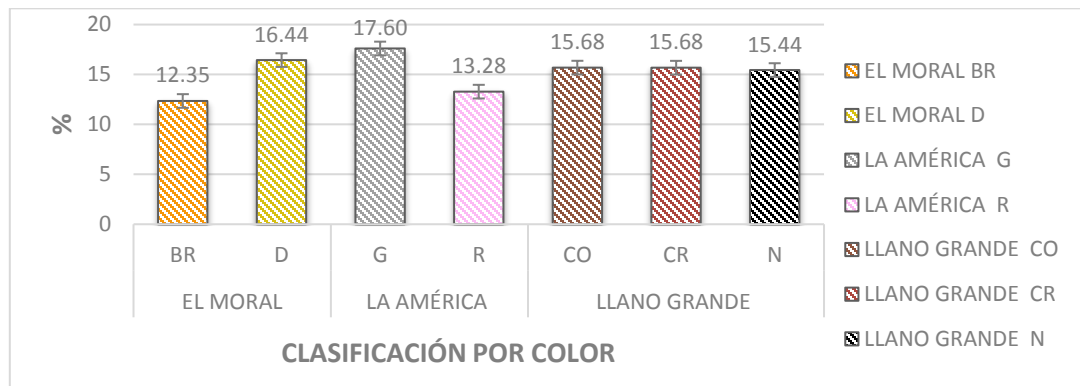


Figura 4.1. Gráfico de porcentaje en Humedad de Absorción, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

En la figura 4.1, se observa el porcentaje de humedad de absorción obtenido de los diferentes colores de roca, el color bronce (BR) y rosa (R) presentan baja absorción, lo cual es proporcional a la densidad, es decir tienen bajo contenido de porosidad. Mientras que el color dorado (D) y gris (G) presenta mayor absorción, es decir baja densidad y mayor cantidad de poros.

4.2 Densidad relativa o Gravedad específica

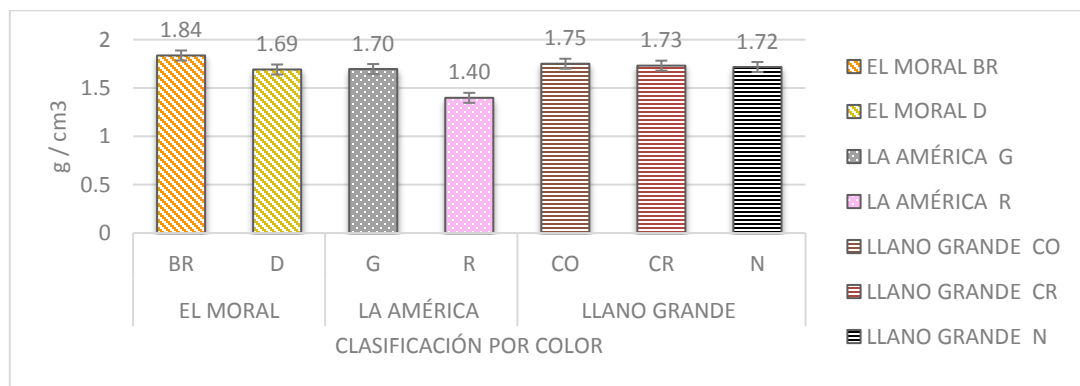


Figura 4.2. Gráfico de Densidad Relativa, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.



En la figura 4.2, se observa la densidad relativa varía entre 1.4 y 1.84 (g/cm^3), siendo el promedio similar de las muestras analizadas. Considerando la densidad una relación entre la masa y el volumen de la roca. De acuerdo a la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981), se considera roca toba donde todas las rocas cumplen con el parámetro.

4.3 Densidad absoluta por medio del picnómetro

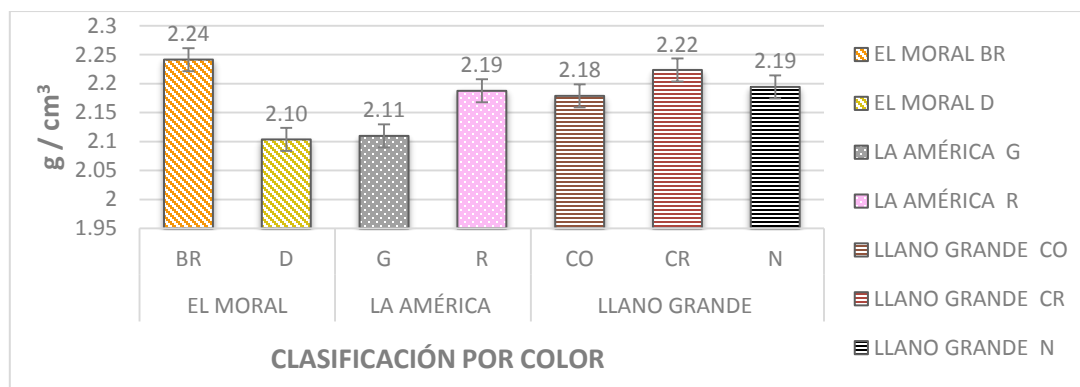


Figura 4.3. Gráfico de densidad absoluta, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

En la figura 4.3, se puede observar que la densidad promedio es de los diferentes colores, comparando tres bancos de material pétreo de cantera volcánica, tendiendo una relación de 2.1 y 2.24 (g/cm^3), de acuerdo a la densidad medida del materia hay en una sustancia en cierto espacio, indicando la norma SCT designación M-MMP-2-01-005/02. La densidad aparente de materiales para mampostería como mínimo 2.3 g/cm^3 , siendo los resultados obtenidos cumplen con la densidad para ser utilizadas para uso de mampostería. Sin embargo se observó que la roca de color bronce (BR) presento mejores resultados.

4.4 Colorimetría

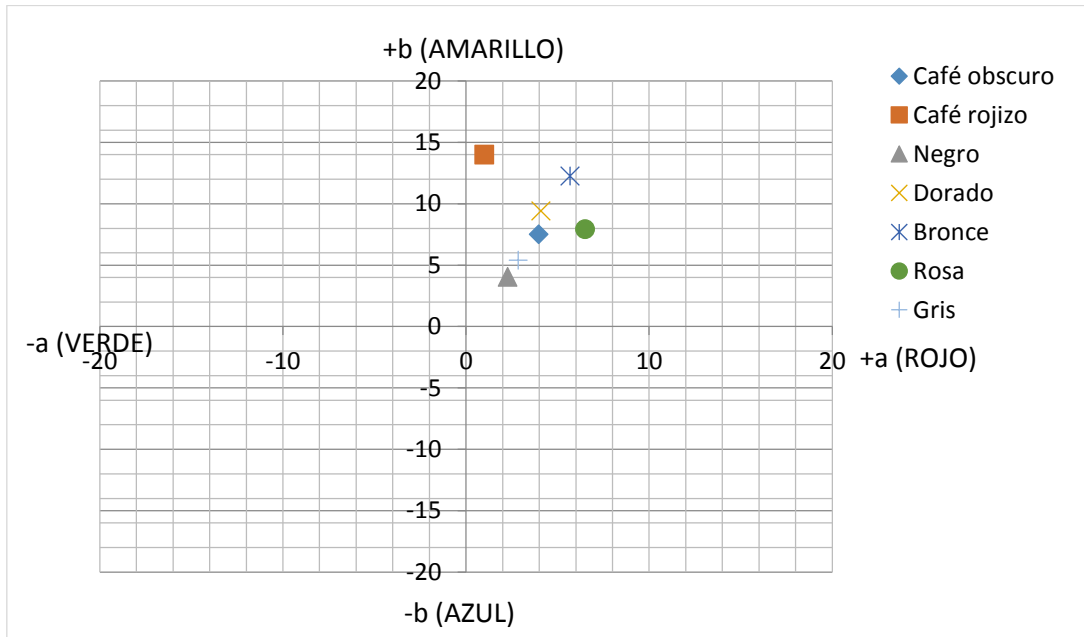


Figura 4.4. Gráfico de coordenadas cromáticas a^* y b^* positivos, lo que pone de relieve que el color está en la gama de amarillo-rojo. J.C. García Perdomo, 2018.

El eje a^* representa una medida del contenido de rojo o de verde (si un color tiene rojo a^* será positiva, mientras que si a^* es negativa entonces el color tendrá cierta cantidad de verde). El eje b^* , perpendicular al eje a^* , representa contenidos de amarillo-azul, valores positivos de b^* sería un indicativo del color amarillo y valores negativos de b^* indican contenidos de azul (N. Muriel).

4.5 Compresión simple

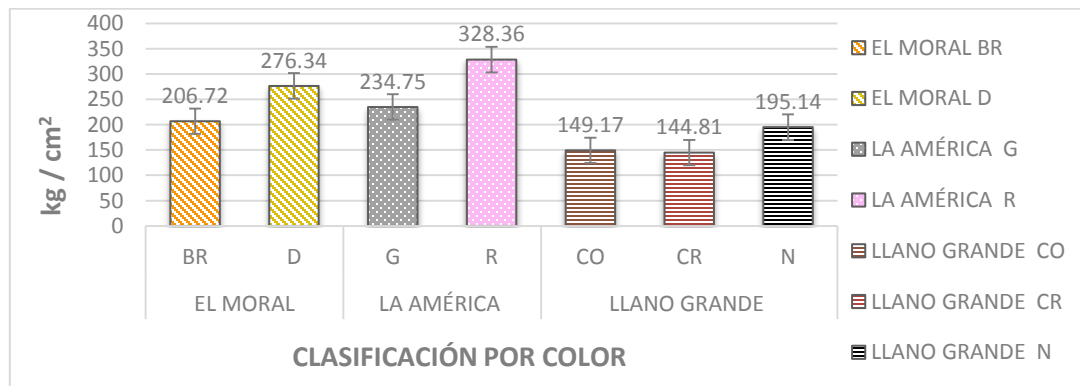


Figura 4.5. Gráfico de resistencia máxima a compresión, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.



