



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

***“EVALUACIÓN DE PÉTREOS SIN LABRAR TENIENDO
COMO BASE EL MÉTODO DE LA CARGA PUNTUAL”***

TESIS

***QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA***

***PRESENTA:
ING. MARCO ANTONIO NAVARRETE SERAS***

***ASESOR DE TESIS:
M.I. WILFRIDO MARTINEZ MOLINA***

***COASESOR:
DR. JUAN CARLOS ARTEAGA ARCOS***

MORELIA, MICHOACÁN, DICIEMBRE DE 2012



AGRADECIMIENTOS

A las siguientes instituciones:

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Civil, Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Rúelas”, Sección de Resistencia de Materiales.

Al asesor de tesis M. I. Wilfrido Martínez Molina, por su orientación y apoyo en este trabajo de investigación, por proporcionar el equipo y los documentos necesarios para la realización de esta investigación, por las sugerencias brindadas y por sus consejos que me han ayudado en mi formación académica.

Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán, por su apoyo incondicional en la realización del presente trabajo, su paciencia, esmero y dedicación; su tiempo, constancia, esfuerzo y sugerencias en la dirección de la elaboración del mismo. Le estaré agradecido infinitamente por todo el apoyo que me ha brindado en mi formación académica.

Al Dr. Juan Carlos Arteaga Arcos, por su orientación en este trabajo de investigación, por las sugerencias y su apoyo en la realización de este trabajo, por su amistad brindada en este tiempo.

Al Dr. Hugo Luis Chávez García, por su orientación y manejo de los equipos de pruebas no destructivas.

A la **M. I. Cindy Lara Gómez** y al **C. José Jesús Zauno Zamudio**, Por el apoyo y comprensión durante el desarrollo de la investigación. **Al C. Rubén Hernández Guzmán**, a mis compañeros de trabajo del Laboratorio de Materiales.

DEDICATORIAS

Para mi esposa Lupita, por su apoyo, su dedicación, su empeño, por su motivación a salir adelante, y especialmente porque la amo. Por estar conmigo en los momentos buenos y malos, por su amor, le agradezco mucho su apoyo y su paciencia.

Para mi niña Wendy, porque ha llegado a mi vida y la cual me motiva para echarle ganas y salir adelante, es sin duda lo mejor que me ha pasado en esta vida.

A mi mama y a mi hermano, por los momentos agradables que me han ayudado a salir adelante.

A Mtro. Juan Carlos y Magdalena papás de mi esposa por estar con nosotros y por los momentos agradables que me han ayudado a salir adelante.

RESUMEN

En el ámbito de los materiales de construcción una parte medular de estos son los materiales pétreos, debido a que no existen obras de construcciones civiles que no conlleven, diferentes tipos de roca. Su caracterización física y mecánica resulta ser una parte fundamental en diseño de las diferentes obras de construcción, existen normas universalmente aceptadas para determinar dichos parámetros.

Es común que en la determinación de propiedades mecánicas de las rocas, como es la resistencia a la compresión, sean éstas cortadas para ensayarlas en el laboratorio, pero también existen rocas sanas, gravas, cuya morfología, tamaño y textura impiden el labrado, pero cuya resistencia mecánica es muy importante de determinar para diseñar y calcular el porcentaje que debe ir inmerso en matrices cerámicas, poliméricas, arcillosas ó asfálticas, es entonces cuando se hace uso de equipos como el Point Load, ASTM D 5731, sin preparación previa puede emplearse tanto en condiciones de laboratorio como in situ para hacer determinaciones de resistencia mecánica a compresión simple y proceder con los cálculos correspondientes.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos de manera experimental en rocas ígneas extrusivas e intrusivas, naturales y reducidas de tamaño y con casi cualquier morfología, pero diámetros promedios del orden de hasta 4 pulgadas.

La determinación de la durabilidad, mediante la prueba de Intemperismo Acelerado, proporciona información relevante, debido a que se puede determinar cuál de las rocas sufre un desgaste mayor, y con esto seleccionar las más apropiadas, bajo las condiciones propuestas de cada proyecto.

Los bancos son analizados técnicas analíticas aplicadas tales como microscopia electrónica de barrido (MEB), Fluorescencia de rayos x

También se muestran los resultados de pruebas no destructivas como lo son: Velocidad de pulso, frecuencia de resonancia y Resistividad.

ABSTRACT

In the field of building materials a central part of these are stone materials, because there are no works not involving civil constructions, different rock types. Its physical and mechanical characterization proves to be a vital part in the design of the various construction sites, there are universally accepted standards for determining these parameters.

It is common in the determination of rock mechanical properties, such as resistance to compression, they are cut in the laboratory to test them, but there healthy rocks, gravel, whose morphology, size and texture wrought prevent but whose strength is very important to determine to design and calculate the percentage that must be embedded in ceramic matrices, polymer, clay or asphalt, that's when it makes use of equipment such as the Point Load, ASTM D 5731, without prior preparation can be used both in the laboratory and in the field to make determinations of compressive strength simple and proceed with the calculations.

This paper presents the results obtained experimentally in extrusive and intrusive igneous rocks, natural and reduced in size and morphology with almost any but average diameters of the order of up to 4 inches.

The determination of durability through Accelerated Weathering test provides important information, because it can determine which of the rocks suffer more wear, and thereby to select the most appropriate, under the proposed conditions of each project.

Banks are analyzed analytical techniques applied such as scanning electron microscopy (SEM), X-ray fluorescence

Also shown are the results of non-destructive tests such as: pulse rate, resonance frequency and resistivity.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
1.- OBJETIVOS.....	15
2.- INTRODUCCIÓN	16
3.- GENERALIDADES.....	17
3.1.- CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS	17
3.2.- EL CICLO DE LAS ROCAS	18
3.3.- MINERALES.....	19
3.3.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES.	20
3.3.2.- MINERALES FORMADORES DE ROCA.	22
3.4.1. VOLCANES Y ROCAS EXTRUSIVAS.....	35
4.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	43
4.1.-GEOLOGÍA REGIONAL	43
4.2.-DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	46
5.- DESARROLLO EXPERIMENTAL	55
5.1.- OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	55
5.2.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	56
6.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS	56
6.1.-% DE HUMEDAD ACTUAL (ASTM C127-04).....	56
6.2.-% DE HUMEDAD DE ABSORCIÓN (ASTM C127-04).	57
6.3.- DENSIDAD POR MEDIO DEL PICNÓMETRO (ASTM C127-04).....	58
6.4.-DENSIDAD APARENTE O GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C127-04).....	59
6.5.- ENSAYO DE ABSORCIÓN CAPILAR.....	61
7.- TÉCNICAS ANÁLITICAS APLICADAS A LOS AGREGADOS PÉTREOS.	63
7.1.-MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	63
7.1.2.- PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	66
7.2.- DIFRACCIÓN DE RAYOS X.	69
7.2.1.- FUNDAMENTOS DEL MÉTODO.....	69
7.2.2.-PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	72
7.3.- FLUORESCENCIA DE RAYOS X.	75
8.- PRUEBAS MECÁNICAS REALIZADAS.	77

8.1.- ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (POINT LOAD) (ASTM 5731-05).....	77
8.2.- DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD AL DESMORONAMIENTO DE ROCAS BLANDAS (ASTM D 4644 – 87)	84
8.3.-MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS POR EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE SULFATO DE MAGNESIO (ASTM C 88 – 99A).	87
8.4.- COMPRESIÓN EN LA ALBAÑILERÍA EN1052-1(1999)	89
8.5.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE ESPECÍMENES DE CORAZONES DE ROCA INTACTOS (ASTM D 2938 – 95).	92
9.- PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.....	94
9.1.- RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	94
9.2.- VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO (ASTM C597-02)	95
9.2.1.- FUNDAMENTOS DEL MÉTODO.....	95
9.2.2.- REALIZACIÓN DEL MÉTODO.....	97
9.3.- FRECUENCIAS DE RESONANCIA (ASTM C215 -02).	99
10.- RESULTADOS	102
10.1.- % DE HUMEDAD ACTUAL (ASTM C127-04).....	102
10.2.- % DE HUMEDAD DE ABSORCIÓN (ASTM C127-04).	105
10.3.- DENSIDAD POR MEDIO DEL PICNÓMETRO (ASTM C127-04).....	107
10.4.- GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C127-04).....	111
10.5.- ENSAYO DE ABSORCIÓN CAPILAR.....	114
10.6.- TÉCNICAS ANÁLITICAS APLICADAS A LOS AGREGADOS PÉTREOS.	120
10.7.- ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (POINT LOAD) (ASTM D5731-05).	143
10.8.- DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD AL DESMORONAMIENTO DE ROCAS BLANDAS(ASTM D 4644 – 87).	146
10.9. INTEMPERISMO ACELERADO.....	147
10.10.- PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS	148
10.10.1.- RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	148
10.10.2. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO (ASTM C597-02).....	150
10.10.3.- FRECUENCIAS DE RESONANCIA (ASTM C215 -02).	152
11.- DISCUSIONES	154
12.- CONCLUSIONES	163
13.- BIBLIOGRAFÍA	166

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1. El ciclo de las rocas. (http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200704/17/tierrayuniverso/20070417klpcnatun_61.Ees.SCO.png).....	19
Figura N°2. Diagrama de la composición de los feldespatos. Para un feldespato representado por un punto dentro del triángulo, las proporciones de las tres cantidades, Ortoclasa, Albita y Anortita son dadas por las longitudes de las perpendiculares desde el punto a cualquiera de los lados del triángulo. Cada esquina representa el 100% del componente que ahí se nombra. Con el incremento en el Ca la plagioclase gradúa de Albita (0-10% CaAl_2) a Oligoclase, Andesina, Labradorita Bitownita y Anortita (90-100 % CaAl_2)	29
Figura N°3. Cristal de ortoclasa (izquierda) mostrando el crucero; (a) sección vertical y (b) sección vertical mostrando el crucero y las caras principales del cristal.....	29
Figura N°5. Plagioclase en sección delgada (x 2)(polaroide superior dentro)	32
Figura N°6. Volcán Sarychev en las Islas Kuriles, Rusia	36
(http://es.wikipedia.org/wiki/Volc%C3%A1n)	36
Figura N°7. Masas de rocas ígneas.....	40
(http://docentes.educacion.navarra.es/~metayosa/1bach/masas%20%C3%ADgneas.JPG).	40
Figura N°8. Clasificación de las rocas ígneas (excluyendo las rocas alcalinas). Tamaño xtl = Tamaño uso de los cristales. M = mica, Anfíboles (Hornblenda), P = Piroxenas (Augita), O = olivino. Áreas negras minerales opacos.	43
Figura N°9. Placa de Cocos y del Caribe. (http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Placa_de_Cocos&oldid=56462134).	44
Figura N°10. Banco de materiales Cerritos (Fuente M. A. Navarrete Seras).....	47
Figura N°11. Banco de materiales Huiramba (Fuente M. A. Navarrete Seras).	47
Figura N°12. Banco de materiales Joyitas (Fuente M. A. Navarrete Seras).	48
Figura N°13. Banco de materiales Comanja (Fuente M. A. Navarrete Seras).	48
Figura N°14. Banco de materiales Cuenembo (Fuente M. A. Navarrete Seras).	49
Figura N°15. Banco de materiales el Tigre (Fuente M. A. Navarrete Seras).	49
Figura N°16. Banco de materiales Maskutan (Fuente M. A. Navarrete Seras).....	50
Figura N°17. Banco de materiales El Melón (Fuente M. A. Navarrete Seras).	50
Figura N°18. Banco de materiales AGC (Fuente M. A. Navarrete Seras).	51
Figura N°19. Banco de materiales El Colegio (Fuente M. A. Navarrete Seras).	51
Figura N°20. Localización de los diez bancos de materiales (Imágenes de Google earth)..	53
Figura N°21. Bancos de materiales pétreos.....	55
Figura N°22. Determinación del peso seco de la muestra (Fuente M. A. Navarrete Seras). ..	57
Figura N° 23. Determinación de la gravedad específica (Fuente M. A. Navarrete Seras)...	60
Figura N°24. Wo de la muestra con parafina (Fuente M. A. Navarrete Seras).....	62
Figura N°25. Tirante de agua de 3mm por encima de la parte inferior de la probeta (Fuente M. A. Navarrete Seras)	62

Figura N°26. Muestra C3 cubierta con parafina (Fuente M. A. Navarrete Seras).	62
Figura N°27. Esquema de un SEM de un microscopio electrónico de barrido.	65
Figura N°28. Microscopio electrónico de barrido marca JEOL (Fuente M. A. Navarrete Seras)	67
Figura N°29. Metalizadora S150A SPUTTER COATER (Fuente M. A. Navarrete Seras).67	
Figura N°30. Fragmentos de diámetro entre 0.2 y 0.5 centímetros (Fuente M. A. Navarrete Seras).	67
Figura N°31. Muestras cubiertas con una capa de cobre (Fuente M.A Navarrete Seras). ...	68
Figura N°32. Extracción del tren de portamuestras (Fuente M.A Navarrete Seras).	68
Figura N°33. Portamuestras donde se observan las diez muestras (Fuente M.A Navarrete Seras).	68
Figura N°34. Equipo completo del microscopio electrónico de barrido (Fuente M.A Navarrete Seras)	69
Figura N°35. Obtención de polvo de las muestras (Fuente M.A Navarrete Seras).	72
Figura N°36. Mortero de Agata con el polvo de la muestra (Fuente M.A Navarrete Seras).	73
Figura N°37. Cribado del polvo mediante malla N° 200 (Fuente M.A Navarrete Seras)..	73
Figura N°38. Equipo para realizar la prueba de difracción de rayos X (Fuente M.A Navarrete Seras).	74
Figura N°39. Muestras de polvo con un peso de entre 20 y 25 gr (Fuente M.A Navarrete Seras).	74
Figura N°40. Colocación del polvo en la placa (Fuente M.A Navarrete Seras).	75
Figura N°41. Colocación de la muestra en el equipo (Fuente M.A Navarrete Seras).	75
Figura N°42. Parámetros que deben cumplir los fragmentos de roca de acuerdo a la norma (Fuente M.A. Navarrete Seras).	80
Figura N°43. Datos que se deben introducir antes de comenzar la prueba al manómetro digital (Fuente M. A. Navarrete Seras).	81
Figura N°44. Botón Esc de fondo gris con circunferencia amarilla (Fuente M. A. Navarrete Seras).	82
Figura N° 45. Relación entre la compresión uniaxial y el índice de carga puntual (D5731-05).	84
Resistencia a la compresión uniaxial de 125 pruebas en Piedra Arenisca, Cuarcita, Marikana, Norita, y Belfast Norite.	84
Figura N°46. Critical dimensions of Slake Durability Equipment (ASTMD 4644 – 87).	86
Figura N°47. Equipo de durabilidad (Fuente M. A. Navarrete Seras).	86
Figura N°48. Dimensiones de los especímenes.	90
Figura N°49. Pilas de especímenes de roca (Fuente M. A. Navarrete Seras).	91
Figura N°50. Equipo de extracción de corazones (Fuente M. A. Navarrete Seras).	93
Figura N°51. Equipo de resistividad, en la imagen se observa cómo se realiza la resistividad de la muestra C1 (Fuente M. A. Navarrete Seras).	94

Figura N°52. Equipo de ultrasonido, determinando la Vp en la muestra T1 (Fuente M. A. Navarrete Seras).	98
Figura N°53. Equipo E-meter C-4959 Mark II (Fuente M. A. Navarrete Seras).	99
Figura N°54. Punto nodal al centro del largo de un cilindro en este caso se observa la muestra S1 perteneciente al banco El Colegio (Fuente M. A. Navarrete Seras).	100
Figura N°55. Gráfica % De Humedad Actual (promedios de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).	102
Figura N°56. Gráfica % De Humedad (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).	103
Figura N° 57. Gráfica % De Humedad Actual (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).	104
Figura N° 58. Gráfica % De Humedad de Absorción (promedios de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).	105
Figura N° 59. Gráfica % De Humedad de Absorción (promedio de 12 cubos labrados de roca por banco).	106
Figura N° 60. Gráfica % De Humedad de Absorción (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos). ...	107
Figura N° 61. Gráfica de Densidad (g/cm^3) (promedios de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).	108
Figura N°62. Gráfica de Densidad (g/cm^3) (promedio de 12 cubos labrados de roca por banco).	109
Figura N°63. Gráfica Densidad (g/cm^3) (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).	110
Figura N° 64. Gráfica de Gravedad Específica (promedios de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).	111
Figura N° 66. Gráfica de Gravedad Específica (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).	113
Figura N°67. Gráfica de las muestra el colegio (S2) para obtener el coeficiente de succión capilar, coeficiente de la resistencia a la penetración del agua (m) y el coeficiente de porosidad efectiva.	115
Figura N°68. Gráfica de las muestras el colegio (S1,S2,S3) para obtener el coeficiente de succión capilar.	117
Figura N°69. Coeficiente de absorción capilar (K).	118
Figura N°71. Succión capilar (S).	119
Figura N°72. Difractograma banco de materiales pétreos Cerritos.	130
Figura N°73. Difractograma banco de materiales pétreos Huiramba.	131
Figura N°74. Difractograma banco de materiales pétreos Joyitas.	132
Figura N°75. Difractograma banco de materiales pétreos Comanja.	133
Figura N°76. Difractograma banco de materiales pétreos Cuenembo.	134
Figura N°77. Difractograma banco de materiales pétreos El Tigre.	135
Figura N°78. Difractograma banco de materiales pétreos Maskutan.	136

Figura N°79. Difractograma banco de materiales pétreos El Melón.....	137
Figura N°80. Difractograma banco de materiales pétreos AGC.	138
Figura N°81. Difractograma banco de materiales pétreos El Colegio.	139
Figura N°82. Gráfica de resultados EDS.....	140
Figura N°83. Fotografías de las rocas de los diferentes bancos de materiales	140
Figura N° 84. Microfotografías con MEB a 25 aumentos donde se observa la morfología de las rocas coincidente con su comportamiento mecánico.	141
Figura N° 85. Microfotografías con MEB a 100 aumentos donde se observa la morfología de las rocas coincidente con su comportamiento mecánico.	141
Figura N° 86. Gráfica de resultados Fluorescencia de Rayos X.	142
Figura N° 87. Gráfica de resultados Análisis elemental en ppm (partes por millón).....	142
Figura N° 88. Gráfica de resultados Índice de Carga Puntual de 35 muestras irregulares por banco.....	144
Figura N° 89. Gráfica de resultados Índice de Carga Puntual de 12 muestras irregulares por banco.....	145
Figura N° 90. Gráfica de resultados % de durabilidad.	146
Figura N° 91. Gráfica de resultados de resistividad en corazones de roca.....	148
Figura N° 92. Gráfica de resultados de resistividad en cubos de roca.	149
Figura N° 93. Gráfica de resultados de resistividad en pilas de roca.	149
Figura N°94. Gráfica de resultados de velocidad de pulso en corazones de roca.	150
Figura N° 95. Gráfica de resultados de velocidad de pulso en cubos de roca.....	151
Figura N° 96. Gráfica de resultados de velocidad de pulso en pilas de roca.	151
Figura N°97. Gráfica de resultados de frecuencia longitudinal en corazones de roca.	152
Figura N° 98. Gráfica de resultados de frecuencia longitudinal en cubos de roca.....	153
Figura N° 99. Gráfica de resultados de frecuencia longitudinal en pilas de roca.	153
Figura N° 100. Gráfica de resultados de las propiedades físicas del promedio de 12 cubos de 5cm por banco.....	154
Figura N°101. Gráfica de resultados de las propiedades físicas del promedio de 12 fragmentos irregulares por banco.	155
Figura N° 102. Gráfica de resultados de las propiedades físicas del promedio de 35 fragmentos irregulares por banco.	155
Figura N° 103. Índice de carga puntual vs % de humedad de absorción de 35 fragmentos irregulares por banco.	155
Figura N°104 . Índice de carga puntual vs % de humedad de absorción 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.	156
Figura N°105. Índice de carga puntual vs densidad 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.	156
Figura N° 106. Índice de carga puntual vs % de humedad de absorción de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.	157
Figura N°107 . Índice de carga puntual vs resistividad de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.	157

Figura N° 108. Índice de carga puntual vs velocidad de pulso de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.	158
Figura N°109. Índice de carga puntual vs frecuencia longitudinal de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.	158
Figura N° 110. Índice de carga puntual vs % de humedad de absorción de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.	159
Figura N° 111. Índice de carga puntual vs densidad de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.	159
Figura N°112. Resistividad de corazones, cubos y pilas de roca.	160
Figura N° 113. Velocidad de pulso de corazones, cubos y pilas de roca.	160
Figura N° 114. Velocidad de pulso de corazones, cubos y pilas de roca.	161
Figura N° 115. % De humedad de absorción vs coeficiente de succión capilar.	161
Figura N° 116. Difractogramas de los diez bancos de materiales pétreos.	162

LISTA DE TABLAS

Tabla1. Composición promedio de las rocas corticales.	20
Tabla 2. Los elementos más abundantes	20
Tabla 3. Escala de dureza de Mohs	21
Tabla 3. Subdivisión simple de rocas ígneas, de acuerdo a su composición y origen.	34
Tabla 4. Volumen de material aproximado de cada uno de los bancos en estudio.	52
Tabla 4. Imágenes de en planta y en alzado de los diez bancos de materiales (Imágenes de Google earth)	54
Tabla 6.- tamaño de muestra.....	89
Tabla 7. Resultados % De Humedad Actual (promedio de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).....	102
Tabla 8. Resultados % De Humedad Actual (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).	103
Tabla 9. Resultados % De Humedad Actual (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).....	104
Tabla 10. Resultados % De Humedad de Absorción (promedio de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).....	105
Tabla 11. Resultados % De Humedad de Absorción (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).	105
Tabla 12. Resultados % De Humedad de Absorción (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).	106
Tabla 13. Resultados Densidad (g/cm^3) (promedio de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).	108
Tabla 14. Resultados de Densidad (g/cm^3) (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).	109
Tabla 15. Resultados de Densidad (g/cm^3) (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).....	110
Tabla 16. Resultados Gravedad Específica (promedio de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).....	111
Tabla 17. Resultados de Gravedad de Específica (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).	112
Tabla18. Resultados de Gravedad Específica (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).....	113
Tabla 19 . Cálculo de la pendiente de la región lineal para calcular el coeficiente de Absorción Capilar del banco El Colegio de la muestra S2.	114
Tabla 20. Resultados de Absorción Capilar.	116
Tabla 21. Promedio de tres cubos por banco.....	118
Tabla 22. Resultados EDS, FRx, DFX, del banco de materiales Cerritos (C).	120
Tabla 23. Resultados EDS, FRx, DFX, del banco de materiales Huiramba (H).....	121
Tabla 24. Resultados de EDS, FRx, DFX, del banco de materiales Joyitas (J).	122

Tabla 25. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales Comanja (CO).	123
Tabla 26. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales Cuenembo (U).....	124
Tabla 27. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales El Tigre (T).	125
Tabla 28. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales Maskutan (K).	126
Tabla 29. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales El Melón (M).	127
Tabla 30. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales AGC (G).....	128
Tabla 31. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales El Colegio (S).	129
Tabla 32. Promedio de Índice de Carga Puntual de 35 muestras irregulares por banco. ...	143
Tabla 33. Promedio de Índice de Carga Puntual de 12 muestras irregulares por banco. ...	143
Tabla 34. Resultados de durabilidad al desmoronamiento de rocas de los bancos de materiales pétreos.	146
Tabla 35. Resultados de Intemperismo Acelerado después de cinco ciclos realizados a las rocas de los bancos de materiales pétreos.	147
Tabla 36. Resultados resistividad eléctrica realizada a los diferentes especímenes de roca en forma de núcleos, cubos de roca y pilas de tres cubos unidos con mortero.	148
Tabla 37. Resultados velocidad de pulso realizada a los diferentes especímenes de roca en forma de núcleos, cubos de roca y pilas de tres cubos unidos con mortero.	150
Tabla 38. Resultados frecuencia longitudinal realizada a los diferentes especímenes de roca en forma de núcleos, cubos de roca y pilas de tres cubos unidos con mortero.	152

1.- OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterización físico-mecánica en pétreos naturales de la región Morelia Michoacán México, posible uso como material de construcción.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Catalogar las muestras.
- 2.- Caracterización físico-mecánica.
- 3.- Clasificar los diferentes bancos
- 4.- Determinar propiedades índice.
- 5.- Determinar propiedades mecánicas.

2.- INTRODUCCIÓN

El hombre a lo largo del tiempo ha trabajado con las rocas, en un principio tuvo la necesidad de tallarlas para obtener instrumentos que les permitieran cazar animales para su alimentación, viviendo incluso en cavernas formadas por roca.

Siempre se ha utilizado la roca en las construcciones civiles las cuales constan de superestructura y subestructura, ésta última transmite las cargas de la estructura al basamento, también se le conoce como cimiento a la subestructura; para proyectar y construir la parte de la superestructura, es necesario conocer las propiedades de los materiales que serán empleados ya que el basamento está directamente relacionado con la roca y el suelo, así que tal conocimiento es crucial para cualquier construcción.

La caracterización de los bancos de materiales de la región Morelia permite conocer sus características mecánicas, como lo es su resistencia, su absorción entre otras pruebas que permiten hacer algunas correlaciones y poder inferir algunos resultados, así como poder hacer un mapa con la ubicación de los bancos característicos de la zona y proponer el uso que se le puede dar al material de cada banco con el fin de tener un estudio más completo de los bancos de materiales más representativos.

Existen pruebas destructivas y no destructivas, en este caso se utilizaran las dos pruebas ejemplo de la primera es la prueba Point Load y de la segunda la prueba de velocidad de pulso, Frecuencia de Resonancia, Resistividad Eléctrica, ambas pruebas nos permiten conocer la resistencia de la roca.

3.- GENERALIDADES

3.1.- Clasificación de las rocas

"Las rocas son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes, que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica" [González, 2002].

El vocablo «roca», tal como se emplea en la geología ingenieril, designa una masa de material natural, de semidura a dura, compuesto de uno o varios minerales. Las rocas se constituyeron y se siguen constituyendo de varias maneras: por enfriamiento de magma, es decir, del fluido caliente (roca fundida) que procede de profundidades considerables bajo la superficie de la tierra; por precipitación de materia inorgánica contenida en las aguas; por deposición de conchas de diversos organismos; por condensación de un gas que contenga partículas minerales; por desintegración de otras rocas y consiguiente recombinación de los minerales resultantes, que constituyen nuevos tipos de roca; y por acción de intenso calor o presión, actuando por separado sobre tipos de rocas preexistentes.

Roca, en geología y geomorfología, cualquier agregado mineral formado de modo natural.

El término se aplica a agregados de distintos tamaños, desde la roca sólida del manto terrestre hasta la arena y la arcilla o barro. Las rocas se clasifican según sus orígenes en rocas sedimentarias, rocas metamórficas y rocas ígneas [Encarta, 2009].

Los geólogos han clasificado las rocas terrestres, de acuerdo con sus orígenes, en tres grupos principales: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Mediante previo estudio petrográfico, todas las rocas pueden clasificarse correctamente en sus grupos respectivos. Sin embargo esta información no nos suministra ninguna idea, o muy escasa, acerca de las propiedades ingenieriles de una roca determinada. El término granito, por ejemplo, sugiere al ingeniero la idea de un material duro, de confianza como basamento; y sin embargo, se sabe que las aptitudes del granito, como roca soporte, son extraordinariamente variables de un lugar a otro, y aún de afloramiento a afloramiento. Los agentes atmosféricos (meteorización) pueden transformar un granito hasta convertirlo en una masa muy poco coherente, ya que la meteorización selectiva puede atacar los cristales de sus constituyentes feldespáticos hasta convertirlos en arcilla, o bien el calor y la presión resultantes de las

fracturaciones, u otros trastornos geológicos de orden mayor, pueden aplastar los granos hasta resultar un material coherente, pero relativamente blando, y que sin embargo todavía se parece al granito original de procedencia. De modo que si cargamos el peso de una estructura o construcción sobre un granito que haya experimentado tal transformación, puede aquélla experimentar un considerable grado de asiento. En otras palabras, aunque las fuerzas antes mencionadas alteran, a veces completamente, las propiedades ingenieriles de una roca, el producto de la alteración puede denominarse aún con el nombre geológico que la roca original. Los ingenieros necesitan una clasificación de las rocas basadas en sus propiedades ingenieriles y tal clasificación no existe, o se encuentra un proceso de formación [Dimitri y William, 1961].

3.2.- El ciclo de las rocas

"Una roca es un agregado de minerales, que son sólidos, con propiedades físicas y químicas definidas. Los minerales se componen de elementos como el Oxígeno, el Silicio y el Aluminio, estos elementos están formados por átomos, que son las partículas más pequeñas de materia que retienen aún las características de un elemento. Se han identificado y descrito más de 3500 minerales pero sólo una docena de ellos constituye la mayoría de las rocas de la corteza" [Reed y James, 1999].

El ciclo de las rocas es una forma de ver las relaciones entre los procesos internos y externos de la tierra. Relaciona los tres grupos de rocas, uno con otro, con procesos superficiales como el intemperismo, transporte y depositación; y con procesos internos como la generación de magma y el metamorfismo (ver figura N° 1). El movimiento de placas es el responsable de reciclar los materiales de la roca y, en consecuencia, de impulsar el ciclo de la misma [Reed y James, 1999].

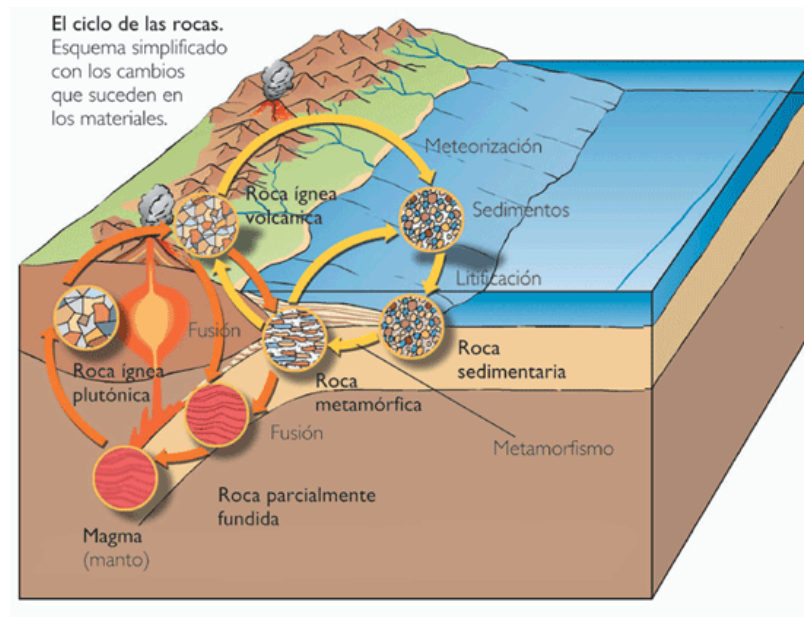


Figura N°1. El ciclo de las rocas.

(http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200704/17/tierrayuniverso/20070417klpcnatun_61.Ees.SCO.png).

3.3.- Minerales

Los minerales son los constituyentes de todas las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas y ocurren como cristales. Un mineral puede ser definido como una sustancia inorgánica natural que tiene una composición química en particular, o una variación en su composición, y una estructura atómica regular que guarda una íntima relación con su forma cristalina.

La composición promedio de las rocas corticales (ver tabla 1) ha sido calculada de muchos análisis químicos. Este último ítem incluye los óxidos de otros metales y también gases como el bióxido de carbono, bióxido de sulfuro, cloro, flúor y otros, además de trazas de elementos que ocurren en cantidades muy pequeñas [Blyth y Freitas, 1997].

Tabla1. Composición promedio de las rocas corticales.