De la figura 4.5, se puede observar los resultados a compresión en cubos de cantera de diferente color, teniendo como respuesta de resistencia mayor entre las probetas de estudio el color rosa y la de menor resistencia la de color café rojizo. El banco “La América” tiene material con mayor resistencia a compresión simple. De acuerdo a la norma SCT designación M-MMP-2-01-002/02, en resistencia a la compresión de materiales para mampostería, cuando contenga planos de sedimentación, esquistosidad o fracturación por tectonismo, la resistencia mínima en la dirección perpendicular a esos planos será de 153 Kg/cm², y de 101 Kg/cm², en la dirección paralela, lo que indica que todas las rocas cumplen al esfuerzo sometido a compresión en uso de mampostería. De acuerdo a la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981), se clasifica por roca de color bronce (BR) del banco “el moral”, gris (G) del banco “la América” y las rocas de color café oscuro (Co), café rojizo (CR) y negro (N) del banco “Llano grande” como roca blanda, donde están dentro de un parámetro de 5 y 25 MPa y las rocas de color dorado (D) y rosa (R) como roca moderadamente dura, están dentro de un parámetro de 25 y 50 MPa.

4.6 Flexión Estática en Rocas

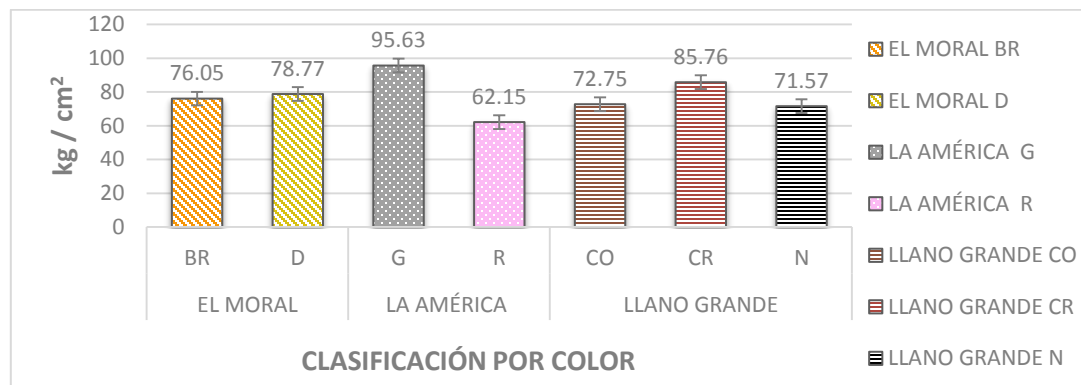


Figura 4.6. Gráfico de módulo de ruptura en rocas, promedio de 5 prismas clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

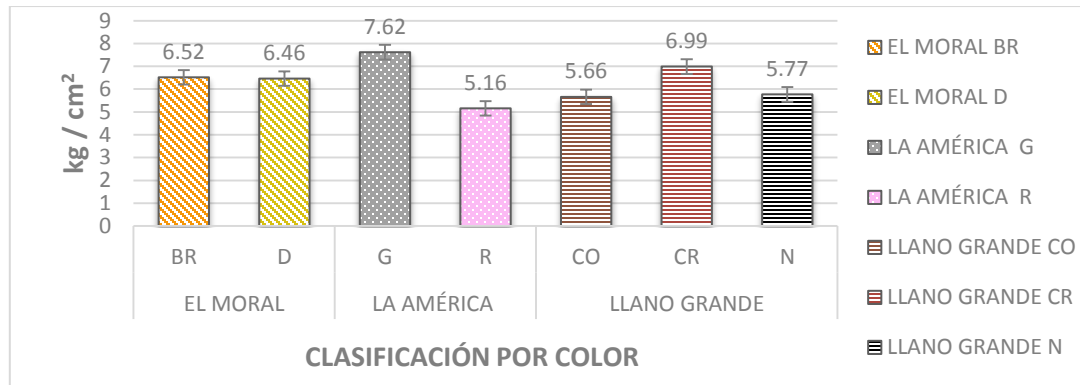


Figura 4.7. Gráfico de esfuerzo de cortante, promedio de 5 prismas clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

De la figura 4.6, se puede observar el resultado de las rocas analizadas en prismas, mostrando que los especímenes de color gris tienen mayor resistencia y la de color rosa con la menor resistencia a flexión. Varían mucho en comparativa a los demás especímenes de prueba por color siendo del mismo banco de material pétreo de cantera. El módulo de ruptura varía del 10 al 20 % de la resistencia a compresión en un concreto, en el caso de las rocas de estudio varía de un 20 a 60 %. En los talleres la roca de color negro es la más utilizada en trabajo ornamental tanto en moldura como laminado y escultura debido a su alta resistencia a flexión. En la figura 4.7 se observa los resultados de esfuerzo de cortante de las probetas analizadas. La muestra de color gris indican un resultado positivo de resistencia a esfuerzo de cortante. De acuerdo a la norma ASTM C880 (Resistencia a la flexión de piedras de dimensiones normalizadas) describe el método de ensayo para determinar la resistencia a flexión de rocas con un mínimo de 5 probetas para ser ensayadas para cada tipo de condición de ensayo, sin mencionar ningún parámetro de tolerancia que deben de cumplir las probetas sometidas a esfuerzo de flexión estática.

4.7 Velocidad de Pulso Ultrasónico

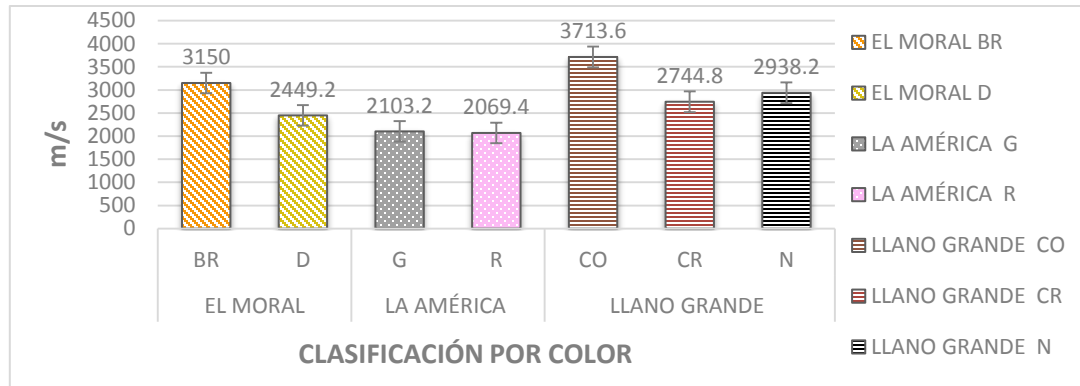


Figura 4.8. Gráfico de Velocidad de Pulso Ultrasónico, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

Los resultados de Velocidad de Pulso Ultrasónico mostrados en la figura 4.8 indica la calidad del material basándose en la tabla 3.2, criterios de evaluación para mezclas de concreto hidráulico (Durar, 1998), los resultados de velocidad de propagación indican que la mayor parte de las probetas son de calidad normal, de 2001 a 3000 m/s; mientras que las probetas de color bronce (BR) y café oscuro (Co) se consideran de calidad alta al presentar VPU en el parámetro de 3001 a 400 m/s. De acuerdo a la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981), en las rocas hay una velocidad de ondas longitudinales que se utiliza como valor indicativo de calidad. Para rocas alteradas y meteorizadas se obtienen valores por debajo de 900 m/s, los valores obtenidos de las muestras analizadas están dentro del parámetro de 2069.4 y 3713.6 m/s considerándose dentro de una roca sana.

4.8 Resistividad Eléctrica

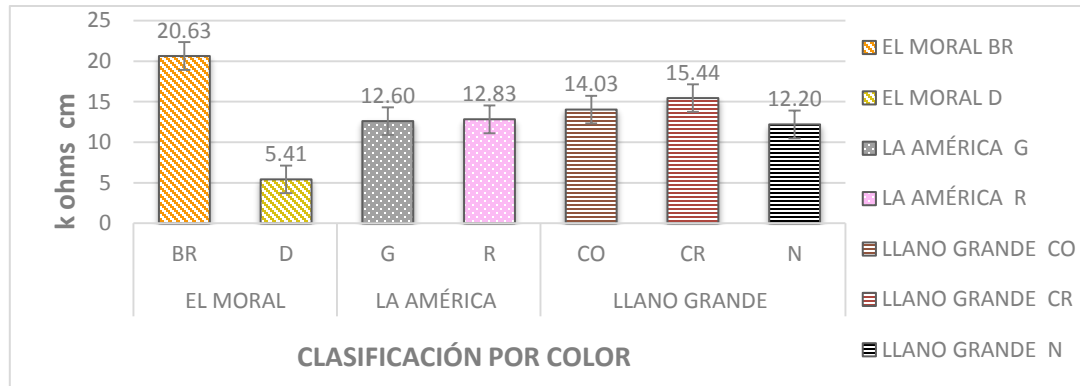


Figura 4.9. Gráfico de Resistividad Eléctrica, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

En la figura 4.9 se observa los resultados de Resistividad Eléctrica de las probetas analizadas de rocas ígneas en forma de cubo 5x5 teniendo un criterio de evaluación de riesgo para concreto hidráulico, consultando la tabla 3.3 (Durar, 1998). Las probetas analizadas de color dorado son menor a 10 Kohms.cm lo que indica que tiene un nivel de alto riesgo de corrosión y las demás probetas obtuvieron resultados entre 10 a 200 Kohms.cm considerando las rocas con riesgo moderado. Consultado la (NMX-C-514-ONNCCE., 2016) los criterios para evaluar la Resistividad Eléctrica teniendo la mayor parte con resultados de 10 a 50 Kohms.cm indicando que la muestras analizadas tienen una porosidad interconectada permitiendo un transporte de agentes agresivos, lo que indica que la corrosión es moderada.