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE
SiO ₂	59.26 %
AlO ₃	15.35%
Fe ₂ O ₃	3.14%
FeO	3.74%
MgO	3.46%
CaO	5.08%
Na ₂ O	3.81%
K ₂ O	3.12%
H ₂ O	1.26%
P ₂ O ₅	0.28%
TiO ₂	0.73%
El resto	0.77%
Total	100%

Tabla 2. Los elementos más abundantes

ELEMENTO	PORCENTAJE
Oxígeno	46.60%
Silicio	27.72%
Aluminio	8.13%
Hierro	5.00%
Calcio	3.63%
Sodio	2.83%
Potasio	2.59%
Magnesio	2.09%

3.3.1. Propiedades físicas de los minerales.

Las propiedades físicas de los minerales se determinan por su estructura interna y su composición química. Muchas propiedades físicas son notablemente constantes en una determinada especie mineral, pero algunas, en especial el color, pueden variar [Reed y James, 1999].

Color y lustre

Si bien el color de algunos minerales varía debido a mínimas cantidades de impurezas, pueden hacerse algunas generalizaciones. Los silicatos ferromagnesianos son característicamente negros, cafés o verdes oscuros, aunque el olivino es verde olivo.

Los silicatos no ferromagnesianos, por otra parte, pueden variar considerablemente en color, pero rara vez son oscuros. Los minerales que tienen la apariencia de metales son de color bastante firme [Reed y James, 1999].

Clivaje y fractura

El clivaje es una cualidad de los cristales minerales individuales. No todos los minerales tienen la posibilidad de corte, pero las que las poseen tienden a romperse o hendirse a lo largo de uno o más planos lisos de debilidad determinados por la fuerza de los enlaces del cristal del mineral.

A diferencia del corte o clivaje, la fractura es la rotura del mineral a lo largo de superficies irregulares, lo que indica ausencia de planos de debilidad. Cualquier mineral puede fracturarse si se le aplica fuerza suficiente, pero las superficies de fracturas no serán lisas, suelen ser desiguales o concoidales (como conchas: curvas y lisas) [Reed y James, 1999].

Dureza

La dureza es la resistencia de un mineral a la abrasión. El geólogo austriaco Friedrich Mohs ideó una escala de dureza relativa para 10 minerales (ver tabla 3). Asignó arbitrariamente un valor de dureza de 10 al diamante, el mineral más duro que se conoce, así como valores menores a los otros minerales [Reed y James, 1999].

Tabla 3. Escala de dureza de Mohs

DUREZA	MINERAL	DUREZA DE ALGUNOS OBJETOS COMUNES
10	Diamante	
9	Corindón	
8	Topacio	
7	Cuarzo	
		lima de acero 6.5
6	Ortoclasa	
		(cristal 5.5 - 6)
5	Apatita	
4	Fluorita	
3	Calcita	
		Moneda pequeña de cobre (3)
		uña (2.5)
2	Yeso	
1	Talco	

Peso específico

El peso específico de un mineral es la razón de su peso al peso de un volumen igual de agua. Un mineral con peso específico de 3.0 es tres veces tan pesado como el agua. Como todas las razones el peso específico se mide no se expresa en unidades como gramos por centímetro cúbico es un número sin dimensión.

3.3.2.- Minerales formadores de roca.

Es conveniente distinguir entre los minerales que son constituyentes esenciales en los cuales ocurren, y cuya presencia está implicada para dar nombre a la misma y otros que son accesorios. Los últimos, comúnmente se encuentran en pequeñas cantidades pero su presencia y ausencia no influye en el nombre de la roca. Los secundarios son aquellos que resultan de la descomposición de los primeros minerales comúnmente estimulada por la acción del agua en alguna forma, con la adición o sustracción de otro material, y con la formación de subproductos del mineral [Blyth y Freitas, 1997].

Silicatos

Grupo del olivino

Olivino

El olivino común tiene la composición $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$, en el cual Fe^{2+} reemplaza parte del Mg^{2+} .

Cristales: Ortorrombico; verde olivo pálido o amarillo; lustre vítreo, fractura conchoide.

$$D=6 \frac{1}{2}$$

$$G=3.2 \text{ a } 3.6.$$

El olivino ocurre principalmente en rocas básicas y ultrabásicas. Puesto que cristalizan a alta temperatura, más de 1000 °C, es uno de los primeros minerales en formarse de muchos magmas básicos. (Magma es el material rocoso fundido, del cual se han solidificado las rocas ígneas). Es común la alteración a serpentina verde [Blyth y Freitas, 1997].

En sección delgada: Cristales porfiríticos (los cuales son grandes comparados con el tamaño de grano de la matriz en la cual se encuentran; generalmente los cristales están

bien formados) que comúnmente muestran secciones de 6 u 8 lados, el contorno generalmente algo redondeado. El crucero rara vez visto; grietas irregulares comunes [Blyth y Freitas, 1997].

Color: Ninguno cuando está fresco, la alteración a serpentina verdosa es muy característica. Este mineral se desarrolla comúnmente a lo largo de grietas y alrededor de los márgenes de los cristales de olivino. Algunos olivinos han sido convertidos completamente a serpentina, o las reliquias del olivino pueden ser conservadas como áreas incoloras aisladas en la serpentina. La magnetita (Fe_3O_4) puede formarse durante la alteración del hierro en el olivino original y aparece como pequeñas manchas negras en la serpentina.

I.R. medio: 1.66 a 1.6g dando un contorno conspicuo.

Birref: Fuerte (máx. :0.04), dando coloraciones de polarización brillantes.

Extinción: Recta, paralela a los contornos del cristal y trazas de crucero [Blyth y Freitas, 1997].

Grupo de la piroxena

Los minerales de este grupo pertenecen a dos sistemas de cristalización.

1. Ortorrómico, como la enstatita y la hiperstena.

2. Monoclínico, como la augita y la diopsida.

Poseen dos buenas direcciones de crucero paralelas a las caras del prisma de los cristales (crucero prismático); el ángulo de intersección de los cruceros es de casi 90° .

Forman cristales de 8 lados y como son silicatos de Fe y Mg su color es oscuro (excepto la diopsida, CaMg) [Blyth y Freitas, 1997].

.

Piroxenas ortorrómicas

Enstatita, MgSiO_3 . Hiperstena ($\text{MgFe})\text{SiO}_3$. Los nombres "enstatita" e "hiperstena" tienen raíces griegas que se refieren a los cambios de color al pleocroísmo: enstantes, débil; stena, fuerte.

Cristales: Generalmente castaño oscuro o verde (hiperstena casi negra), de 8 lados y prismática. Además de los cruceros prismáticos mencionadas hay partiduras muy pobres paralelas a los pinacoides frontal y lateral; lustre vítreo a metálico. $D=5$ a 6 . $G=3.2$ (enstatita), aumentando con el contenido de hierro a 3.5 (hiperstena).

Los minerales ocurren también en algunas rocas básicas, tales como la norita (q.v.= quodvide), como granos lustrosos negros entrelazados, con los otros minerales constituyentes; también en algunas andesitas, generalmente como cristales porfiríticos negros y pequeños; y en ciertas rocas ultrabásicas [Blyth y Freitas, 1997].

Piroxenas monoclinicas

Augita $(\text{CaMgFeAl})_2(\text{SiAl})_2\text{O}_6$

Un silicato aluminoso cuya fórmula puede ser escrita como se indica al principio del párrafo en conformidad con el patrón Si_2O_6 de la estructura de la cadena atómica. Las proporciones relativas de los iones metálicos (Ca, Mg, Fe, Al) son variables dentro de ciertos límites, dando una variedad de composición y variedades diferentes del mineral. Algo del Al^{3+} es sustituido por Si^{4+} .

Cristales: Prismáticos y por lo general de 8 lados, terminados en dos caras piramidales en cada extremo; color castaño a negro, lustre vítreo a resinoso. Cristales gemelos muestra un ángulo reentrante. $D = 5$

a 6. $G = 3.3$ a 3.5 . Pueden observarse los dos cruceros verticales en las caras extremas de cristales adecuados [Blyth y Freitas, 1997].

.

La augita ocurre principalmente en rocas ultrabásicas, como el gabro, donde aparece como áreas oscuras entremezcladas con el feldespato más pálido. En las rocas básicas de grano fino no se distingue en los especímenes de mano, a menos que sea porfirítica. La augita también es un constituyente de algunas andesitas Dioritas y ocasionalmente del granito.

En sección delgada cristales idiomórficos (bien formados) que muestran secciones transversales de 8 lados característicos, limitados por caras del prisma y del pinacoide, con dos cruceros prismáticos principales que se intersectan casi a 90° . Las secciones longitudinales muestran solamente una dirección de crucero.

Color: Castaño pálido a incoloro.

Pleocroísmo generalmente ausente o débil.

I.R. medio: Alrededor de 1.70, dando fuerte relieve en el bálsamo.

Birref: En la hiperstena, débil (0.106) dando los colores de polarización gris, blanco o amarillo. En la augita fuerte (0.025) dando azules brillantes, rojo y castaños.

Extinción: En la hiperstena, paralela al crucero en sección larga. En la augita, oblicua al crucero en sección larga [Blyth y Freitas, 1997].

Grupo de la anfíbola

Los minerales de este grupo son principalmente monoclinicos. Los cristales están alargados en la dirección c y generalmente están limitados por 6 caras verticales, de las cuales las caras del prisma se intersectan a ángulos de 124° . Este es también el ángulo entre las dos direcciones de crucero paralelo a los prismas [Blyth y Freitas, 1997].

Hornblenda. $(\text{CaMgFeNaAl})_3-(\text{AlSi})_4\text{O}_{11}(\text{OH})$ Silicato aluminoso cuyas proporciones relativas de los iones metálicos varían dentro de los límites mostrados, dando un rango de composición; el radical (OH) se encuentra en todas las anfíbolos. Al^{3+} es sustituido por Si^{4+} alrededor de un año en cuatro posiciones.

Cristales: Monoclinicos, castaño oscuro o negro grisáceo; generalmente de 6 lados, hábito más largo que el de la augita, con tres caras de domo en cada extremo). Lustre vítreo. D= 5 a 6. G=3 a 3.4.

La hornblenda común se encuentra en las dioritas y en algunas andesitas como el constituyente oscuro; en la andesita es porfirítica y puede reconocerse por su forma alargada, en donde la longitud del cristal comúnmente es varias veces su amplitud. También se encuentra en algunas sienitas y granodioritas y en las rocas metamórficas como en el esquisto de hornblenda.

En sección delgada: En secciones transversales de 6 lados limitadas por 4 caras de prismas y 2 caras de pinacoide, son muy características y muestra los cruceros prismáticos intersectándose a 124° . Las secciones longitudinales están alargadas y muestran una dirección de crucero paralela con la longitud.

Color: Verde a castaño, pleocroísmo fuerte en sombreados de verde, amarillo y castaño.

I.R. medio, varía de 1.63 a 1.72.

Birref: Fuerte (máx.= 0.024).

Extinción: Oblicua en muchas secciones longitudinales con ángulos hasta de 25° con el crucero; secciones paralelas al pinacoide frontal muestran extinción recta. Extinción simétrica en sección transversal. La gemelación es común.

La alteración es a clorita, comúnmente con la formación de subproductos.

La hornblenda se distingue de la augita por su color y su bajo ángulo máximo de extinción, y de la biotita la cual puede asemejarse en secciones que muestran un crucero, por el hecho de que la biotita siempre da extinción recta [Blyth y Freitas, 1997].

Asbestos

La forma fibrosa de la anfíbola, tremolita, en la cual crecen cristales muy largos y que son flexibles. En el comercio el término "asbestos" también incluye otros minerales fibrosos como la crisolita (serpentina fibrosa, q.v) y crocidolita (anfíbola de sodio). Estos minerales son útiles a causa de su resistencia al calor y a su naturaleza fibrosa, la cual los capacita por tener una trama que les da una textura a prueba del fuego, también son útiles al fabricar cordeles y guarniciones de frenos, al igual que tableros eléctricos de mando, embaldosados y fieltros [Blyth y Freitas, 1997].

Grupo de la mica

Las micas son un grupo de minerales monoclinicos cuya propiedad de separarse en hojuelas muy delgadas es característico y fácilmente reconocible. Esto se debe al perfecto crucero, al plano basal en los cristales de mica.

Los cuales a su vez resultan de la estructura atómica en capas de los minerales como se muestra en la Fig. 4-26. Es a lo largo de las capas de K^+ , donde el enlace es débil, que yace la dirección de crucero.

Las micas que comúnmente ocurren como la muscovita (incolora o con ligero tinte) y la biotita (castaño oscuro a casi negro) se describe los cristales de mica son de 6 lados con simetría pseudohexagonal. Las hojuelas del crucero son flexibles, elásticas y transparentes. Una figura de percusión de 6 rayas se produce cuando una hojuela se golpea con un instrumento puntiagudo y una de las grietas formadas de esta manera es paralela al plano de simetría del mineral monoclinico [Blyth y Freitas, 1997].

Muscovita $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

El crucero y la forma como ya ha quedado establecido en líneas anteriores. De color blanco, a menos que las impurezas estén presentes para darle un tinte al mineral; lustre perloso. $D=2$ a 2.5 (fácilmente cortada con una navaja).

G = alrededor de 2.9 (variable).

La muscovita ocurre en los granitos y otras rocas ácidas como cristales plateados de los cuales pueden separarse fácilmente las hojuelas con un cortaplumas; también se encuentran en algunos gneises y esquistos de mica. Es un mineral muy estable y persiste como pequeñas hojuelas en las rocas sedimentarias tales como areniscas micáceas. A la muscovita secundaria suele dársele el nombre de sericita que puede originarse por la alteración de la ortoclasa. La mica comercial proviene de cristales grandes que se encuentran en las vetas magmatíticas.

En sección delgada: Las secciones verticales, es decir transversales al crucero comúnmente muestran lados paralelos y el crucero perfecto las secciones basales aparecen de 6 lados o láminas incoloras irregulares. Raramente se encuentran alteradas.

I.R. medio= 1.59 .

Birref= Fuerte (máxima: 0.04), dando rosados brillantes y verdes en secciones verticales.

Extinción: Recta, con referencia al crucero[Blyth y Freitas, 1997].

.

Biotita $\text{K}(\text{MgFe})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Los cristales son castaños a casi negros en espécimen de mano; las simples hojuelas son castaño pálidas y tienen un lustre perloso o submetálico. Forma y crucero como ya ha quedado establecido. $D=2.5$ a 3 . $G=2.8$ a 3.1 .

Esta mica ocurre en muchas rocas ígneas, como los granitos, sienitas, dioritas y en sus lavas y en diques como cristales lustrosos oscuros distinguiéndose la muscovita por su color. Es también constituyente de ciertos gneises y esquistos.

En sección delgada: Las secciones muestran el crucero que comúnmente tiene 2 lados paralelos y extremos rasgados. En algunas biotitas, pequeños cristales de zirconio encerrados en la mica han desarrollado esferas de alteración alrededor de sí mismos por la

radiactividad. En sección, estas esferas aparecen como pequeñas áreas oscuras o “halos” alrededor del zirconio y son pleocroicos.

Color: en las secciones transversales al crucero pueden observarse sombras de colores castaño y amarillo las cuales son fuertemente pleocroicas; el mineral es más oscuro (es decir, la absorción de la luz es un máximo) cuando el crucero es paralelo a la dirección de la vibración del polarizador. Las secciones basales tienen un tinte más profundo y solamente son débilmente pleocroicas.

I.R. medio= alrededor de 1.64.

Birref: Fuerte, alrededor de 0.05 (máx.). Las secciones basales son casi isotrópicas.

Extinción: Paralela al crucero.

La Alteración a clorita verde es común cuando el mineral pierde su fuerte birrefringencia y polariza en luces grises [Blyth y Freitas, 1997].

.

Grupo del feldespato

Los feldespatos forman un grupo grande de minerales monoclinicos y triclinicos y son los constituyentes más abundantes de las rocas ígneas. Los miembros principales de la familia del feldespato pueden clasificarse por la composición como en la ortoclasa, KAlSi_3O_8 ; albita, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, y la anortita, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Están representados en la figura N°2 en las esquinas de un triángulo [Blyth y Freitas, 1997].