4.9 Porosidad Efectiva

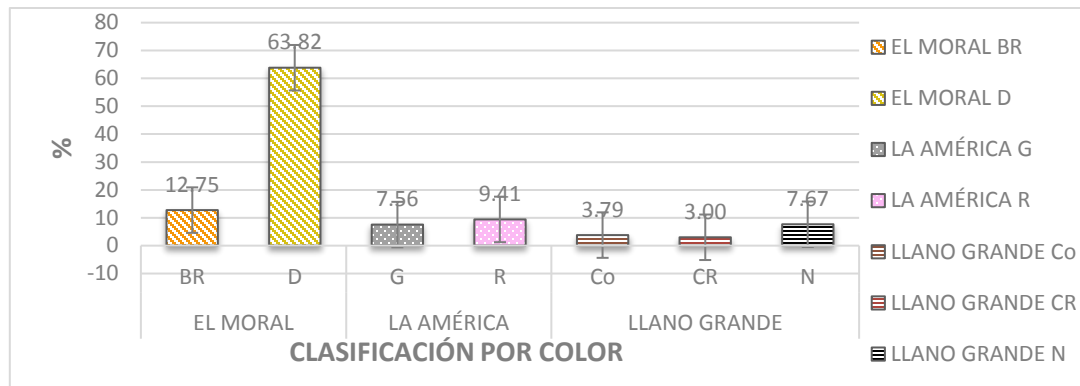


Figura 4.10. Gráfico del porcentaje de porosidad efectiva, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

En la figura 4.10 se muestran los resultados de los ensayos de porosidad efectiva de lo cual implica que los poros no se encuentran interconectados, por lo tanto indica la roca de color dorado tiene una conductividad muy baja de fluidos, comparando el resultado con los demás especímenes, debido a la falta de intercomunicación de los poros, tal como se observa en la gráfica 4.11 la sorción capilar

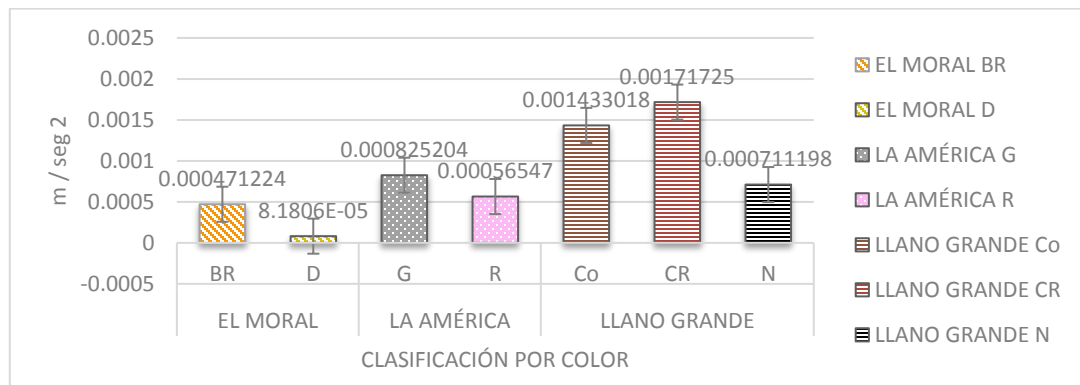


Figura 4.11 Gráfico de la Sorción Capilar, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

4.10 Porosidad total

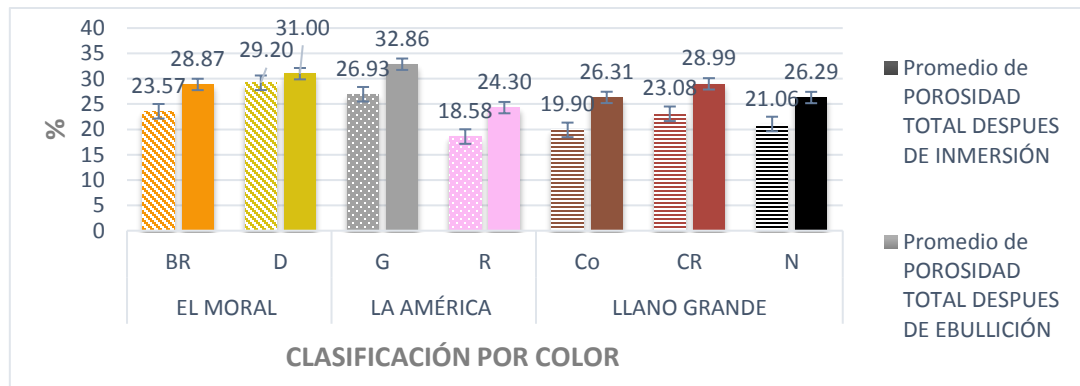


Figura 4.12. Gráfico del porcentaje de porosidad total, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

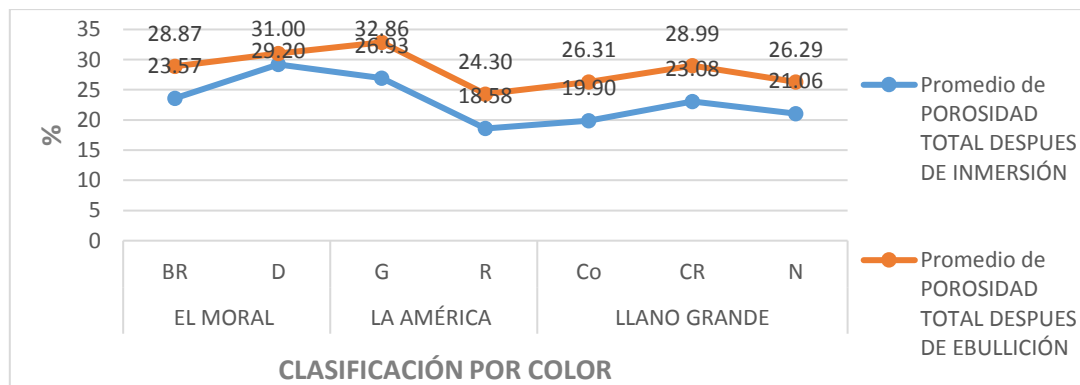


Figura 4.13. Gráfico del porcentaje de porosidad total en inmersión y después de ebullición, promedio de 5 cubos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

En la figura 4.12 y 4.13 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos en porcentaje de porosidad total tanto por el método de inmersión a temperatura ambiente así como por el método de ebullición donde se saturaron los especímenes en recipientes con agua hasta masa constante de tal manera de llegar a hervir por 5 horas y proceder a registrar sus datos correspondientes. De acuerdo a los resultados y comparando con el Criterio de evaluación de calidad de mezclas de concreto en función de la porosidad total (Durar, 1998), indica que todas las probetas

de análisis están por encima del 15 por ciento de porosidad, lo cual su durabilidad es inadecuada en comparativa con el concreto. De acuerdo a libro de Ingeniería Geológica, la Toba se encuentra en valores de 14 a 40 % de porosidad, obteniendo valores en las muestras estudiadas que van de 18.58 a 29.20 % por el método de inmersión (González de Vallejo, INGENIERÍA GEOLÓGICA, 2002).

Se observa en la figura 4.13. que los resultados de porcentaje de porosidad tanto por el método de inmersión como el de ebullición varían en promedio el 5%, siendo siempre superior por el método de ebullición.

4.11 Congelamiento y deshielo en rocas de cantera ígnea

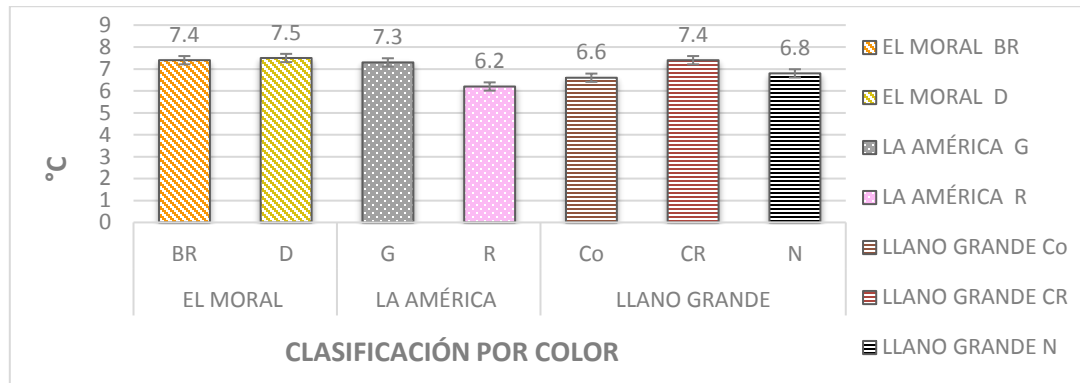


Figura 4.14. Gráfico de temperatura en periodo de 25 ciclos de 3 horas, promedio total de 4 prismas clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

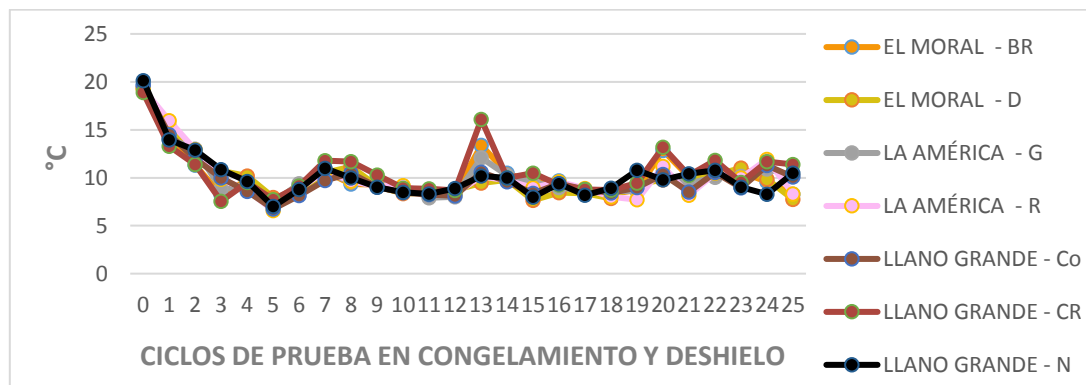


Figura 4.15. Gráfico de temperatura en periodo de 25 ciclos de 3 horas, promedio en ciclo de 4 prismas clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.