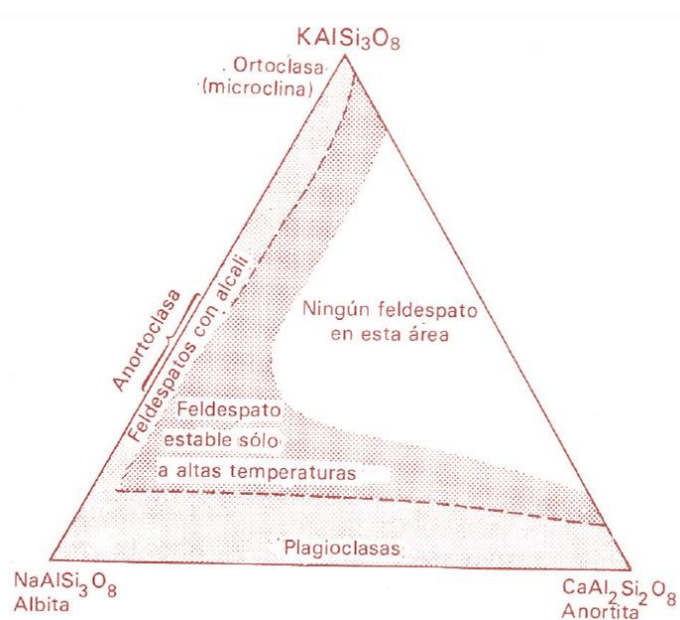


Figura N°2. Diagrama de la composición de los feldespatos. Para un feldespato representado por un punto dentro del triangulo, las proporciones de las tres cantidades, Ortoclase, Albite y Anortita son dadas por las longitudes de las perpendiculares desde el punto a cualquiera de los lados del triangulo. Cada esquina representa el 100% del componente que ahí se nombra. Con el incremento en el Ca la plagioclase gradúa de Albite (0-10% CaAl_2) a Oligoclase, Andesina, Labradorita, Bitownita y Anortita (90-100 % CaAl_2)

Ortoclase, KAlSi_3O_8 . Feldespato de potasio

Cristales: Monoclínicos; color blanco o rosado, lustre vítreo; limitado por caras del prisma, pinacoides basal y lateral y domos (ver figura N°3). Son frecuentes los gemelos simples: Gemelos Carlsbad en el pinacoide lateral. Gemelos Manebach sobre el plano basal y los gemelos Baveno sobre un plano diagonal (domo) paralelo al eje a.

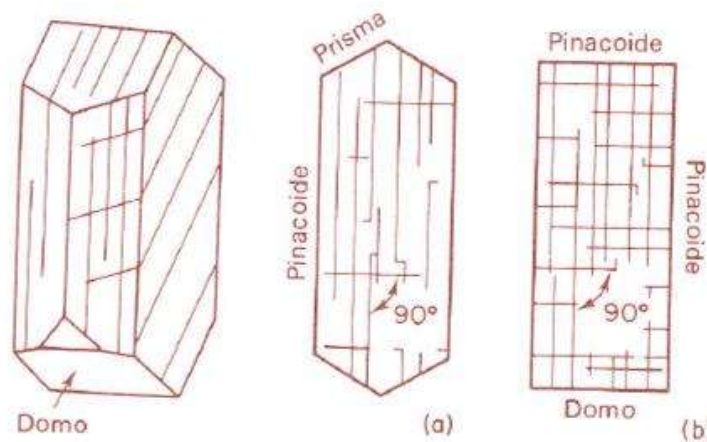


Figura N°3. Cristal de ortoclase (izquierda) mostrando el cruce; (a) sección vertical y (b) sección vertical mostrando el cruce y las caras principales del cristal.

Dos buenos cruces paralelos a los pinacoides, lateral y basal que se intersectan a 90°; el nombre del mineral se debe a esta propiedad (del griego orthos, recto o rectangular y klasis, ruptura). $D = 6$. $G = 2.56$, la variedad vítrea incolora, sanidina, es una forma de alta temperatura encontrada en lavas que han sufrido un enfriamiento rápido.

La ortoclase ocurre en granitos y sienitas como cristales blancos duros y con cruces que generalmente constituyen la mayor parte de la roca. En las rocas de los diques, relacionada con el granito y la sienita, la ortoclase puede ocurrir en cristales porfiríticos. También se encuentran en algunos gneises y areniscas feldespáticas.

En sección delgada: por lo general su forma, es rectangular si los cristales son idiomórficos,

irregulares si están entrelazados con otros minerales. No siempre se ve el crucero.

Color: ninguno cuando está fresco, pero muestra frecuentemente alteración a caolín cuando aparece el mineral es “noboso” y se ve blanco por la luz superficial (reflejada de la superficie de la lámina).

I.R medio =1.52.

Birref: Débil (máx.= 0.008), dando colores de regularización gris y blanco en secciones de espesor normal [Blyth y Freitas, 1997].

Extinción: Oblicua hasta los 21° en pinacoide lateral; en las secciones perpendiculares al pinacoide lateral muestra extinción recta. Simples gemelos comunes; se distinguen de la plagioclasa por la distancia de gemelación múltiple. La alteración a caolín es muy común; algunas veces se altera a un agregado de hojuelas de sericita muy pequeñas (secundaria en mica), revelado por sus brillantes colores de polarización [Blyth y Freitas, 1997].

Microclina, KAlSi_3O_8 . Triclinico; es la forma de baja temperatura del feldespato de potasio.

Color: blanco, rosado o verde.

I.R y Birref: similar a la de la Ortoclasa. Gemelación múltiple con dos series de láminas gemeladas suavemente ahusadas; en secciones delgadas esto se observa como un efecto de “prismado cruzado”, característica que distingue a la microclina de otros feldespatos [Blyth y Freitas, 1997].

Anortoclasa Triclínica. La belleza del feldespato con su peculiar brillo metálico gris ocurre en la urvikita (una sienita noruega, también se encuentran cristales en forma de romboedro en la rombo-porfirita del distrito de Oslo.

Schillere es el juego de colores que se ven por medio de la luz reflejada en algunos minerales en los cuales pequeñas inclusiones hojosas están ordenadas en planos paralelos; el efecto es producido por la interferencia de luz de estas inclusiones hojosas [Blyth y Freitas, 1997].

Plagioclasas

Los feldespatos de esta serie son formados de mezclas (soluciones sólidas) de albita, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ y anortita, CaAl_2O_8 en todas proporciones. La variación en la composición se

divide en 6 partes, cada una de las cuales tiene su nombre. Por ejemplo, una plagioclasa que contiene 40% de albita y 60% de anortita recibiría el nombre de labradorita ($Ab_{40}An_{60}$).

Cristales: Triclínico; blanco o incoloro (albita) a gris (anortita), limitado por prismas, pinacoides basal y lateral y domos (figura N°4), lustre vítreo. Los cruceros paralelos a los pinacoides basal y lateral los cuales se encuentran a ángulos de 86° (de aquí el nombre; griego plagios, oblicuo y klasis ruptura). Gemelos múltiples paralelos al pinacoide basal (la gemelación de albita, son característicos de las plagioclasas; las láminas gemeladas íntimamente espaciadas pueden verse a menudo con un lente como bandas en el crucero basal y otras superficies. Otra serie de gemelos se desarrollan algunas veces sobre planos paralelos al eje b, el cual forma un pequeño ángulo con el pinacoide basal (gemelación de la periclina). $D=6$ a $6\frac{1}{2}$, $G=2.60$ (albita), elevándose a 2.76 (anortita) [Blyth y Freitas, 1997].

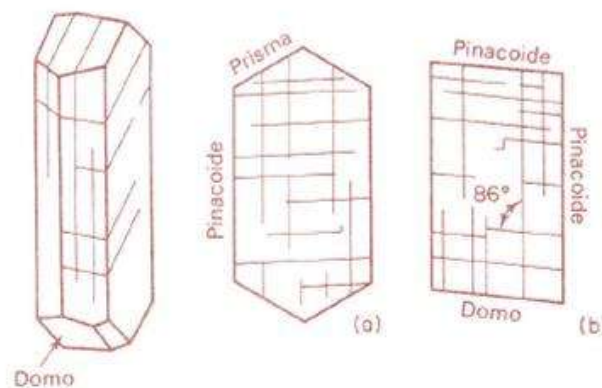


Figura N°4. Cristal de albita (plagioclasa): vista oblicua mostrando el crucero, (a) sección transversal (b) sección vertical, mostrando el crucero y las principales caras del cristal.

En sección delgada: Cristales idiomórficos (en lavas) que comúnmente muestran secciones rectangulares; "listones" laterales paralelos con su longitud varias veces más grande que su amplitud pueden verse donde los cristales aparecen en sección, son planos y delgados, paralelos al pinacoide lateral.

Por lo común no es visible el crucero. Los minerales normalmente son incoloros pero pueden ser nubosos con productos de alteración: estos son principalmente caolín rico en Na y en las variedades de la epidota rica en Ca.

La gemelación múltiple característica aparece como gris claro y oscuro como fajas paralelas entre los polaroides cruzados (ver figura N°5) y serie de lajas alternadas que se extinguen

oblicuamente en diferentes posiciones. Los valores promedio para las propiedades ópticas de las plagioclasas son $LR. = 1.55$, birrefringencia débil (0.009) la cual da colores de polarización gris y amarillo y extensión oblicua de secciones largas que varían desde aproximadamente 15° para la albita hasta 40° para la anortita [Blyth y Freitas, 1997].

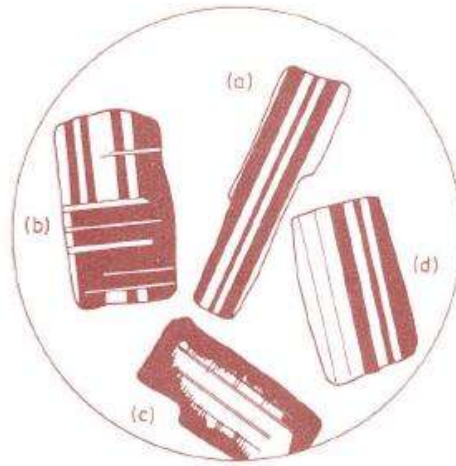


Figura N°5. Plagioclasa en sección delgada ($\times 2$)(polaroide superior dentro)

Formas de la sílice

La sílice se encuentra sin combinar con otros elementos en varias formas cristalinas de las cuales el cuarzo, uno de los minerales más comunes en la naturaleza, es de especial importancia. Cuando el contenido de cuarzo de una roca aumenta, también lo hace su resistencia y su abrasividad necesaria para la maquinaria realizada para perforar y excavar. Cuando se perfora una roca rica en cuarzo se forma un polvo fino que no hay que inhalar por el daño que hace a los tejidos pulmonares. Otras formas de sílice incluye la tridimita de alta temperatura; calcedonia, que es un agregado de fibras de cuarzo y las formas criptocristalinas, Variedad de calcedonia impura (Flint), ópalo y pedernal [Blyth y Freitas, 1997].

Cuarzo SiO_2

En la estructura del cuarzo, el tetraedro de silicio y oxígeno está construido un armazón tridimensional en la que cada oxígeno es compartido entre dos silicios. No hay sustitución de otros iones en las posiciones del silicio. Cristales: Trigonal con prismas de 6 lados y terminaciones romboédricas; en algunas ocasiones la caras desigualmente desarrollados; ocasionalmente están presentes otras caras que pertenecen a las formas trigonales. Lustre

vítreo, fractura concoide. Incoloro cuando esta puro (“cristal de roca”), pero pueden ocurrir muchas variedades coloreada, el color es debido a trazas de impurezas como en el cuarzo rosado (rosa), cuarzo ahumado (gris), cuarzo lechoso (blanco), amatista (violeta). El cuarzo a veces contiene pequeñas inclusiones de cavidades llenas con líquido; las cuales pueden estar arregladas en direcciones regulares en un cristal. No tiene crucero; gemelaciones raras; $D=7$, por lo que no puede ser rayado con una navaja. $G=2.66$ [Blyth y Freitas, 1997]. El cuarzo es un constituyente esencial de los granitos, y puede ser reconocida en la roca por su dureza, granos vítreos de forma irregular y sin crucero. Ocurre en cantidades más pequeñas en las granodioritas y la diorita con cuarzo, y está presente en cristales porfiríticos bien formados en diques y lavas ácidos. La veta de cuarzo es un agregado de cristales entrelazados de apariencia vítrea o lechosa llenando las fracturas de las rocas [Blyth y Freitas, 1997].

Calcedonia, SiO_2

Agregados radiales de fibras de cuarzo, sus extremos forman, por lo común, una superficie curvada; de color blanco o castaño y de apariencia cerosa en la masa. Principalmente se encuentran en lechos que se alinean con las vesículas de las rocas ígneas.

Calcedonia impura (Flint) Criptocristalino (formado de numerosos cristales pequeños que no es posible distinguir separadamente, excepto bajo un amplio aumento) sílice, posiblemente con una mezcla de ópalo que representa un gel desecado; ocurre en nódulos en la greda.

Color casi siempre negro en superficie fresca, fractura conchoide. Como los flints pueden dividirse, en el pasado fueron utilizados como revestimientos decorativos en los edificios.

Ópalo Sílice hidratada $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; amorfa. Colores blanco, gris o amarillo con apariencia perlada (opalescencia) y comúnmente exhiben reflexiones internas de varios colores. Fractura conchoide. $D =$ alrededor de 6. $G=2.2$. Ocurre llenando grietas y cavidades en las rocas ígneas. Cuando reemplaza el tejido leñoso conserva las texturas originales y es conocido como ópalo de madera. Los organismos microscópicos conocidos como diatomeas, los cuales viven en océanos y lagos, también están compuestos de sílice opalina. El ópalo es un constituyente indeseable en rocas utilizadas en los concretos, debido a la posibilidad de que ocurra una reacción entre ella y los álcalis en el cemento (q.v.) [Blyth y Freitas, 1997].

Minerales accesorios

Minerales que ocurren como pequeños cristales en cantidades limitadas se les conoce con el nombre de accesorios. Ocasionalmente pueden desarrollarse para formar cristales grandes y en ciertas circunstancias pueden estar concentrados como para formar un constituyente principal en la roca [Blyth y Freitas, 1997].

Minerales secundarios

Bajo este encabezado se describen los minerales clorita, serpentina, talco, caolín, epidota y zeolita los cuales resultan de la alteración de minerales preexistentes. Estos minerales tienen poca resistencia mecánica y pequeños ángulos de fricción. Su presencia en las fracturas puede reducir en grado sumo la resistencia de una masa de roca [Blyth y Freitas, 1997].

3.4.- Rocas ígneas

Formadas por la solidificación de materia fundida, las rocas ígneas incluyeron las primera corteza de la Tierra, esta ha sufrido grandes transformaciones desde entonces, pero todo el material se han derivado del material de las primeras rocas ígneas [Leet y Judson, 1993].

Tabla 3. Subdivisión simple de rocas ígneas, de acuerdo a su composición y origen.

ORIGEN	COMPOSICIÓN			
	Félsicas	Andesíticas	Máficas	Ultramáficas
Intrusivo	Granito	Diorita	Gabro	Peridotita
Extrusivo	Riolita	Andesita	Basalto	Komatita

El material rocoso fundido que es generado dentro o debajo de la corteza terrestre alcanza la superficie de vez en cuando y fluye de los orificios volcánicos como lava. Material similar puede ser inyectado en las rocas de la corteza dando lugar a una variedad de intrusiones ígneas, las cuales se enfrían lentamente y solidifican, muchas de las cuales fueron formadas durante pasadas épocas geológicas y ahora son expuestas en la superficie después de haber sido eliminada su cubierta rocosa debido a la denudación, las lavas y las intrusiones solidificadas constituyen las rocas ígneas. El material fundido del cual han solidificado las rocas ígneas se llama magma. Los magmas naturales son fundidos calientes, viscosos y silicosos, en los que los elementos principales presentes son el silicio y el oxígeno y los metales potasio, sodio, calcio, magnesio, aluminio, y hierro (citados en el

orden de su actividad química). Junto con estos constituyentes se encuentran pequeñas cantidades de otros elementos, además de gases como CO_2 , SO_2 y H_2O . De esta manera los magmas son cuerpos complejos y las rocas que se derivan de ellos tienen una gran variedad en su composición.

Un magma rápidamente enfriado solidifica como una roca de vidrio, es decir no contiene cristales; el que se enfría lentamente los minerales formadores de rocas cristalizan a partir de él [Blyth y Freitas, 1997].