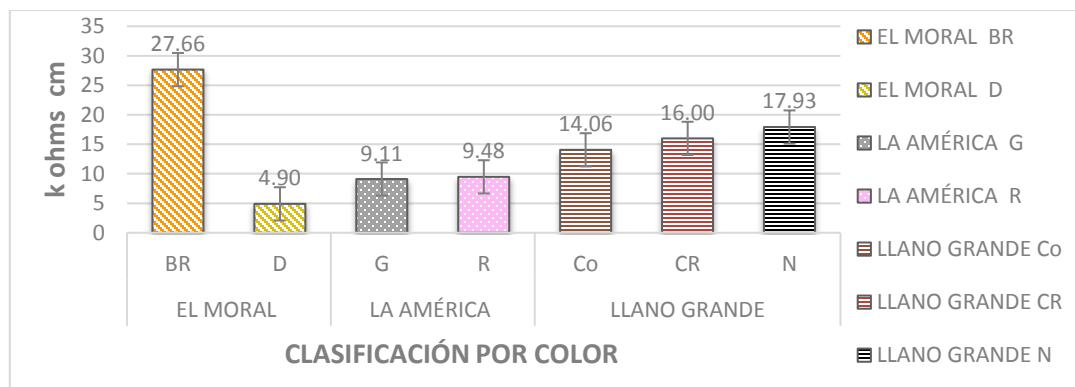


Figura 4.16. Gráfico de Resistividad Eléctrica, promedio total de 4 prismas clasificados por color en periodo de 25 ciclos de prueba. J.C. García Perdomo, 2018.

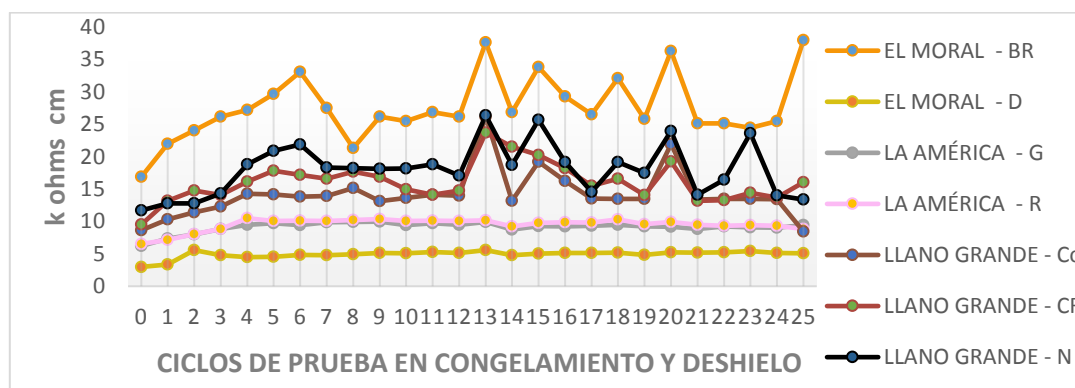


Figura 4.17. Gráfico de Resistividad Eléctrica, promedio en ciclo de 4 prismas clasificados por color en periodo de 25 ciclos de prueba. J.C. García Perdomo, 2018.

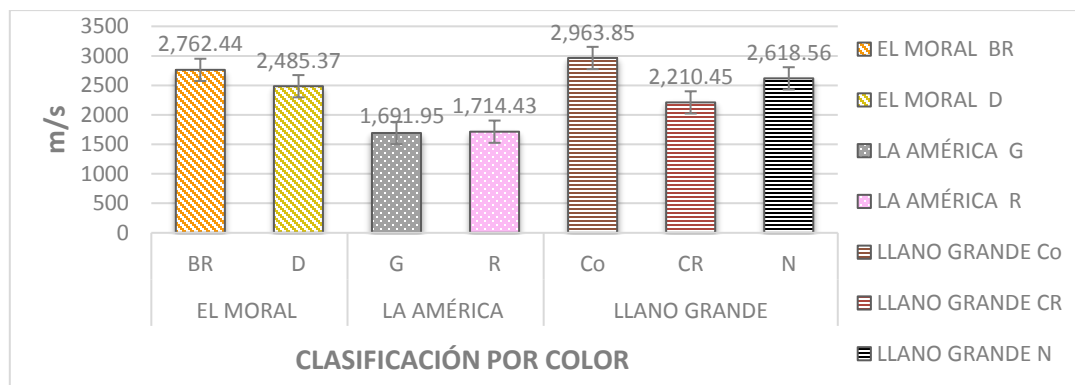


Figura 4.18. Gráfico de Velocidad de Pulso Ultrasónico, promedio total de 4 prismas clasificados por color en periodo de 25 ciclos de prueba. J.C. García Perdomo, 2018.

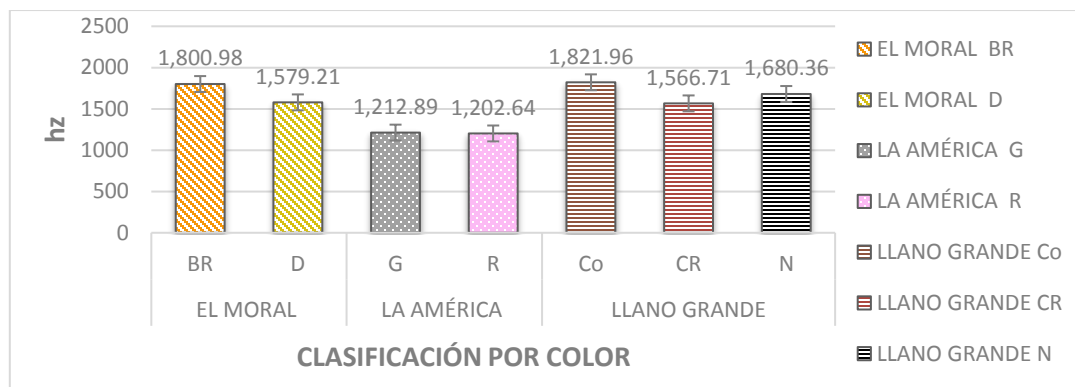


Figura 4.19. Gráfico de frecuencia de resonancia, promedio total de 25 ciclos de 4 prismas clasificados por color en periodo de prueba. J.C. García Perdomo, 2018.

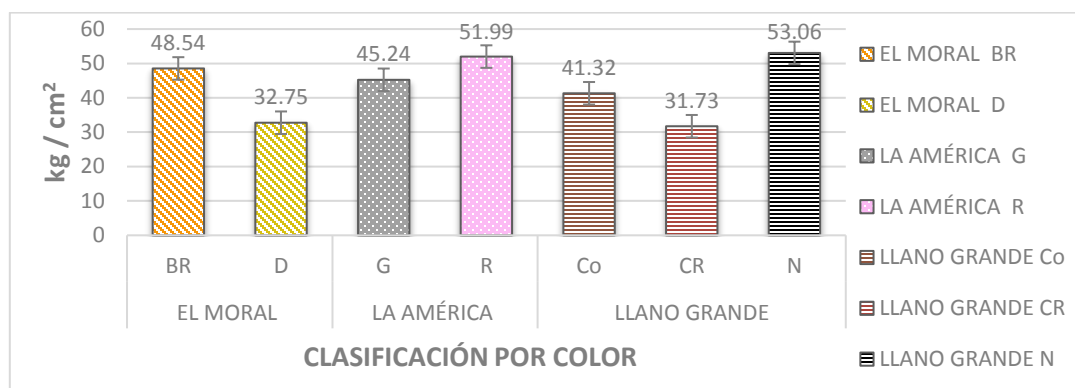


Figura 4.20. Gráfico de resistencia a flexión estática, promedio total de 25 ciclos de 4 prismas clasificados por color en periodo de prueba. J.C. García Perdomo, 2018.

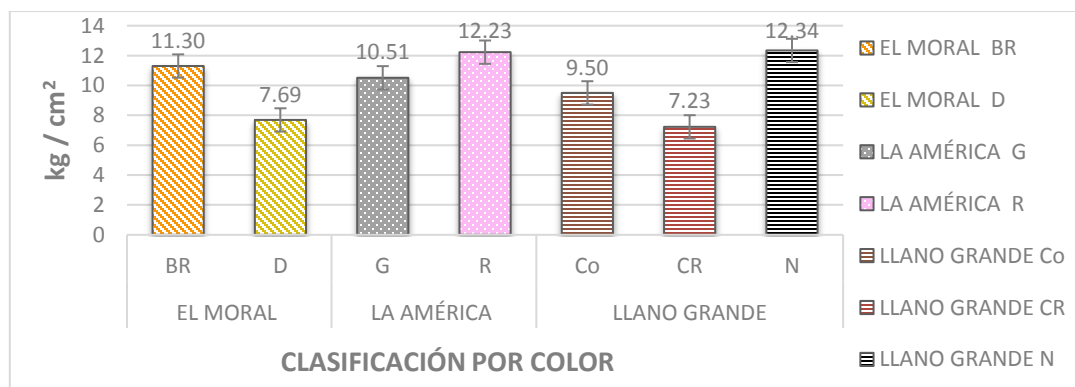


Figura 4.21. Gráfico de esfuerzo cortante, promedio total de 25 ciclos de 4 prismas clasificados por color en periodo de prueba. J.C. García Perdomo, 2018.

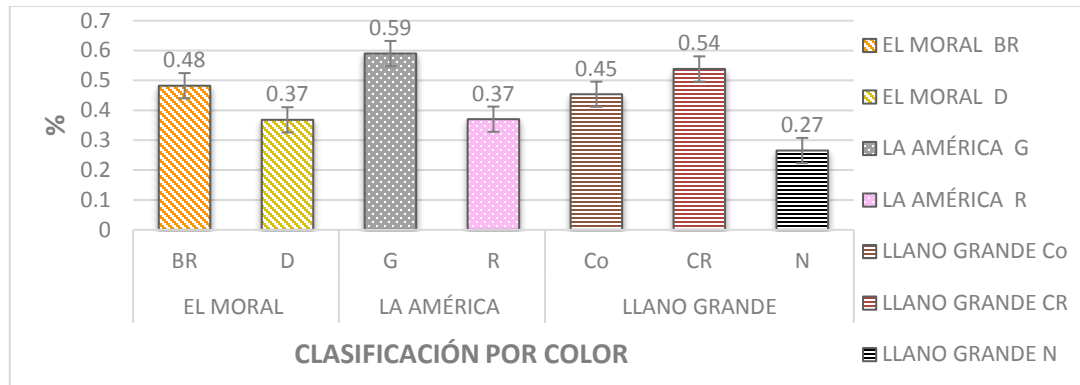


Figura 4.22. Gráfico del porcentaje de factor de durabilidad en rocas, promedio total de 25 ciclos de 4 prismas clasificados por color en periodo de prueba. J.C. García Perdomo, 2018.

Del estudio en rocas ígneas evaluadas en congelamiento y deshielo se observa en las figuras 4.14 y 4.15 el cambio de temperatura de 6.2 a 7.5 °C que resistieron los especímenes en un periodo de 25 ciclos de 3 horas. En la figura 4.16, 4.17 y 4.18 se muestran los resultados de Resistividad Eléctrica, Velocidad de Pulso Ultrasónico y Frecuencia de Resonancia al término de los 25 ciclos de congelamiento y deshielo no se observan cambios significativos en los resultados quedando como evidencia que no se afectaron las rocas durante los ciclos de prueba, por lo que se recomienda hacer más ciclos de prueba de tal manera que se pueda apreciar algún tipo de daño, tanto en pruebas mecánicas y su análisis de durabilidad. Esta es una prueba de desgaste acelerado que se recomienda para climas extremos, sin embargo en la región no se presenta este tipo de climas que pueda afectar la durabilidad.

4.12 Evaluación por ataque acelerado en Sulfato de sodio de rocas ígneas

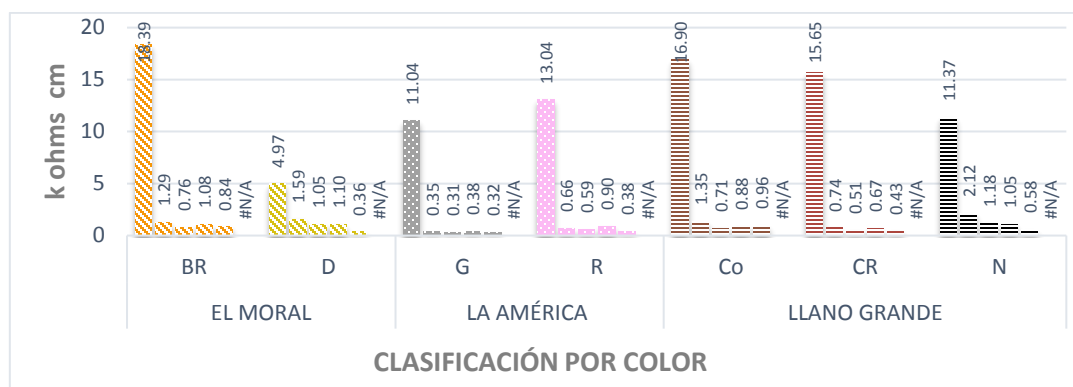


Figura 4.23. Gráfico de la pérdida de Resistividad Eléctrica, promedio parcial en 5 ciclos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

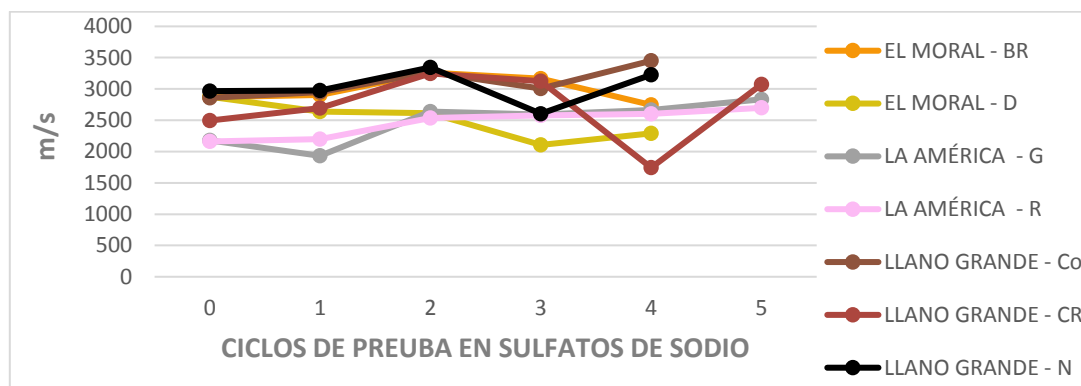


Figura 4.24. Gráfico de pérdida de Velocidad de Pulso Ultrasónico, promedio total 30 cubos para el primer ciclo y posteriormente 5 cubos menos en cada ciclo clasificado por color. J.C. García Perdomo, 2018.

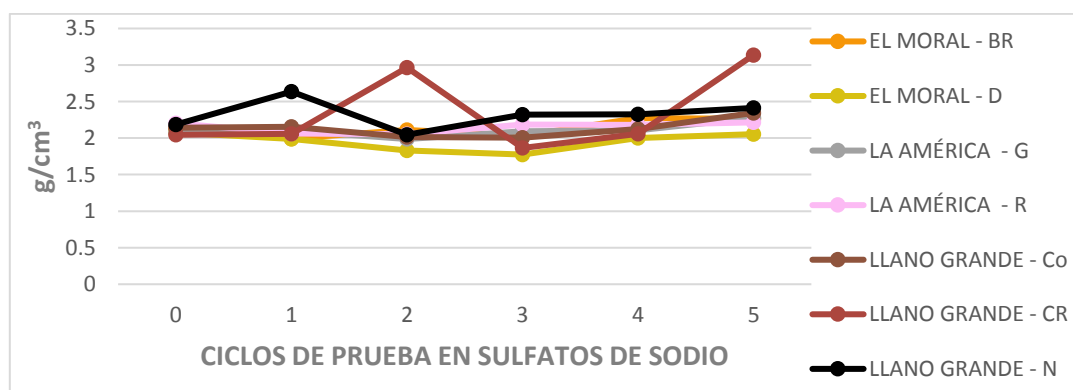


Figura 4.25. Gráfico de densidad, promedio total 30 cubos para el primer ciclo y posteriormente 5 cubos menos en cada ciclo clasificado por color. J.C. García Perdomo, 2018.

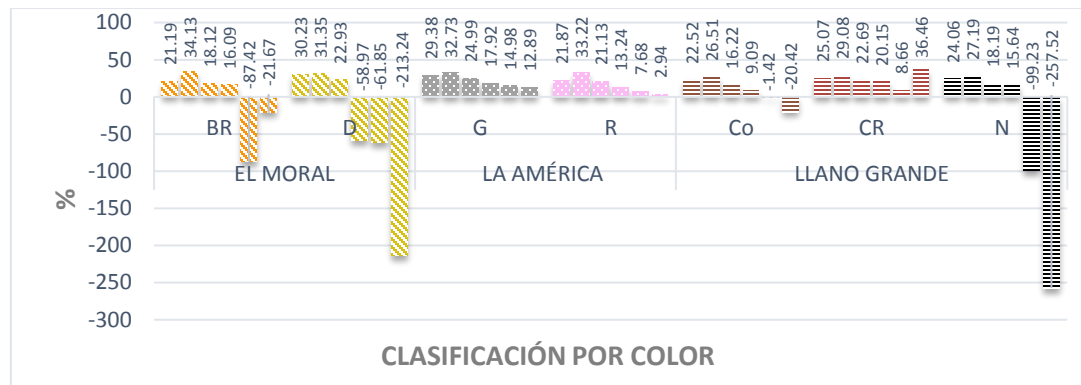


Figura 4.26. Gráfico de aumento de porosidad, promedio parcial en 5 ciclos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

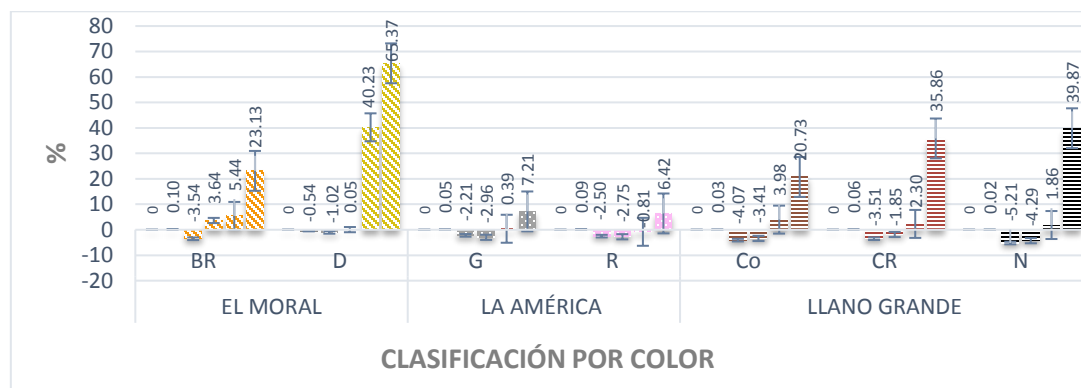


Figura 4.27. Gráfico de pérdida de masa, promedio parcial en 5 ciclos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

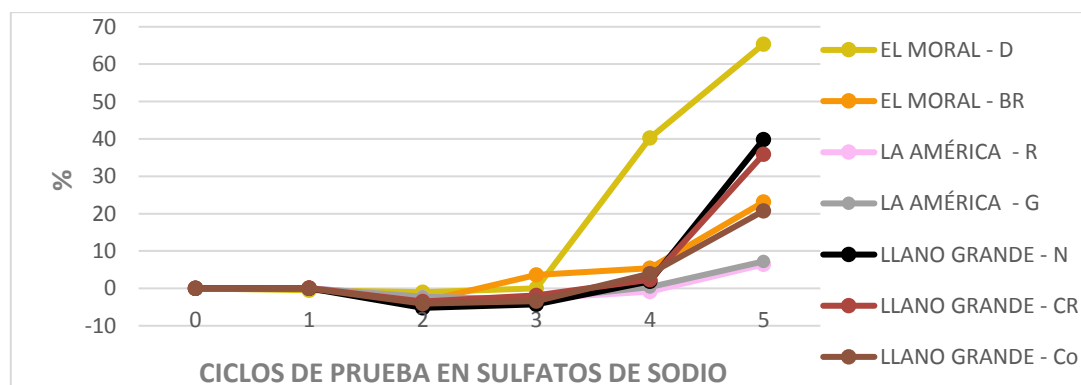


Figura 4.28. Gráfico de pérdida de masa, promedio total en periodo de los 5 ciclos. J.C. García Perdomo, 2018.