El contenido de sílice (como SiO_2) en las rocas ígneas varía desde más de 80% hasta un 40%; por lo que resulta que en algunas rocas, como el granito el contenido de cuarzo resulte visible, en tanto que en otras como el gabro, no lo tienen. El SiO_2 es un óxido no metálico y es el componente básico de los silicatos. Estos se consideraban como "sales" de los ácidos silícicos y las rocas que contenían mucha sílice originalmente fueron llamadas ácidas y aquellas con menos sílice, y por tanto con más óxidos metálicos, fueron llamadas básicas. Los conceptos hace tiempo que han sido abandonados pero su nomenclatura continúa vigente a causa de que la distinción que ha creado todavía es útil. Los magmas básicos son menos viscosos que los ácidos". Las temperaturas que alcanzan en la corteza no son completamente conocidas, pero las mediciones hechas en los volcanes, cuando menos en sus cercanías, es de unos 1000 °C para las lavas básicas, cifra que puede ser considerablemente disminuida si están presentes los hiperfusibles. (Un hiperfusible disminuye el punto de fusión de las sustancias con las cuales está mezclados; por ejemplo, los gases en el magma actúan como hiperfusibles) [Blyth y Freitas, 1997].

3.4.1. Volcanes y rocas extrusivas.

Un volcán es esencialmente un conducto entre la superficie de la Tierra y un cuerpo de magma situado dentro de la corteza (ver figura N°6). Durante una erupción la lava es extraída por medio del conducto volcánico y los gases contenidos en ella son separados; pueden ser descargados con toda quietud si la lava es muy fluida y el contenido de gas pequeño, pero por lo común son descarga dos con violencia explosiva. En una erupción submarina la lava fluye sobre el piso marino; puede construirse una pila volcánica, la cual eventual mente puede elevarse arriba del nivel del mar para formar una isla [Blyth y Freitas, 1997].



Figura N°6. Volcán Sarychev en las Islas Kuriles, Rusia
(<http://es.wikipedia.org/wiki/Volc%C3%A1n>)

Erupciones de fisuras.

Las lavas son emitidas en forma quieta de en la superficie de la corteza terrestre con pequeñas emisión de gas. Es básica y móvil con baja viscosidad y se extiende rápidamente sobre áreas muy grandes [Blyth y Freitas, 1997].

Erupciones centrales

Una erupción central constituye un volcán que tiene un cono con un cráter en su cima conectado con la “chimenea” volcánica a través de la cual expulsa lava, gases y fragmentos de lava de explosión (ceniza y rocas piroclásticas) [Blyth y Freitas, 1997].

Cuando ocurre la erupción los gases en expansión hacen explotar la lava en incontable número de pequeños fragmentos de polvo, ceniza o pumicita, las cuales finalmente caen alrededor del respiradero son arrojados a gran distancia por el viento. Fragmentos más grandes (lapilli) y todavía grandes grumos de magma (bombas) también pueden ser expulsados junto con fragmentos y bloques de roca separados por la fuerza de la erupción de los muros del conducto volcánico [Blyth y Freitas, 1997].

Tienen conos con laderas muy empinadas y erupción lavas muy espesas derivadas de magmas, ácidos cuyo gran contenido de gas da lugar a explosión es violentas que lo liberan repentinamente por lo que se describen como erupciones paroxismales. Los fragmentos de lava incandescentes se encuentran suspendidos en una nube de gas caliente que fluye

rápidamente hacia abajo como nubes ardientes (nueés ardentes) o como nubes fulgurantes [Blyth y Freitas, 1997].

Fases menguantes

En áreas de actividad volcánica menguante la emisión de vapor y gases calientes (HCL, CO₂, H₂O, HF) a alta temperatura se efectúa mediante las fumarolas (respiraderos de gas), lo cual puede continuar por un largo periodo [Blyth y Freitas, 1997].

Rocas piroclásticas

Los depósitos formados por la consolidación de fragmentos expulsados durante una erupción se llaman piroclásticos (literalmente “rotos por el fuego”). Las más grandes masas de lava expulsadas (Bombas) caen alrededor del conducto se quedan enbebidas por el polvo y ceniza; a este tipo de depósito se le llama aglomerado (o aglomerado volcánico). Las partículas más pequeñas de ceniza y polvo pueden ser arrastradas por el viento y esparcirse en el lecho en grandes áreas para endurecerse después en roca en cuyo caso recibe el nombre de toba [Blyth y Freitas, 1997].

Las tobas formadas sobre la tierra que provienen de una nube ardiente, típicamente tiene a sus componentes soldados por el calor implicado en su formación; estas tobas soldadas reciben el nombre de ígnimbritas (Latín ignis; nimbus, nube) [Blyth y Freitas, 1997].

Rocas intrusivas y formas de la roca

Un cuerpo de magma en la corteza de la tierra puede elevarse a niveles más altos y penetrar las rocas que se encuentran encima de ella sin alcanzar la superficie, por lo que, entonces se dice que se trata de una roca intrusiva. Durante el proceso de intrusión puede incorporar masa fragmentos de la roca encajonante con la cual está en contacto a este proceso se la llama asimilación por lo que la composición del magma es modificado. Algunos magmas pueden despedir fluidos calientes que penetran y cambian la roca en su inmediata vecindad. Una masa de magma grande, de muchos kilómetros cúbicos de volumen es una intrusión mayor, que se enfría lentamente a causa de su tamaño. Son capaces de formarse como tales grandes y las rocas así formadas son cristalinas de grano grueso. Cuando el magma se eleva

llena fracturas y otras aberturas en las rocas encajonantes se forman las intrusiones menores o rocas hipabisales, es decir, cuerpos ígneos pequeños entre los que se incluyen los diques; los cuales son masas semejantes a un muro, muy empinado vertical cuyos lados son aproximadamente paralelos y los mantos, que son hojas de roca cuya extensión es más o menos horizontal y yacen paralelos a la estratificación de las rocas sedimentarias entre las cuales se encuentran intrusionados. Las rocas del dique y el manto comúnmente tienen texturas de grano fino a medio. Las vetas son inyecciones más pequeñas de material ígneo y comúnmente son delgadas e irregulares que rellenan grietas que han sido abiertas en las rocas encajonantes que rodean la intrusión [Blyth y Freitas, 1997].

Masas de rocas ígneas

Cuando el magma pierde su movilidad dentro de la corteza y cesa su actividad, se solidifica “in situ”, formando masas de roca ígnea de diversas formas y tamaños. Tales formaciones se pueden ver hoy día en la superficie de los continentes cuyas rocas han sido desgastadas por la erosión en ciertas áreas [Leet y Judson, 1993].

La primera parte interna de un volcán expuesta por la erosión es el tapón que se forma cuando el magma se solidifica en el conducto. A continuación aparecerán los canales a través de los cuales el magma se movió hacia la superficie. Finalmente, en algunas regiones de actividad remota la corteza ha sido elevada y erosionada a tal grado que el enorme depósito que alguna vez aportó todo el magma se puede ver en la superficie como una masa sólida de roca [Leet y Judson, 1993].

A medida que el levantamiento y la erosión descubren la construcción interna de un volcán extinto, se pueden apreciar otras masas de roca ígnea. En estas masas quedan incluidas ramales solidificados del magma de receptáculo, introducidos en otras rocas de la corteza, sin que necesariamente tengan conexión con la erupción de un volcán [Leet y Judson, 1993].

Plutones

Todas las masas de roca ígnea que se formaron cuando el magma se solidificó dentro de la corteza terrestre se llaman plutones. Cuando las rocas tienen una disposición definitiva en capas, podemos referirnos al magma que lo invade diciendo que es concordante si sus

límites son paralelos a la estratificación, o discordante si atraviesa la estratificación. Los plutones se clasifican conforme a su tamaño, forma, y relaciones con las rocas que los circundan incluyendo mantos, diques, lacolitos y batolitos.

Plutones tubulares. Un plutón de poco espesor en relación con sus otras dimensiones se llama plutón tubular [Leet y Judson, 1993].

Mantos. El plutón tubular concordante se llama manto. Puede ser horizontal, inclinado o vertical, dependiendo esto de la posición de las rocas con las que está en concordancia.

Los mantos varían en tamaño desde láminas de 2 o 3 centímetros de espesor hasta masas tabulares de 100 o más metros de potencia. No hay que confundir al manto un derrame de lava ordinario, sepultado posteriormente por otras rocas. Puesto que el manto es una forma intrusiva esto es, que se ha introducido por fuerza en las rocas preexistentes- resulta siempre más joven que las rocas que lo rodean [Leet y Judson, 1993].

Diques. El plutón discordante se llama dique (ver figura N°7). Los diques se originan cuando el magma se abre camino a través de las rocas adyacentes. La anchura de los diques individuales varía de unos cuantos centímetros a muchos metros [Leet y Judson, 1993].

Plutones macizos. Cualquier plutón que no tenga forma tubular se clasifica como plutón macizo.

Lacolitos. Un plutón macizo concordante, formado cuando el magma empujó hacia arriba las rocas superyacentes creando una especie de domo, se llama lacolito (del griego lakkos, “cisterna” y lithos, “piedra”) (ver figura N°7). Si la relación de la extensión lateral al espesor del plutón es menor de 10, el plutón se clasifica arbitrariamente como lacolito; si esta relación es superior a 10, se clasifica como manto [Leet y Judson, 1993].

Batolitos. El plutón discordante, cuyo tamaño aumenta conforme se extiende hacia abajo y cuya base o fondo no se puede determinar, se llama batolito (el griego bathos, “profundo” y lithos, “piedra”). En este caso el término “grande” significa generalmente un afloramiento de más de 100 Km². El plutón que tiene una superficie de afloramiento menor, pero que muestra las otras características de un batolito, se llama tronco.

Los batolitos son, en realidad, los receptáculos de magma solidificado, que alguna vez, cuando estuvieron en estado de fusión, alimentaron a los volcanes activos (ver figura N°7). Hoy día estas grandes masas de roca ígnea sólida yacen expuestas a miles de metros sobre el nivel del mar, donde fueron elevadas por las fuerzas que operan en la corteza terrestre. Las capas de las rocas de varios kilómetros de altura que cubrían los batolitos cuando estos eran todavía depósitos de magma, han sido desgastadas por la erosión a través de millones de años [Leet y Judson, 1993].

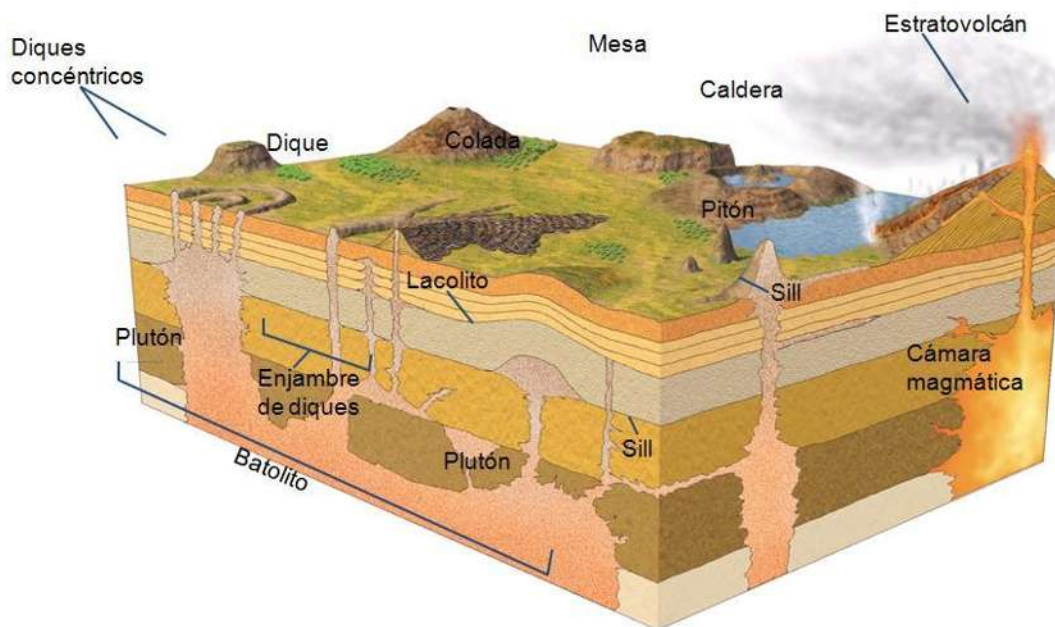


Figura N°7. Masas de rocas ígneas.
(<http://docentes.educacion.navarra.es/~metayosa/1bach/masas%20%C3%ADgneas.JPG>).

Textura y composición

Textura

La textura, o sea el tamaño relativo y arreglo de los minerales componentes de una roca ígnea está ampliamente relacionada con la forma en que ocurren las rocas. Las rocas plutónicas que se han enfriado lentamente bajo una cubierta, quizá de varios kilómetros de espesor, son cristalinas de grano grueso o faneríticas y sus cristales son grandes (2 a 5 mm o más) y fácilmente pueden diferenciarse a simple vista. Las rocas de grano medio a menudo tienen cristales entre 1 y 2 mm, y en rocas de grano fino los cristales son más pequeños que 1mm. Cuando la textura es tan fina que no puede distinguirse los cristales sin

la ayuda de un microscopio se llama afanítica o microcristalina. Para las rocas extremadamente finas su carácter cristalino solo es revelado por una lámina delgada observándola con polaroides cruzados lo cual hace posible que los colores de la birrefringencia de cada embrión de cristal sean expuestos utilizándose para este tipo de textura criptocristalina. Todas estas texturas son de grano uniforme o equigranular, es decir, que casi todos los cristales tienen el mismo tamaño; pero algunas rocas muestran la textura porfídica, en la cual ciertos cristales grandes están colocados en una base mas uniformemente fina (llamada pasta o mesostasis). Los cristales grandes se llaman porfiriticos o megacrístales [Blyth y Freitas, 1997].

Las rocas extrusivas (lavas) que se han enfriado rápidamente en la superficie terrestre son enteramente vítreas o vítreas (sin cristales), o parcialmente vítreas y parcialmente cristalinas [Blyth y Freitas, 1997].

Los gases en expansión en un magma durante su extrusión dan lugar a la formación de cavidades o vesículas; lo que origina una textura vesicular. Las vesículas posteriormente pueden ser llenadas con minerales secundarios por lo que entonces son llamadas amígdalas (nombre derivado de la “forma de almendra” con relleno interior secundario). La estructura fluidal en lavas consiste de un bandeamiento producido por el movimiento diferencial entre lechos del material viscoso a medida que fluye. Otro tipo de bandeamiento es por el ordenamiento de los cristales [Blyth y Freitas, 1997].

Composición

La composición mineral y el color de las rocas están relacionados con su composición química. Cuando el análisis químico de una roca ácida como el granito y una roca básica como el basalto, son comparados, pueden observarse marcadas diferencias, tales como la mayor proporción de sílice (SiO_2) y de álcalis (Na_2O , K_2O) en las rocas ácidas y un contenido más alto de cal, magnesio y óxidos de hierro en las básicas [Blyth y Freitas, 1997].

El contenido de álcalis más alto en el granito corresponde a una mayor de feldespato en la roca; inversamente, el basalto contiene más minerales oscuros a base de hierro, magnesio y calcio (minerales máficos abajo) [Blyth y Freitas, 1997].

Durante el enfriamiento de un magma sus diferentes minerales se unen para formar cristales silicatados como las piroxenas, las anfíbolas, y los feldespatos, y óxidos como la magnetita. En un magma básico los minerales como el olivino y la magnetita a menudo son los primeros en cristalizar consumiendo parte del sílice, magnesio y hierro; el restante magnesio y hierro junto con el CaO y Al_2O_3 es consumido posteriormente en augita (piroxena), hornblenda (anfíbola) y mica oscura [Blyth y Freitas, 1997].

Tales minerales, de acuerdo con su composición se llaman ferromagnesianos o máficos (palabra acuñada de ma, por el magnesio y fe, por el fierro). En contraste con estos minerales oscuros o relativamente pesados los álcalis y el calcio juntos Al_2O_3 y SiO_2 forman los minerales félsicos, los cuales incluyen a los feldespatos, feldespátoides y cuarzo. Gran parte del calcio en un magma básico continuaría formando una plagioclasa, y poco contribuiría a la formación de augita. En las rocas ácidas predominan los minerales félsicos y dan a la roca un color más pálido en contraste con el color más oscuro de las rocas básicas. Entre los tipos ácidos y básicos hay rocas de composición intermedia [Blyth y Freitas, 1997].