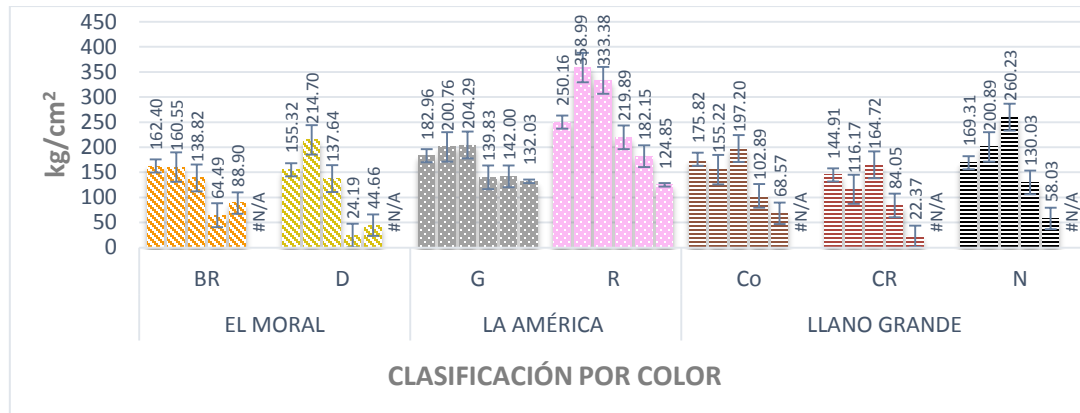


Figura 4.29. Gráfico de pérdida de resistencia a compresión por ataque acelerado, promedio parcial en 5 ciclos clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2018.

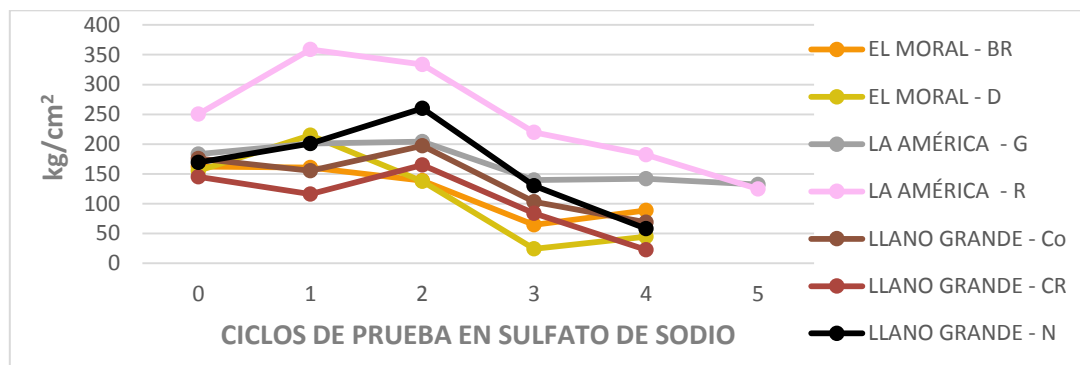


Figura 4.30. Gráfico de resistencia a compresión por ataque acelerado, promedio total en periodo de los 5 ciclos. J.C. García Perdomo, 2018.

En esta prueba de análisis se determina la pérdida de masa de las muestras resultando las rocas de color gris y rosa, las menos desgastadas. En la figura 4.23 se muestra el inicio de prueba con el ciclo cero, la Resistividad Eléctrica se encuentra en riesgo moderado, posterior a 5 ciclos baja su resistencia eléctrica indicando un alto riesgo de corrosión en comparativa con parámetros para evaluar el concreto hidráulico. A partir del ciclo 4 la pérdida de masa fue superior al 5 % de tal manera que ya no se logró realizar pruebas. El espécimen de color rosa es la que tiene valores más bajos de porosidad total por lo que logró tener menor pérdida de masa al final del quinto ciclo, más sin embargo el espécimen de color dorado siendo el de mayor pérdida de masa ya que su porosidad total es mayor a todos los especímenes. Resulto una pérdida de capacidad en la evaluación mecánica a compresión simple, de igual forma en las pruebas no destructiva: velocidad de pulso ultrasónico y resistividad eléctrica.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos el material de cantera su densidad absoluta varía de 2.10 y 2.24 g/cm³ quedando ligeramente por debajo de la especificación mínima de 2.3 g/cm³ para el uso de materiales para mampostería. En cuanto a la porosidad total las rocas de color rosa y café oscuro resultan menos porosas.

En cuanto a la colorimetría de las diferentes muestras analizadas se logró determinar la posición de los colores ubicados en una gráfica de coordenadas cromáticas entre el color amarillo y rojo, con colores claros utilizando para este tipo de prueba realizada con un equipo conocido como espectrofotómetro.

En la compresión simple en cubos se obtuvieron los mejores resultados en rocas de color rosa y menor en las de color rojizo, sin embargo todas las muestras evaluadas se consideran eficientes para uso estructural tanto para mampostería y entre otros elementos que se desee utilizar.

El banco “Llano Grande” muestra sus mejores resultados al esfuerzo de flexión en material de color negro, siendo además la que mayormente se usa para molduras, esculturas y laminado. Las muestras que resultaron menos favorables en la evaluación para flexión estática y cortante en rocas esta se puede mejorar aumentando el espesor de la roca.

En la prueba de congelamiento y deshielo no se observan cambios significativos en los resultados quedando como evidencia que no se afectaron las rocas durante los 25 ciclos de prueba, por lo que se recomienda hacer más ciclos de prueba de tal manera que se pueda apreciar algún tipo de daño, tanto en pruebas mecánicas y su análisis de durabilidad.

En evaluación de intemperismo acelerado se observó varios cambios, como la pérdida de masa y desintegración de partículas que conformaban el espécimen logrando llegar al cuarto ciclo de prueba con una pérdida de masa menor al 5% en todos los especímenes a excepción del color dorado del banco el moral siendo el 40% de pérdida de masa.



Anexo 1. Bibliografía

- Andrade, C., & D'Andrea, R. (Mayo de 2011). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 1(2), 93-101. Obtenido de <http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista>
- ASTM - C 127-01, D. (2003). *Anual Book of ASTM Standards*. ASTM Internacional.
- Bustamante García, I. J. (2007). *Inventario físico de los recursos minerales del municipio Tlalpujahua estado de Michoacán*.
- Bustamante García, I. J. (2011). Inventario físico de los recursos minerales de la carta casimiro castillo E13-B22. *SERVICIO GEOLOGICO MEXICANO*, 64.
- Durar, R. (1998). *MANUAL DE INSPECCIÓN, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO*. Red Iberoamericana XV.B.: ISBN 980-296-541-3.
- González Cuevas, Ó. M., & Feernandez Villegas, F. R. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. México: Limusa.
- González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson.
- INEGI. (junio de 2016). *Marco Geoestatico Municipal*. Obtenido de www.cuentame.inegi.org.mx
- INEGI. (4 de enero de 2019). *Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas*.
- J. Tarbuck, E., & K. Lutgens, F. (2013). *Ciencias de la Tierra, Una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson.
- Judson, L. (2000). *FUNDAMENTOS DE GEOLOGÍA FÍSICA*. CENTRO MÉXICO, D.F. C.P. 06040: LIMUSA, S.A. DE C.V.



- López Hernández , D. (2013). *APUNTES DE GEOLOGÍA*.
- Lugo- Hubp, J. (1990). *EL RELIEVE DE LA REPÚBLICA MEXICANA*.
- N. Muriel, C. N. (s.f.). Caracterización Colorimétrica de la Roca Ornamental de Extremadura. En I. U. Laboral. Avda d ela Universidad, nº 53, 10003 Cáceres.
- Navarro Sánchez, L. M., Martínez Molina, W., & Espinosa Mandujano, A. (2011). *Análisis de Materiales*. Morelia: Morevallo, S. de R. L. de C.V.
- N-CMT-2-01-003, C. d. (2002). *01. Materiales para Mamposterías*. SCT.
- NMX-C-205-ONNCCE-2005. (2005). *Industria de la construcción- concreto - determinación de la resistencia del concreto a la congelación y deshielo acelerados* . México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE).
- NMX-C-275-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción- concreto- determinación de la velocidad de pulso a través del concreto- Método de Ultrasonido*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE).
- NMX-C-514-ONNCCE. (2016). *Industria de la Construcción-Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico-Especificaciones y Metodos de Ensayo* . México : Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- paricutín, e. v. (21 de enero de 2016). Obtenido de <https://contactohoy.com.mx/paricutin-el-volcan-que-solo-le-perdono-la-vida-a-una-iglesia-en-mexico/>