Clasificación

Las rocas más comunes están ordenadas en las tres columnas cuyos encabezados “Acido”, “intermedio” y “básico” contienen respectivamente a los grupos del granito, de la granodiorita y del gabro. Un tipo transicional, la granodiorita, entre el granito y la diorita, también está indicado. La variación de izquierda a derecha corresponde a una disminución en el contenido de sílice. En cada columna hay tres dimensiones, la más baja da el nombre del miembro plutónico de grano grueso, la división media corresponde a diques y mantos que son equivalentes del tipo plutónico o hipabisal, y la división superior corresponde a las rocas extrusivas o volcánicas (ver figura N°8). Los minerales principales que forman a las rocas plutónicas se muestra en el diagrama que está debajo de la figura. Las columnas, por tanto, dan un agrupamiento basado en la composición mineral (la cual también expresa la composición química) y las divisiones horizontales de la figura están basadas en la textura, la cual generalmente refleja el modo de yacimiento a la vez que esta gobierna la textura de la roca [Blyth y Freitas, 1997].

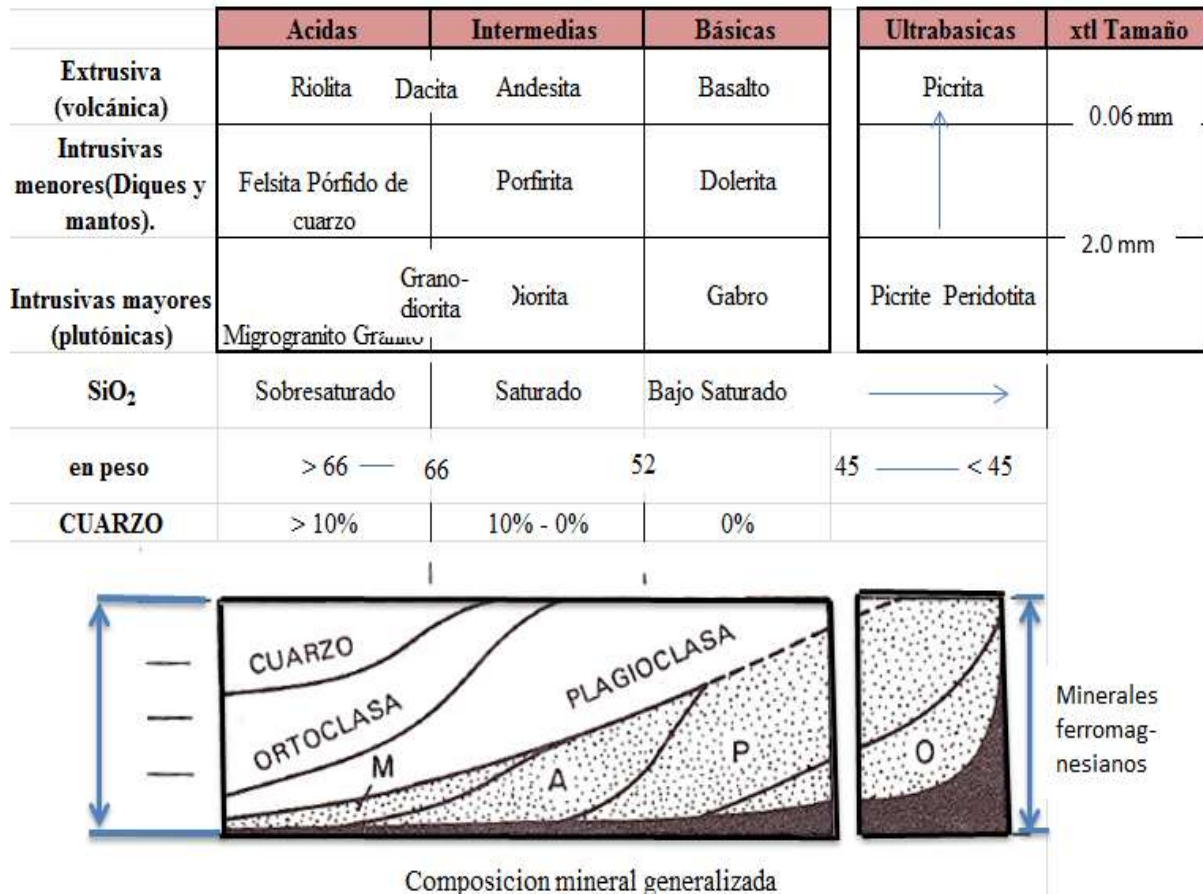


Figura N°8. Clasificación de las rocas ígneas (excluyendo las rocas alcalinas). Tamaño xtl = Tamaño uso de los cristales. M = mica, Anfíboles (Hornblenda), P = Piroxenas (Augita), O = olivino. Áreas negras minerales opacos.

4.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.-Geología regional

En el paisaje de la República Mexicana se conjugan sistemas montañosos, altiplanos, cuencas intermontanas y planicies costeras. Los climas variados, condicionados en parte por una topografía contrastante, han dado lugar al desarrollo de desiertos y semidesiertos, selvas tropicales, bosques montañosos, lagos en los altiplanos y lagunas a lo largo de los 10,000 km de litorales [Lugo-Hubp, 1990].

Las grandes formas del relieve mexicano son una expresión de estructuras geológicas jóvenes, con desarrollo especialmente durante el Neógeno- Cuaternario, muchas de ellas con actividad actual. Ejemplos son la península de Baja California, en proceso de

separación respecto al continente; el sistema Neovolcánico Transmexicano, con volcanes históricos y otros prehistóricos activos [Lugo-Hubp, 1990].

La comprensión del Relieve actual de la República Mexicana y los procesos que la modifican, se facilita a partir del conocimiento de la estructura tectónica regional y morfoclimática [Lugo-Hubp, 1990]. .

En lo que se refiere a la tectónica regional, México y América Central, en conjunto, ocupan una posición excepcional en el mundo por la complejidad y actividad de los procesos en el tiempo geológico moderno (Neógeno-Cuaternario) y por la dinámica actual [Lugo-Hubp, 1990].

Cuatro placas oceánicas tienen movimiento respecto al continente (placa de América del Norte): Pacífica, Rivera, de Cocos y del Caribe (ver figura N° 9). Resultado de esto es la formación de las fosas principales: Golfo de California, Trincheras Mesoamericana y trincheras Cayman o Bartlett [Lugo-Hubp, 1990].

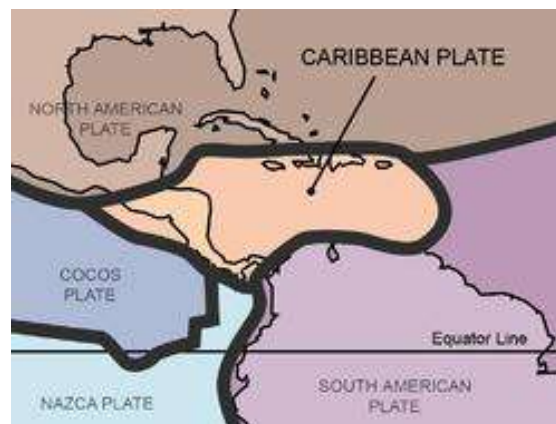


Figura N°9. Placa de Cocos y del Caribe.

(http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Placa_de_Cocos&oldid=56462134).

Sistema Neovolcánico Transmexicano

Esta gran estructura del relieve, conocida también como cinturón, faja, altiplanicie, meseta, eje, sistema, cordillera y sierra, presenta las siguientes características:

1.-Su origen. Entre las diversas teorías expuestas, la más aceptada actualmente es la de la subducción de la placa de Cocos bajo el continente, con diversos ángulos, lo que explicaría

la no coincidencia entre la orientación de la Trinchera Mesoamericana y el Sistema Neovolcánico [Lugo-Hubp, 1990].

2.- Su dinámica de desarrollo en el Cuaternario y en especial en el Pleistoceno tardío-Holoceno, época en que la actividad endógena se manifiesta en grandes superficies con predominio sobre los procesos exógenos niveladores. Asimismo, el volcanismo joven se presenta con mayor intensidad en zonas bien definidas del mismo [Lugo-Hubp, 1990].

3.- La diversidad de procesos exógenos antiguos y actuales. En toda la extensión de esta gran provincia existen lagos actuales y huellas (sedimentos) de antiguos; valles fluviales, glaciares y formas correspondientes del Pleistoceno tardío y Holoceno; y desarrollo de barrancos, prácticamente todos los tipos de procesos de laderas y procesos periglaciales. Todo está condicionado por la actividad volcánica joven [Lugo-Hubp, 1990].

El relieve del Sistema Neovolcánico Transversal consiste en una serie de planicies escalonadas que se extienden desde cerca de las costas de Colima y Nayarit hasta la región de los volcanes Pico de Orizaba y Cofre de Perote, en el estado de Veracruz [Lugo-Hubp, 1990].

Demat y colaboradores (1976) establecieron la siguiente subdivisión del sistema Neovolcánico: (1) Fosa de Chapala (Tepic-Chapala), (2) Fosa de Colima, (3) Zona de Michoacán, (4) Valles de Toluca, México y Puebla (cuencas es más apropiado); y (5) Sector Oriental. Esta es una clasificación conveniente, ya que se trata de regiones bien definidas, sobre todo por rasgos morfológicos [Lugo-Hubp, 1990].

En Michoacán, se presenta uno de los campos volcánicos activos del país, con una concentración alta de conos de trefa jóvenes, entre ellos el Jorullo y el Parícutin, nacidos en 1759 y 1934, respectivamente. El sistema Neovolcánico se estrecha hacia la ciudad de Morelia (Meridiano 101) por la penetración al norte de una estructura montañosa volcánica (del Oligoceno-Mioceno), asociada a un pliegue extenso conocido como anticlinal de Tzitzio. El relieve continua siendo una altiplanicie de aproximadamente 1,800-2,000 m.s.n.m., en partes ocupada por cuencas endorreicas con lagos como los de Pátzcuaro y Cuitzeo. El curso caprichoso del río principal que atraviesa la zona, el Lerma, se debe a la manifestación volcánica jóvenes, posiblemente de fines del Pleistoceno e incluso del

Holoceno. Al oriente de Morelia y en dirección a la población de Acambay, se extiende en forma más o menos continua depresiones de tipo graben, limitadas en uno o dos lados por crestas escarpadas. En esta región, se encuentra la zona de los Azufres, de interés por sus posibilidades geotérmica. Un pozo de 3,500 m de profundidad revelo una secuencia completa de rocas volcánicas en distintas capas, de tipo andesítico y basáltico [Venegas et al., 1985], lo que demuestra también una actividad volcánica simultánea con hundimiento [Lugo-Hubp, 1990]. .

Algunos estudios de interés relacionados con el relieve de esta región, son nombrados a continuación: Hasenaka y Carmichael (1985) realizaron un estudio minucioso del campo volcánico de Michoacán-Guanajuato, donde reconocieron 901 conos cineríticos, 43 domos, 22 maars, 13 volcanes escudo y 61 derrames de lava independientes; calcularon que 78 volcanes poseen una edad menor que los 40,000 años, Lugo-Hubp y colaboradores (1985) realizaron una cuantificación de volcanes cuaternarios, unos 3,000, entre Michoacán y Tlaxcala, obteniendo valores de densidad de hasta 12-19 volcanes en la zona Michoacán-Guanajuato [Lugo-Hubp, 1990].

4.2.-Descripción del área de estudio

Los bancos de materiales seleccionados para este estudio son los siguientes: banco Cerritos, banco Huiramba, banco Joyitas, banco Comanja, banco Cuenembo, banco el Tigre, banco Maskutan, banco el Melón, banco AGC o Mesón Nuevo y el Colegio. El muestreo se realizó directamente en los diferentes bancos de materiales por lo cual es una muestra representativa obtenida de cada uno.

Banco Cerritos: Banco productor de arena y grava volcánica, se localiza en las coordenadas 101° 21' 08.5" de longitud y 19° 40' 55.8" de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 2119m, en la carretera Morelia- Jiquilpan aproximadamente en el kilómetro 016+000, es propiedad ejidal. El acceso a este banco es sobre terracería y el banco se localiza a una distancia aproximada de 500 m de la carretera antes mencionada, el material volcánico es de color rojizo y color oscuro como se muestra en la figura N° 10.



Figura N°10. Banco de materiales Cerritos (Fuente M. A. Navarrete Seras)

Banco Huiramba:

Banco productor de arena y grava volcánica, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 26' 16.9''$ de longitud y $19^{\circ} 13' 09.4''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 2240m, en la Autopista Morelia- Lázaro Cárdenas aproximadamente en el kilómetro 032+200, tipo de propiedad ejidal, el acceso al banco de materiales es rápida aproximadamente en un tiempo de quince minutos, existiendo en 6 kilómetros carpeta asfáltica y señalamientos adecuados pero al subir al banco de material el camino es de terracería aproximadamente 1.5 kilómetros, el material volcánico es de color rojizo y color oscuro como se muestra en la figura N°11 .



Figura N°11. Banco de materiales Huiramba (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Banco Joyitas: Banco productor de arena y grava volcánica, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 23' 12.9''$ de longitud y $19^{\circ} 43' 27.1''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 2082m, en la carretera Morelia- Jiquilpan aproximadamente en el kilómetro 014+500, tipo de propiedad particular, el acceso al banco de materiales es rápida aproximadamente quince minutos, existiendo carpeta asfáltica y señalamientos adecuados el material es de color oscuro como se muestra en la figura N°12.



Figura N°12. Banco de materiales Joyitas (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Banco Comanja: Banco productor de arena y grava volcánica, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 41' 02.7''$ de longitud y $19^{\circ} 45' 01.5''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 2080m, en la carretera Morelia- Jiquilpan aproximadamente en el kilómetro 064+500, tipo de propiedad ejidal, el acceso se encuentra aproximadamente a 400 m de la desviación a Coeneo el material es de color oscuro (ver figura N°13)



Figura N°13. Banco de materiales Comanja (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Banco Cuenembo: Banco productor de arena y grava volcánica, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 29' 29.5''$ de longitud y $19^{\circ} 37' 55.4''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 2277m, en la carretera Morelia- Jiquilpan aproximadamente en el kilómetro 035+000, es propiedad particular, el acceso al banco de materiales es rápida aproximadamente en un tiempo de quince minutos, existiendo en 3 kilómetros carpeta asfáltica y señalamientos adecuados pero al subir al banco de material el camino es de terracería aproximadamente 1 kilómetro, el material volcánico es de color rojizo y color oscuro como se muestra en la figura N°14.



Figura N°14. Banco de materiales Cuenembo (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Banco el Tigre. Banco productor de arena y grava volcánica, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 28' 10.2''$ de longitud y $19^{\circ} 36' 55.7''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 2393m, en la carretera Morelia- Jiquilpan aproximadamente en el kilómetro 032+000, es propiedad particular, El acceso a este banco es sobre terracería se localiza a una distancia aproximada de 1.5 kilómetros de la carretera antes mencionada, el material volcánico es de color rojizo y color oscuro como se muestra en la figura N°15.



Figura N°15. Banco de materiales el Tigre (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Banco Maskutan. Banco productor de arena y grava volcánica, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 39' 43.0''$ de longitud y $19^{\circ} 45' 08.8''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 2120m, en la carretera Morelia- Jiquilpan aproximadamente en el kilómetro 062+000, tipo de propiedad particular. El acceso a este banco es sobre terracería se localiza a una distancia aproximada de 3 kilómetros de la carretera antes mencionada, el material volcánico es de color rojizo como se muestra en la figura N°16.



Figura N°16. Banco de materiales Maskutan (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Banco El Malón. Banco productor de arena y grava volcánica, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 10' 59.4''$ de longitud y $20^{\circ} 03' 26.3''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 2061m, en la carretera Morelia- Salamanca aproximadamente en el kilómetro 045+000, tipo de propiedad particular, el acceso al banco de materiales es rápida aproximadamente en un tiempo de quince minutos, existiendo en 5 kilómetros carpeta asfáltica y señalamientos adecuados pero al subir al banco de material el camino es de terracería aproximadamente 1 kilómetro, el material volcánico es de color rojizo y color oscuro como se muestra en la figura N°17.



Figura N°17. Banco de materiales El Melón (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Banco AGC o Mesón Nuevo. Banco productor de grava triturada, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 10' 02.5''$ de longitud y $19^{\circ} 49' 13.4''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 1944m, en la carretera Morelia-Salamanca aproximadamente en el kilómetro 014+250, tipo de propiedad particular, El acceso a este banco es a bordo de carretera por lo que no hay mayor desplazamiento para ingresar a las instalaciones del banco de materiales (ver figura N°18).



Figura N°18. Banco de materiales AGC (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Banco el Colegio. Banco productor de grava triturada, se localiza en las coordenadas $101^{\circ} 10' 02.8''$ de longitud y $19^{\circ} 46' 04.5''$ de latitud, una altura sobre el nivel del mar de 1943m, en la carretera Morelia-Salamanca aproximadamente en el kilómetro 008+000, tipo de propiedad particular, El acceso a este banco es sobre terracería se localiza a una distancia aproximada de 1.5 kilómetros de la carretera antes mencionada, el material se encuentra lajeado (ver figura N°19).



Figura N°19. Banco de materiales El Colegio (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Se realizó el cálculo aproximado del volumen de material de cada uno de los bancos de la siguiente manera:

- 1.- Se descargaron imágenes de Google earth de cada uno de los bancos de materiales, de las cuales se tomaron las coordenadas y se descargó el modelo vectorial de la página de INEGI.
- 2.- Mediante el programa ArcView Gis 3.2 se logró obtener las curvas de nivel digitales.

3. Se pasó esta información a AutoCad 2009 para poder manipular las curvas de nivel del terreno.

4.- Una vez que se tienen las curvas de nivel se verifica la elevación en msnm de la parte baja del banco y la elevación en msnm de la parte más alta del mismo, además de conocer sus respectivos diámetros y mediante la fórmula de un cono truncado se determina aproximadamente el volumen.

La fórmula para conocer el volumen de un cono truncado (kurt Gieck y Reiner Gieck, 2000) es la siguiente:

$$v = \frac{\pi}{12} h(D^2 + Dd + d^2) \quad (1)$$

Donde:

h = altura del cono truncado.

D= Diámetro de la parte inferior del cono.

d = diámetro de la parte superior del cono.

De lo anterior se desprenden los siguientes resultados:

Tabla 4. Volumen de material aproximado de cada uno de los bancos en estudio.

NOMBRE	C.I (m)	C.F. (m)	h (m)	D (m)	d (m)	V (m ³)	F.A.	V (m ³) con F. A	V (km ³)
CERRITOS	2170	2220	50	504.97	292.73	6394535.973	1.2	7673443.167	0.008
HUIRAMBA	2370	2470	100	571.89	139.2	11153776.94	1.2	13384532.33	0.013
JOYITAS	2260	2320	60	745.15	426.44	16569762.28	1.2	19883714.73	0.020
COMANJA	2120	2260	140	654.68	156.9	20376415.67	1.2	24451698.8	0.024
CUENEMBO	2280	2400	120	731	88.85	19075941.99	1.2	22891130.39	0.023
TIGRE	2390	2480	90	751.13	345.05	22205610.73	1.2	26646732.87	0.027
MASKUTAN	2120	2180	60	728.71	98.62	9622870.791	1.2	11547444.95	0.012
MELON	2060	2120	60	483.78	58.54	4175037.193	1.2	5010044.631	0.005
AGC	1940	2060	120	1322.4	1220.16	152402484.9	1.2	182882981.9	0.183
COLEGIO	1920	1940	20	994.31	839.39	13235779.76	1.2	15882935.72	0.016

En la tabla anterior se muestra la cota inicial (C.I), cota final (C.F), el volumen neto es afectado por un factor de abundamiento (F.A) de 1.2, obteniendo así un volumen en m³ y km³.

La siguiente imagen muestra la ubicación de cada uno de los bancos:

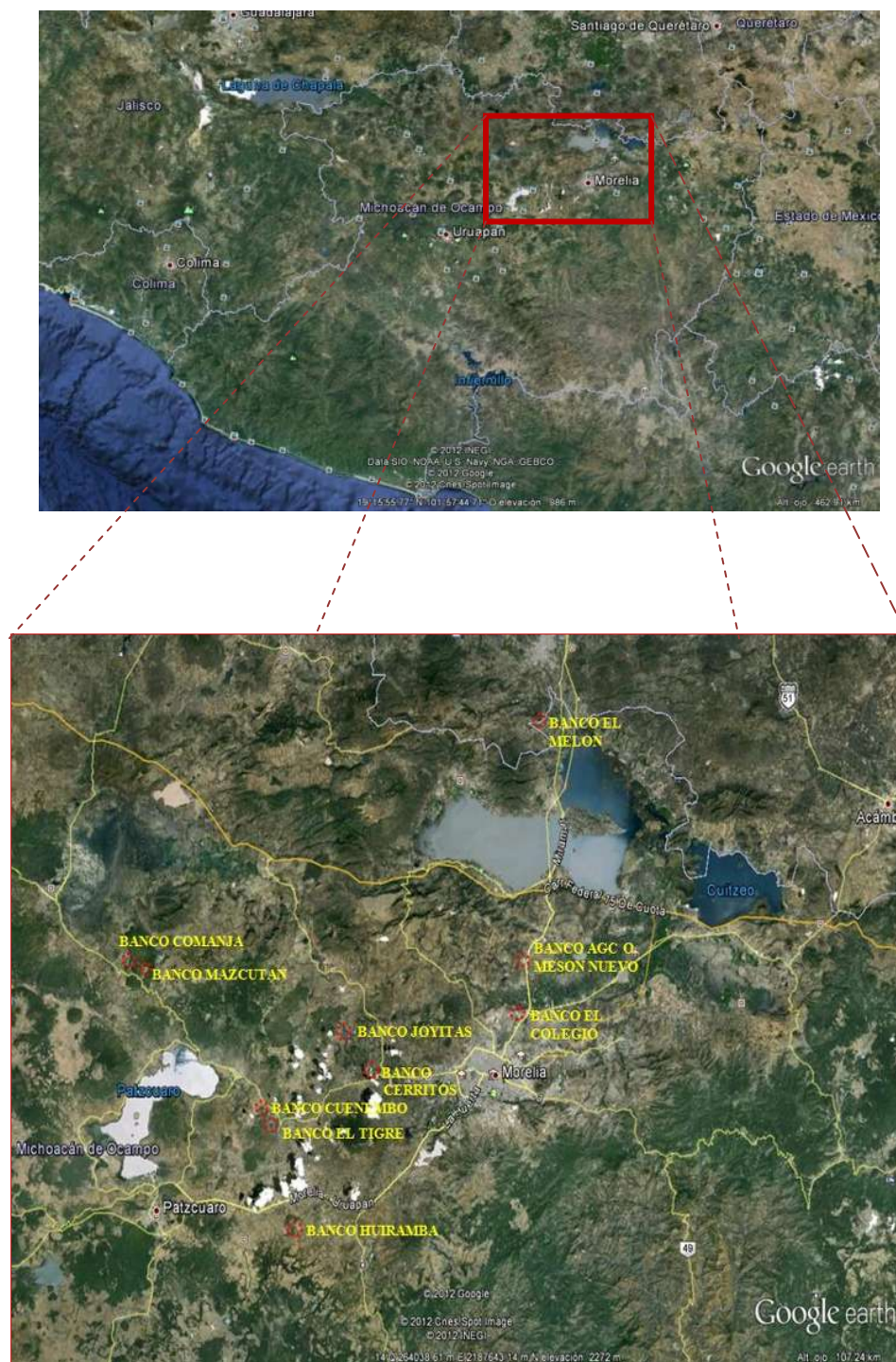


Figura N°20. Localización de los diez bancos de materiales (Imágenes de Google earth)

Tabla 4. Imágenes de en planta y en alzado de los diez bancos de materiales (Imágenes de Google earth)

CERRITOS	HUIRAMBA	JOYITAS	COMANJA	CUENEMBO
				
				
TIGRE	MASKUTAN	MELÓN	AGC	EL COLEGIO
				
				

5.- DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1.- Obtención de los agregados pétreos.

El objetivo de la investigación ha sido la obtención de resultados del comportamiento de los materiales explotables, como los son sus características físicas y mecánicas de cada uno de los bancos seleccionados.

Por todo lo anterior, se realizó un muestreo representativo de bancos de material, ubicados en los alrededores de Morelia para proceder a su estudio.

Se localizaron diez bancos de extracción representativos dentro del propio municipio como en el interior del estado y envecinales cercanos.

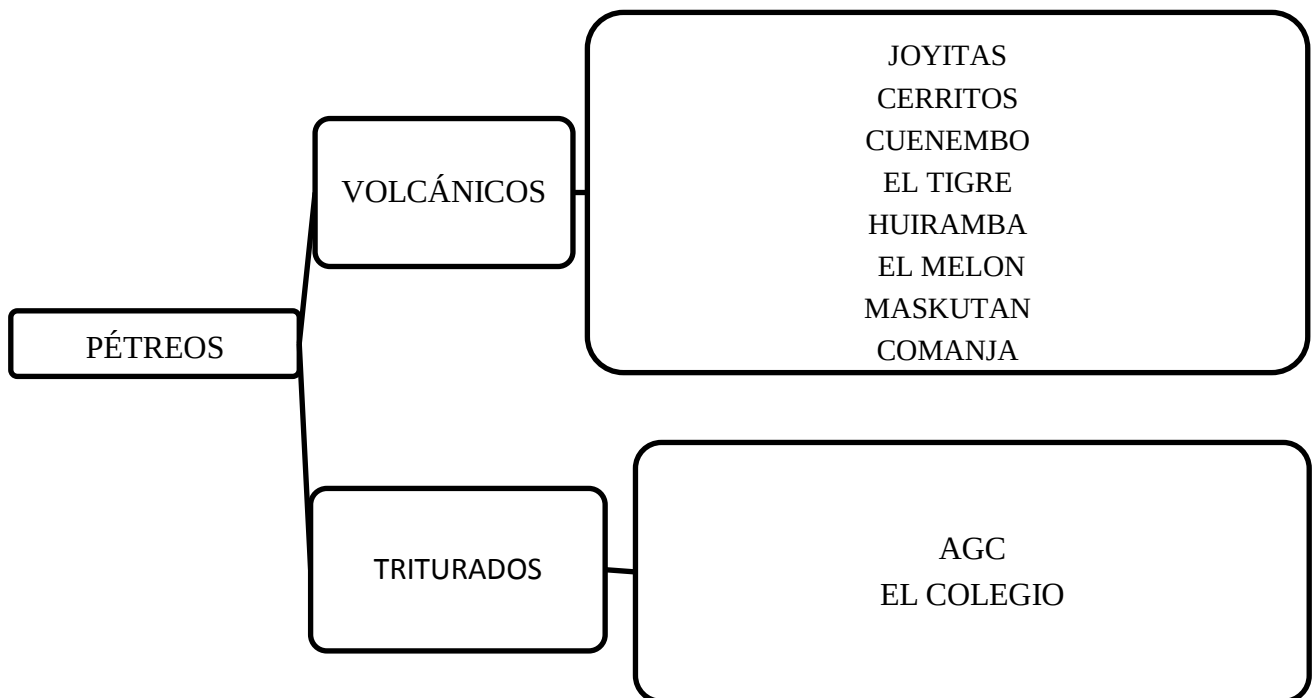


Figura N°21. Bancos de materiales pétreos.

5.2.- Caracterización de los materiales

Se obtuvieron 35 muestras irregulares por cada banco de materiales dando un total de 350 muestras. Se labraron 12 cubos de 5cm x 5cm y se obtuvieron 12 muestras irregulares esta cantidad por cada uno de los bancos (120 cubos y 120 muestras irregulares), cabe señalar que los cubos y las muestras irregulares antes mencionadas son de la misma roca de donde se obtuvieron los cubos.

Además se obtuvieron 3 corazones de roca por cada banco de materiales, pero del banco el Tigre y Maskutan fueron dos por banco, dando un total de 28 corazones de roca.

6.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

A continuación se describen brevemente las pruebas físicas realizadas a los agregados pétreos de cada uno de los bancos de materiales en estudio.

6.1.-% De humedad actual (ASTM C127-04).

De acuerdo con la norma ASTM C127-04 este método de prueba cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de conjunto por secar tanto humedad superficial como humedad en los poros del conjunto. Algún conjunto puede contener el agua que es por medios químicos combinado con los minerales en el conjunto. Tal agua no es evaporable y no es incluido en el porcentaje determinado por este método de prueba.

Partículas grandes de conjunto grueso, sobre todo aquellos más grande que 50 mm (2 in), requerirá el mayor tiempo para la humedad para viajar del interior de la partícula a la superficie.

Objetivo: Determinar el contenido de humedad que presenta una roca en estado natural.

Equipo:

- Tres muestras de roca, con humedad ambiente, en este caso fueron 35 muestras provenientes de los diferentes bancos.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo
- Un horno para el secado.

Procedimiento:

- 1.- Se enumeran las muestras y se pesan cada una de ellas.
- 2.- Se ponen a secar en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

3.- Se sacan las muestras dejándolas enfriar hasta la temperatura ambiente y se determina el peso seco (ver figura22).

Cálculo:

$$\% \text{ Humedad Actual} = \frac{P_i - P_f}{P_f} 100 \quad (2)$$

Donde:

P_i = Peso inicial de la muestra.

P_f = Peso final de la muestra.



Figura N°22. Determinación del peso seco de la muestra (Fuente M. A. Navarrete Seras).

La prueba se desarrollo de acuerdo a lo especificado en el Libro de Análisis de Materiales del laboratorio "Ing. Luis Silva Ruelas" ya que el procedimiento que se lleva acabo y el equipo requerido es el que especifica la norma ASTM.

6.2.-% De humedad de absorción (ASTM C127-04).

Para evaluar la humedad de absorción, la prueba se realizó partiendo según los estándares indicados en la norma ASTM C127-04 y el Libro de Análisis de Materiales del Laboratorio "Ing. Luis Silva Ruelas" ya que coinciden en objetivo y procedimiento.

Objetivo: Determinar el porciento de agua que puede absorber una muestra representativa de roca.

Equipo:

- Tres muestras representativas de roca, en este caso fueron 35 muestras de cada banco de materiales.
- Un recipiente con agua.
- Un lienzo o franela.
- Una balanza con aproximación al decimo de gramo.
- Un horno.

Procedimiento:

- 1.- Se secan las muestras en el horno a una temperatura a $110^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.
- 2.- Se dejan enfriar y se pesan (P_s = peso seco).
- 3.- Se meten a saturar a un recipiente con agua durante 24 horas como mínimo.
- 4.- Se sacan del agua y se secan superficialmente con un lienzo o franela y se pesan (P_h = peso húmedo).

Cálculo.

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

$$\% \text{ De humedad de absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_s} 100 \quad (3)$$

Donde:

P_h = peso húmedo de la muestra, en g.

P_s = peso seco de la muestra, en g.

Se calcula el promedio para aproximarse a la humedad real de la muestra.

6.3.- Densidad por medio del picnómetro (ASTM C127-04).

La prueba se desarrollo de acuerdo a lo especificado en el Libro de Análisis de Materiales del Laboratorio "Ing. Luis Silva Ruelas".

El objetivo es determinar la densidad de la roca, el procedimiento consiste en marcar la muestra o numerarla para identificarla, se dejan saturar en el agua durante un periodo de 24 horas, después se procede a secar superficialmente y registrar su peso húmedo (W en gramos), se procede a llenar con agua el picnómetro colocando dentro de

este la muestra de roca y el volumen de agua desalojado (V en cm^3) es medido con una probeta, los cálculos se realizan mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{W}{V} \quad (4)$$

Donde:

D = Densidad de la muestra, g/cm^3 .

W = Peso de la muestra, g.

V = Volumen de agua desalojado por la muestra de roca, cm^3 .

6.4.-Densidad Aparente o Gravedad Específica (ASTM C127-04)

Para evaluar la Densidad Aparente o Gravedad Específica, la prueba se realizó partiendo según los estándares indicados en la norma ASTM C127-04 y el manual de Prácticas del Laboratorio "Ing. Luis Silva Ruelas" ya que coinciden en objetivo y procedimiento. La única variante que se puede observar son las literales con las que se designan las variables según la ASTM.