Anexo 2. Índice de figuras

FIGURA 1.1. ROCA ÍGNEA GRANITO Y TRES DE SUS PRINCIPALES MINERALES CONSTITUYENTES (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013).	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 1.2. PLUTONES Y FORMAS TERRESTRES EN ACTIVIDAD ÍGNEA (JUDSON, 2000).	4
FIGURA 1.3. MINERALES DE ROCAS ÍGNEAS MÁS COMUNES (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013).	6
FIGURA 1.4. TEXTURA DE LA ROCAS ÍGNEAS (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013). .	8
FIGURA 1.5. ROCAS ÍGNEAS COMUNES (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013).	9
FIGURA 1.6. ROCA DE CANTERA DE PIZARRA (TIERRA, 2018).	12
FIGURA 1.7. ROCA FILITA (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013).	12
FIGURA 1.8. ANATOMÍA DE UN VOLCÁN COMPUESTO (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013).	13
FIGURA 1.9. LAVA PAHOEHOE (FOTO DE FRANS LANTING/CORBIS), VOLCÁN KILAUEA, HUAWAÍ (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013).	14
FIGURA 1.10. MOVIMIENTO LENTO DE LAVA DEL VOLCÁN PARICUTÍN (PARICUTÍN, 2016)	15
FIGURA 1.11. CENIZA VOLCÁNICA, PEQUEÑOS FRAGMENTOS DE PLUMITA (LAPILLI), BLOQUE VOLCÁNICO DE FRAGMENTO SÓLIDO Y BOMBAS BASÁLTICAS DE FORMA REDONDA MIENTRAS VIAJAN POR EL AIRE (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013).	16
FIGURA 1.12. VOLCÁN UNZEN DE JAPÓN, 3 DE JUNIO DE 1991 (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013).	17
FIGURA 2.1. MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE TALPUJAHUA, MICHOCÁN (INEGI, 2016).	19
FIGURA 2.2. PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS DE MÉXICO (BUSTAMANTE GARCÍA, 2011).	20
FIGURA 2.3. PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS DEL ESTADO DE MICHOCÁN (BUSTAMANTE GARCÍA, 2007).	20
FIGURA 2.4. LOCALIZACIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIAL (INEGI, 2019).	21
FIGURA 2.5. BANCO DE MATERIAL "EL MORAL", FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	22



FIGURA 2.6. BANCO DE MATERIAL "LA AMÉRICA", FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	22
FIGURA 2.7. BANCO DE MATERIAL "LLANO GRANDE", FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	23
FIGURA 2.8. TRANSPORTE DE CANTERA DE COLOR NEGRO, BANCO "LLANO GRANDE", FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	25
FIGURA 2.9. MURO DE CONTENCIÓN EN FUNCIÓN ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICO (J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018).	25
FIGURA 2.10. . TRANSPORTE DE BLOQUES GRANDES DE CANTERA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	26
FIGURA 2.11. MAQUINARIA ESPECIAL PARA CORTE EN LAMINADO DE CANTERA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	26
FIGURA 2.12. MATERIAL "LAMINADO" DESPUÉS DE PROCESO DE CORTE Y COLOCADO EN OBRA ARQUITECTÓNICA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	27
FIGURA 2.13. CASA HABITACIÓN CON PUNTO DE ENFOQUE ARQUITECTÓNICO DE MATERIAL DE CANTERA COLOR CAFÉ OSCURO FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	27
FIGURA 2.14. MONUMENTO DE ÁGUILA EN GLORIETA DE REFORMA Y ESTELAS DE LA CONSTITUCIÓN EN MORELIA MICHOACÁN (LARA BAUTISTA, 2017).	27
FIGURA 2.15. CORTE DE MATERIAL CON DISCO DE DIAMANTE, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	28
FIGURA 3.1. DETERMINACIÓN DE MASA SECA CONSTANTE EN GRAMOS A TEMPERATURA 110 ± 5 °C, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	30
FIGURA 3.2. OBTENIENDO RESULTADO DE MASA DEL MATERIAL, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	30
FIGURA 3.3. MUESTRAS REPRESENTATIVAS DE CUBOS DE ROCA COMPLETAMENTE SATURADAS, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	30
FIGURA 3.4. MUESTRAS EN EL HORNO A TEMPERATURA 110 ± 5 °C, HASTA TENER MASA CONSTANTE, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	32
FIGURA 3.5. SE DETERMINA MASA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.32	

FIGURA 3.6. EN UN RECIPIENTE SE COLOCAN LAS MUESTRAS HASTA QUEDAR COMPLETAMENTE SATURADAS DE AGUA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	32
FIGURA 3.7. DETERMINACIÓN DE LA MASA ESPECÍFICA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	32
FIGURA 3.8. MUESTRAS DE CANTERA COMPLETAMENTE SATURAS CON AGUA, EN UN PERIODO DE TIEMPO DE 24 HORAS, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	34
FIGURA 3.9. VASO PRECIPITADO UTILIZADO PARA MEDIR EL VOLUMEN DE CADA UNO DE LOS ESPECÍMENES, MISMA FUNCIÓN DEL PICNÓMETRO MIDIENDO EL AGUA QUE DESALOJA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	34
FIGURA 3.10. TOMA DE MEDIDAS DE COLOR.	36
FIGURA 3.11. CALIBRACIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO.....	36
FIGURA 3.12. SE TOMAN MEDIAS REALES DE CADA CUBO Y SE ENUMERAN LAS MUESTRAS DE LOS SIETE COLORES DE ANÁLISIS, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	38
FIGURA 3.13. SE COLOCA LA MUESTRA CUBICA EN LA MAQUINA UNIVERSAL PARA SER ANALIZADA EN PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	38
FIGURA 3.14. SE AJUSTA Y NIVELA LA MAQUINA UNIVERSAL, PARA APLICAR CARGA Y OBTENER SU CARGA MÁXIMA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	38
FIGURA 3.15. PUNTO DE FALLA DEL MATERIAL, MOSTRANDO SU AGRIETAMIENTO, ASÍ POSTERIORMENTE SE ANALIZARON CINCO MUESTRAS DE LOS SIETE COLORES DE PRUEBA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	38
FIGURA 3.16. ESPECÍMENES LIMPIOS, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	40
FIGURA 3.17. TOMA DE DIMENSIONES DEL ESPÉCIMEN, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	40
FIGURA 3.18. MARCAR A UNA PULGADA LOS EXTERNOS, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	40



FIGURA 3.19. MARCAR EL PUNTO CENTRO DONDE SE APLICA LA CARGA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	40
FIGURA 3.20. COLOCAR EL ESPÉCIMEN EN LA PRENSA HIDRÁULICA, AJUSTAR Y NIVELAR, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	40
FIGURA 3.21. APLICACIÓN DE CARGA EN EL ESPÉCIMEN, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	40
FIGURA 3.22. APARATO V-METER MK IV, MARCA JAMES INSTRUMENTS, PARA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	42
FIGURA 3.23. TRANSMISIÓN DIRECTA CON LOS TRANDUCTORES EN LAS CARAS OPUESTAS DE LA ROCA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	44
FIGURA 3.24. REGISTRANDO EL VALOR MÁS ESTABLE DE LA DISTANCIA EN LÍNEA RECTA MEDIDA DE CENTRO A CENTRO DE LA CARA DE LOS TRANDUCTORES, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	44
FIGURA 3.25. SE ENUMERAN Y SE MARCAN CON UNA CRUZ DONDE SERÁ COLOCADA UNA PLACA METÁLICA PARA LA PRUEBA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	47
FIGURA 3.26. SE TOMAN LAS DIMENSIONES REALES CON UN VERNIER, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	47
FIGURA 3.27. SE CALIBRA EL APARATO RESISTÓMETRO GARANTIZANDO LA CONEXIÓN DEL AMPERÍMETRO Y VOLTÍMETRO, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	47
FIGURA 3.28. SE APLICA LA PRUEBA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	47
FIGURA 3.29. ENUMERAR 5 MUESTRAS DE CADA COLOR, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	51
FIGURA 3.30. SE COLOCAN LAS MUESTRAS EN EL HORNO A UNA TEMPERATURA 110 °C ± 5 °C, HASTA TENER MASA SECA CONSTANTE TENIENDO UNA DIFERENCIA DE 0.5% DE MASA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	51
FIGURA 3.31. SE INTRODUCE EN UN RECIPIENTE PARAFINA HASTA CONVERTIRSE EN LÍQUIDO, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	51



FIGURA 3.32. SE CUBREN 4 LADOS LATERALES DE CADA CUBO CON PARAFINA Y RESINA LIQUIDA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	51
FIGURA 3.33. SE COLOCAN LAS MUESTRAS EN UN RECIPIENTE CON UNA ESPONJA HÚMEDA EN EL INTERIOR AL FONDO CON UN NIVEL DE AGUA DE 3 MM, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	52
FIGURA 3.34. SE REGISTRA EL CAMBIO DE MASA DE CADA ESPÉCIMEN EN DIFERENTES INTERVALOS DE TIEMPO, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	52
FIGURA 3.35. SE COLOCAN 5 MUESTRAS DE CADA COLOR EN EL HORNO A $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ HASTA TENER MASA SECA CONSTANTE, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	56
FIGURA 3.36. SE SUMERGEN LOS CUBOS EN AGUA HASTA OBTENER UNA SATURACIÓN TOTAL, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	56
FIGURA 3.37. SECAR SUPERFICIALMENTE LAS MUESTRAS CON FRANELA Y REGISTRAR LA MASA SUPERFICIALMENTE SECA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	56
FIGURA 3.38. SATURAR LOS ESPÉCIMENES EN UN RECIPIENTE DURANTE 5 HORAS HASTA LLEGAR SU PUNTO EBULLICIÓN A UNA TEMPERATURA DE 100°C A 110°C , FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	56
FIGURA 3.39. SE REGISTRA SU MASA SATURADA POR EBULLICIÓN SUPERFICIALMENTE SECA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	56
FIGURA 3.40. SE OBTIENE LA MASA ESPECÍFICA POR MEDIO DE UNA CANASTILLA SUMERGIDA BAJO EL AGUA CON EL ESPÉCIMEN, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	56
FIGURA 3.41. LAS MUESTRAS EN FORMA DE PRISMA FUERON SOMETIDAS EN PROCESO DE SATURACIÓN POR 48 HORAS HASTA OBTENER MASA CONSTANTE, CICLO 0, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	60
FIGURA 3.42. SE ENUMERAN Y SE REGISTRAN LAS DIMENSIONES REALES LOS PRISMAS, CICLO 0, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	60
FIGURA 3.43. SE REALIZA LA PRUEBA DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO, CICLO 0, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	60
FIGURA 3.44. SE REALIZA LA PRUEBA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA, CICLO 0, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	60



FIGURA 3.45. SE REALIZA PRUEBA DE FRECUENCIA DE RESONANCIA, CICLO 0, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	61
FIGURA 3.46. SE COLOCAN 4 ESPECÍMENES EN CADA RECIPIENTE, CON UN NIVEL DE 3 MM SOBRE LA SUPERFICIE DE LA MUESTRA, CICLO 0, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	61
FIGURA 3.47. SE COLOCAN TODOS LOS RECIPIENTES DENTRO DEL APARATO ENFRIADOR CUMPLIENDO UN PERIODO DE TIEMPO DE 3 HORAS EN EL TRANCURSO DE CADA CICLO, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	61
FIGURA 3.48. SE TOMA LA TEMPERATURA CUANDO SALE EL RECIPIENTE DE APARTO ENFRIADOR CON LAS MUESTRAS, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	61
FIGURA 3.49. SE REALIZA EL CICLO DE PRUEBA DE REGISTRO DE TEMPERATURA, MEDICIÓN DE DIMENSIONES, MASA, RESISTIVIDAD ELÉCTRICA, VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO Y FRECUENCIA DE RESONANCIA DURANTE 25 CICLOS, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	61
FIGURA 3.50. CONFORME EN CADA CICLO DE PRUEBAS LAS MUESTRAS SE CONGELAN MÁS POR LA PENETRACIÓN DEL HIELO EN LOS POROS DE LA ROCA, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	61
FIGURA 3.51. SE REALIZA PRUEBA DE FLEXIÓN ESTÁTICA AL FINAL DE TODOS LOS CICLOS QUE FUE SOMETIDO EL ESPÉCIMEN, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	62
FIGURA 3.52. PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE SODIO (Na_2SO_4), FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	67
FIGURA 3.53. SE CUBREN LAS MUESTRAS CON SULFATO HASTA QUEDAR COMPLETAMENTE SATURADAS Y PROCURAR UN TIRANTE DE SOLUCIÓN NO MENOR DE 13 MM POR ENCIMA DE LA SUPERFICIE DEL ESPÉCIMEN, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	67
FIGURA 3.54. SE DETERMINA LOS PARÁMETROS FÍSICOS EN CADA CICLO, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	67



FIGURA 3.55. LAS MUESTRAS SE DEJAN SECAR EN EL HORNO A UNA TEMPERATURA NO MENOR A 60 °C HASTA OBTENER MASA SECA CONSTANTE, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	67
FIGURA 3.56. SE COLOCAN LAS MUESTRAS COMPLETAS RESTANTES EN LA SOLUCIÓN DE SULFATO DE SODIO EN UN TRANCURSO DE 5 CICLOS, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	67
FIGURA 3.57. SE DETERMINALOS PARÁMETROS MECÁNICOS ENSAYANDO 5 MUESTRAS EN CADA CICLO, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018. ...	67
FIGURA 3.58. DE ACUERDO A LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y MECÁNICOS, NO SE PUEDEN ANALIZAR LAS MUESTRAS CON ARISTAS INCOMPLETAS. SE PUEDE OBSERVAR LA PÉRDIDA DE MASA QUE HA SUFRIDO EL ESPÉCIMEN DURANTE LOS 5 CICLOS EN LA SOLUCIÓN DE SULFATO DE SODIO, FOTOGRAFÍA: J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	68
FIGURA 4.1. GRÁFICO DE PORCENTAJE EN HUMEDAD DE ABSORCIÓN, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	70
FIGURA 4.2. GRÁFICO DE DENSIDAD RELATIVA, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	70
FIGURA 4.3. GRÁFICO DE DENSIDAD ABSOLUTA, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	71
FIGURA 4.4. GRÁFICO DE COORDENADAS CROMÁTICAS A* Y B* POSITIVOS, LO QUE PONE DE RELIEVE QUE EL COLOR ESTÁ EN LA GAMA DE AMARILLO-ROJO. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	72
FIGURA 4.5. GRÁFICO DE RESISTENCIA MÁXIMA A COMPRESIÓN, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	72
FIGURA 4.6. GRÁFICO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN ESTÁTICA EN ROCAS, PROMEDIO DE 5 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	73
FIGURA 4.7. GRÁFICO DE ESFUERZO DE CORTANTE, PROMEDIO DE 5 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	74
FIGURA 4.8. GRÁFICO DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	75



FIGURA 4.9. GRÁFICO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	76
FIGURA 4.10. GRÁFICO DEL PORCENTAJE DE POROSIDAD EFECTIVA, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	77
FIGURA 4.11. GRÁFICO DE LA SORCIÓN CAPILAR, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	77
FIGURA 4.12. GRÁFICO DEL PORCENTAJE DE POROSIDAD TOTAL, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	788
FIGURA 4.13. GRÁFICO DEL PORCENTAJE DE POROSIDAD TOTAL EN INMERSIÓN Y DESPUÉS DE EBULLICIÓN, PROMEDIO DE 5 CUBOS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	78
FIGURA 4.14. GRÁFICO DE TEMPERATURA EN PERIODO DE 25 CICLOS DE 3 HORAS, PROMEDIO TOTAL DE 4 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	79
FIGURA 4.15. GRÁFICO DE TEMPERATURA EN PERIODO DE 25 CICLOS DE 3 HORAS, PROMEDIO EN CICLO DE 4 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	79
FIGURA 4.16. GRÁFICO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA, PROMEDIO TOTAL DE 4 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR EN PERIODO DE 25 CICLOS DE PRUEBA. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	80
FIGURA 4.17. GRÁFICO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA, PROMEDIO EN CICLO DE 4 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR EN PERIODO DE 25 CICLOS DE PRUEBA. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	80
FIGURA 4.18. GRÁFICO DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO, PROMEDIO TOTAL DE 4 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR EN PERIODO DE 25 CICLOS DE PRUEBA. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	80
FIGURA 4.19. GRÁFICO DE FRECUENCIA DE RESONANCIA, PROMEDIO TOTAL DE 25 CICLOS DE 4 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR EN PERIODO DE PRUEBA. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	811
FIGURA 4.20. GRÁFICO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN ESTÁTICA, PROMEDIO TOTAL DE 25 CICLOS DE 4 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR EN PERIODO DE PRUEBA. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	81



FIGURA 4.21. GRÁFICO DE ESFUERZO CORTANTE, PROMEDIO TOTAL DE 25 CICLOS DE 4 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR EN PERIODO DE PRUEBA. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	81
FIGURA 4.22. GRÁFICO DEL PORCENTAJE DE FACTOR DE DURABILIDAD EN ROCAS, PROMEDIO TOTAL DE 25 CICLOS DE 4 PRISMAS CLASIFICADOS POR COLOR EN PERIODO DE PRUEBA. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	822
FIGURA 4.23. GRÁFICO DE PERDIDA DE RESISTIVIDAD ELECTRICA, PROMEDIO PARCIAL EN 5 CICLOS CLASIFICADOS POR COLOR, J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	673
FIGURA 4.24. GRÁFICO DE PERDIDA DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO, PROMEDIO TOTAL DE 30 CUBOS PARA EL PRIMER CICLO Y POSTERIORMENTE 5 CUBOS MENOS EN CADA CICLO CLASIFICADO POR COLOR, J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	83
FIGURA 4.25. GRAFICO DE DENSIDAD, PROMEDIO TOTAL DE 30 CUBOS PARA EL PRIMER CICLO Y POSTERIORMENTE 5 CUBOS MENOS EN CADA CICLO CLASIFICADO POR COLOR, J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	83
FIGURA 4.26. GRAFICO DE AUMENTODE POROSIDAD, PROMEDIO PARCIAL EN 5 CICLOS CLASIFICADOS POR COLOR, J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	84
FIGURA 4.27. GRAFICO DE PERDIDA DE MASA, PROMEDIO PARCIAL EN 5 CICLOS CLASIFICADOS POR COLOR, J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	84
FIGURA 4.28. GRAFICO DE PERDIDA DE MASA, PROMEDIO TOTAL EN PERIODO DE LOS 5 CICLOS, J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	84
FIGURA 4.29. GRAFICO DE PERDIDA DE RESISTENCIAA COMPRESIÓN POR ATAQUE ACELERADO, PROMEDIO PARCIAL EN 5 CICLOS CLASIFICADOS POR COLOR, J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.....	85
FIGURA 4.30. GRAFICO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN POR ATAQUE ACELERAD, PROMEDIO TOTAL EN PERIODO DE LOS 5 CICLOS. J.C. GARCÍA PERDOMO, 2018.	85



Anexo 3. Índice de tablas

TABLA 1.1. CLASIFICACIÓN DE ROCAS METAMÓRFICAS COMUNES (J. TARBUCK & K. LUTGENS, 2013).	11
TABLA 2.1. BANCOS DE ROCAS DIMENSIONABLES (BUSTAMANTE GARCÍA, 2007).	24
TABLA 3.1. MEDIDAS DE L^* , A^* Y B^* . INDICA LOS VALORES DE L^* , QUE SITUÁN ALREDEDOR DEL 32-56 %, OBTENIÉNDOSE VALORES POSITIVOS PARA A^* Y B	36
TABLA 3.2. CRITERIO DE EVALUACIÓN PARA CALIDAD EN FUNCIÓN DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO (DURAR, 1998; NMX-C-275-ONNCCE, 2004).	45
TABLA 3.3. CRITERIO PARA EVALUAR LA RESISTENCIA ELÉCTRICA (DURAR, 1998).	48
TABLA 3.4. CRITERIOS PARA EVALUAR RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (NMX-C-514-ONNCCE., 2016)	48
TABLA 3.5. CRITERIO DE EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL MATERIAL EN FUNCIÓN DE LA POROSIDAD TOTAL (DURAR, 1998).	57