Cálculos:

Densidad Relativa (Gravedad Específica):

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SH): Calcule la densidad relativa (gravedad específica) en la base de agregado secada al horno como sigue:

$$SH = \frac{A}{B - C} \quad (5)$$

Donde:

SH= Densidad relativa (gravedad específica).

A = Masa de la muestra secada en el horno, g.

B = Masa de la muestra superficialmente seca, g.

C = Masa aparente de la muestra saturada en agua, g.

Después de verificar la Norma ASTM la prueba se realizó de acuerdo al Manual de Prácticas:

Objetivo: Obtener la densidad de la muestra representativa de roca.

Equipo:

- Tres muestras representativas de roca, en este caso son más de tres muestras.
- Una balanza.
- Una canastilla metálica.
- Un recipiente con agua.
- Un horno.

Procedimiento:

- 1.- Se secan las muestras en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Se dejan enfriar y se pesan (P_s =peso seco).
- 2.- Se ponen a saturar en agua durante 24 horas y después se pesan, para obtener el peso superficial seco (P_{ss}).
- 3.- Se colocan en la canastilla adaptada en la báscula y se sumergen en agua, obteniéndose el peso sumergido o en el agua (P_a) (ver figura N° 23).

Cálculo:

Su densidad se obtiene haciendo un promedio de las muestras representativas.

La fórmula para determinar la gravedad específica de la roca es:

$$G.E = \frac{P_s}{P_{ss} - P_a} \quad (6)$$



Figura N° 23. Determinación de la gravedad específica (*Fuente M. A. Navarrete Seras*).

6.5.- Ensayo de Absorción Capilar

El movimiento vertical del agua a través de un material rocoso (ascensión capilar) se fundamenta en la presión de succión. Un material poroso, puesto en contacto con una película de agua, es capaz de succionar agua con una presión que es inversamente proporcional al tamaño de los capilares. La altura alcanzada será tanto mayor cuanto menor sea el diámetro de los conductos entre los poros y dependerá, en primera instancia y para una evaporación dada, del rango de distribución de tamaño de los poros. Así pues, las piedras con mayor proporción de microporos serán las que, en general exhibirán mayores alturas o coeficientes de penetración capilar [Esbert, et. al. 1997].

La propuesta de la metodología de ensayo se debe a Fagerlund y describe la cinética de la absorción capilar de morteros y concretos a través de tres coeficientes:

m.- Resistencia a la penetración del agua.

K.- Coeficiente de absorción capilar.

ϵ_e .- Porosidad efectiva.

Procedimiento.

El ensayo se realiza en especímenes de espesor $H \leq 50$ mm, luego de un pre-acondicionamiento de secado a 50°C por 48 horas hasta peso constante y posteriormente un enfriamiento.

Luego de registrar su peso inicial, W_o (ver figura N°24), la muestra es colocada sobre una esponja húmeda en el interior de una cubeta de fondo plano, con un tirante de agua sólo de 3 mm por encima de la parte inferior de la probeta de ensayo (ver figura N°25). Se recomienda previamente cubrir con resina o parafina las áreas laterales del espécimen (ver figura N°26), para evitar que la muestra absorba agua por los lados laterales del espécimen, y lo largo del ensayo mantener cubierto el recipiente para evitar evaporación. 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.

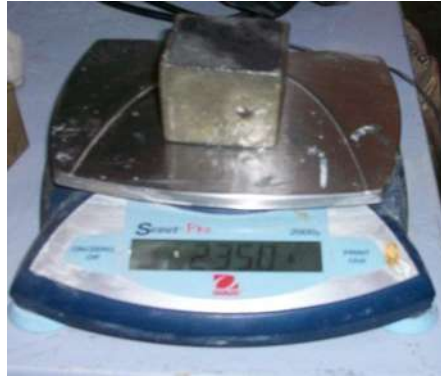


Figura N°24. Wo de la muestra con parafina (Fuente M. A. Navarrete Seras).

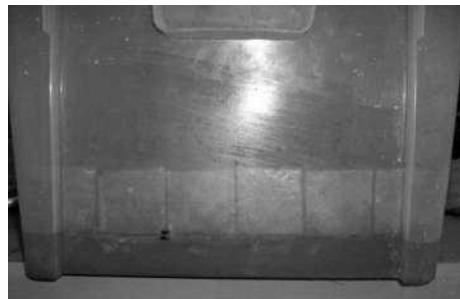


Figura N°25. Tirante de agua de 3mm por encima de la parte inferior de la probeta (Fuente M. A. Navarrete Seras)



Figura N°26. Muestra C3 cubierta con parafina (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Los coeficientes se calculan en base a las siguientes ecuaciones:

Donde: z representa la profundidad de penetración del agua al tiempo t .

$$m = \frac{t}{z^2} \quad \left(\frac{s}{m^2} \right) \quad (7)$$

$$k = \frac{(w_t - w_o) / A}{\sqrt{t}} \quad \left(\frac{kg}{m^2 s^{1/2}} \right) \quad (8)$$

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

El coeficiente k puede ser determinado calculando el tiempo requerido para que el agua ascienda a la cara superior de la probeta, es decir, cuando $z=H$ [Carpio, 1998].

El coeficiente de porosidad efectiva (ε_e) se obtiene de la expresión según Fagerlund:

$$\varepsilon_e = \frac{k\sqrt{m}}{1000} \quad (\%) \quad (9)$$

Con la anterior información la Succión Capilar, se calcula como:

$$S = \frac{1}{\sqrt{m}} \quad \left(\frac{mm}{h^{1/2}} \right) \text{ o } \left(\frac{kg}{m^2 s^{1/2}} \right) \quad (10)$$

7.- TÉCNICAS ANÁLITICAS APLICADAS A LOS AGREGADOS PÉTREOS.

7.1.-Microscopía Electrónica de Barrido

7.1.1.- Fundamentos del método

Técnica multielemental para el análisis de elementos químicos en el seno de un mineral visualizado mediante microscopía electrónica de barrido, permite analizar muestras muy pequeñas (micras), con un límite de detección de 10- 100 ppm. De gran interés en el análisis cuantitativo de elementos presentes en rocas y minerales, sobre todo para elementos mayores y menores. Permite realizar perfiles de variación de un elemento

químico o “cartografiar” su distribución cuantitativa en el seno de un mineral [Esbert, et. al. 1997].

En muchos campos de la química, de las ciencias de los materiales, de la geología y de la biología, es cada vez de más importancia el conocimiento detallado de la naturaleza física de la superficie de los sólidos. El método clásico para obtener la información fue la microscopia óptica que todavía es una técnica importante para caracterización de superficies. Sin embargo la resolución de la microscopia óptica está limitada por los efectos de difracción de la longitud de onda de orden similar al de la luz. Normalmente, la información se obtiene sobre las superficies con una resolución, considerablemente elevada, mediante tres técnicas, la microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopia de barrido de efecto túnel (STM), microscopia de fuerzas atómicas (AFM) [Skoog, et al, 2001].

En un microscopio electrónico de barrido se barre mediante un rastreo programado la superficie del sólido con un haz de electrones de energía elevada y como consecuencia de ello se produce en la superficie diversos tipos de señales [Skoog, et al, 2001].

Con un SEM el barrido se lleva a cabo mediante los dos pares de bobinas localizadas entre los lentes objetivo (ver figura N°27); uno de los dos pares desvía el haz en la dirección x a lo largo de la muestra y el otro lo desvía en la dirección y. El barrido se controla mediante aplicación de una señal eléctrica a uno de los pares de las bobinas de barrido, de manera que el haz de electrones alcanza la muestra a un lado del eje central del sistema de lentes. Variando en función del tiempo la señal eléctrica de este par de bobinas (esto es, las bobinas x), el haz de electrones se mueve describiendo una línea recta a lo largo de la muestra y entonces vuelve a su posición inicial. Después de realizar este barrido lineal, se utiliza el otro par de bobinas (bobinas y en este caso) para desviar el haz ligeramente y de nuevo se repite el movimiento del haz utilizando las bobinas x. Así, mediante movimientos rápidos del haz, la superficie de la muestra puede ser irradiada completamente con el haz de electrones. Las señales que llegan a las bobinas de barrido pueden ser analógicas o digitales. Los barridos digitales tienen la ventaja de que ofrecen un movimiento y una localización muy reproducible del haz de electrones. La señal de la muestra puede ser codificada y almacenada en forma digital junto con las representaciones digitales de las posiciones x e y del haz [Skoog, et al, 2001].

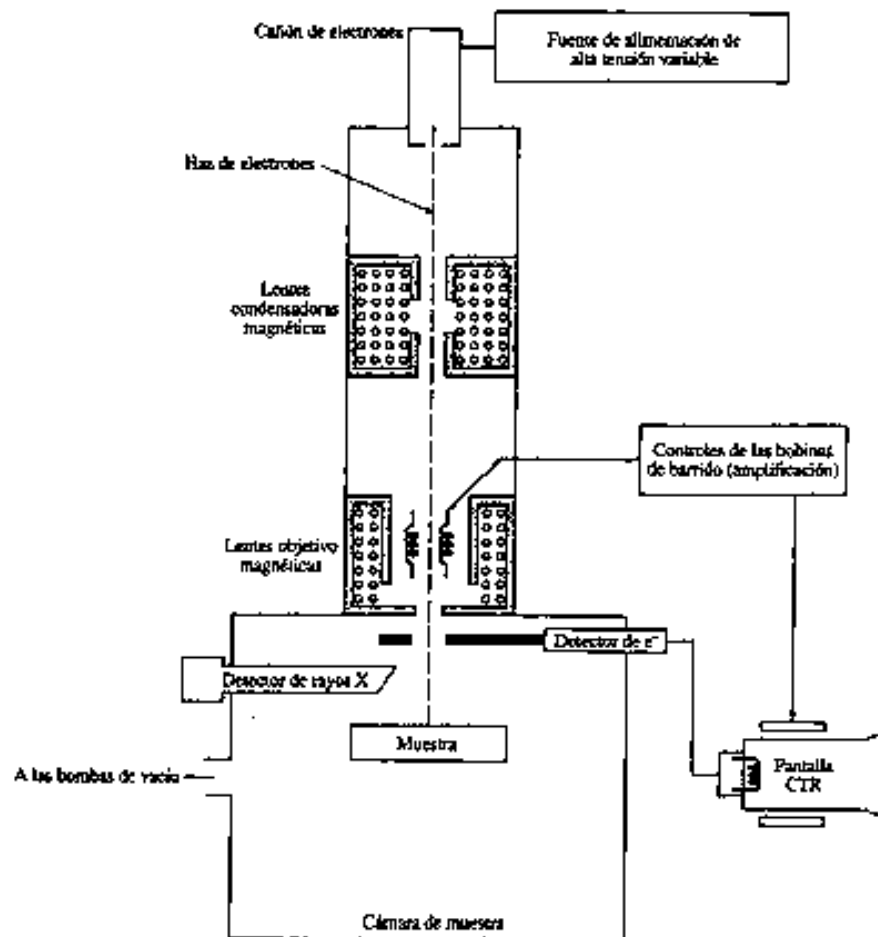


Figura N°27. Esquema de un SEM de un microscopio electrónico de barrido.

La microscopía electrónica es un método de análisis químico no destructivo que permite conocer la composición química de partículas diminutas en la superficie de muestras sólidas, con una resolución espacial de alrededor de $1\ \mu$.

La técnica consiste en analizar la radiación emitida por una muestra sólida, cuando sobre ella incide un haz de electrones debidamente localizado.

La microscopía se basa en la utilización del espectro característico, generado por la interacción de la radiación electrónica con la materia, con fines analíticos, tanto cualitativos (la energía de la radiación es característica de cada elemento) como cuantitativos (la altura del pico del espectro es proporcional a la cantidad de elemento presente en la muestra).

El control y focalización del haz se realiza mediante dos lentes electromagnéticas (una condensadora, que modifica la intensidad del haz al variar su corriente, y otra objetivo, que modifica el tamaño del haz también al variar su corriente) y varios diafragmas. La columna electrónica, así como los espectrómetros, están sometidos a alto vacío ($P < 10^{-4}$ Torr) para minimizar la absorción de los rayos x por el aire, especialmente en los elementos ligeros, cuya emisión es menos energética [Costafreda, 2008].

7.1.2.- Preparación de las muestras

Los trabajos de microscopía electrónica de barrido se realizaron en el Laboratorio de Metalurgia. Se analizaron muestras de los diez bancos seleccionados previamente mediante un análisis estadístico, tomando como base la media del Índice de carga puntual de cada banco resultando las siguientes muestras: C4, H33, J9, CO30, U3, T12, K13, M8, G17, S8 procedentes de los bancos de materiales banco Cerritos, banco Huiramba, banco Joyitas, banco Comanja, banco Cuenembo, banco el Tigre, banco Maskutan, banco el Melón, banco AGC o Mesón Nuevo y el Colegio.

Para la preparación y análisis de las muestras fueron empleados los siguientes equipos:

El microscopio electrónico de barrido marca JEOL, modelo JSM-6400, el cual cuenta con un microanalizador de rayos X marca Bruker 113 eV, distancia de trabas 25 mm espectro de energía dispersiva (EDS) y la metalizadora S150A SPUTTER COATER (ver figuras N°28 y N°29).

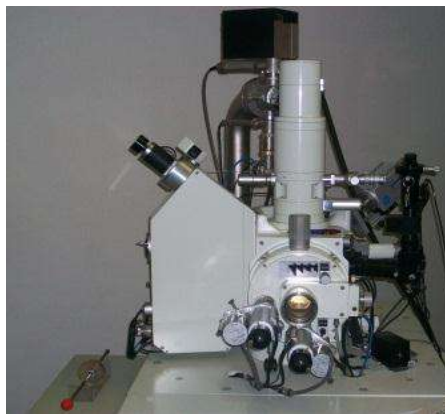


Figura N°28. Microscopio electrónico de barrido marca JEOL (Fuente M. A. Navarrete Seras)



Figura N°29. Metalizadora S150A SPUTTER COATER (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Una vez seleccionadas las muestras se redujeron hasta un diámetro entre 0.2 y 0.5 centímetros (ver figura N°30).



Figura N°30. Fragmentos de diámetro entre 0.2 y 0.5 centímetros (Fuente M. A. Navarrete Seras).

De las muestras anteriores se escogen aquellas que estén un poco alargadas y sin tantas aristas, posteriormente se llevaron a la metalizadora donde se les realizó un recubrimiento con cobre (ver figura N°31)



Figura N°31. Muestras cubiertas con una capa de cobre (Fuente M.A Navarrete Seras).

Se retiran las muestras recubiertas de cobre de la metalizadora y se fijan en el portamuestras del microscopio electrónico de barrido, esto se logra extrayendo el tren de portamuestras una vez que la cámara estuvo en no vacío (ver figuras N°32 y N°33)



Figura N°32. Extracción del tren de portamuestras (Fuente M.A Navarrete Seras).



Figura N°33. Portamuestras donde se observan las diez muestras (Fuente M.A Navarrete Seras).

Una vez que se colocan las muestras el indicador de alto vacío da la señal y se procede a monitorizar la intensidad de la radiación de electrones.

Hay conectada una computadora al conjunto del equipo, por medio del cual, y con ayuda de los softwares, se toman la lecturas de los elementos que contienen las muestras (Figura N°34).



Figura N°34. Equipo completo del microscopio electrónico de barrido (Fuente M.A Navarrete Seras)

7.2.- Difracción de Rayos X.

7.2.1.- Fundamentos del método.

Difracción de rayos X (DRX): técnica multielemental para la identificación de fases cristalinas o para el análisis semicuantitativo (error de medida del 5%) de sus porcentajes en la roca; la cantidad final de muestra a analizar es muy poca, unos 0.5g, pulverizada en mortero de ágata hasta 50 μm [Esbert, et. al. 1997].

La caracterización de minerales es una parte importante de la mineralogía y, en lo general, la identificación de los cristales ha servido para de la ciencia de los materiales, así como en metalurgia, polímeros, farmacéuticos y otros.

Desde la invención de los rayos X se considera el enorme potencial de estos fue curiosamente la utilización de cristales para la difracción de los rayos X, lo que permitió que se planteara la teoría ondulatoria de la luz.

Toda sustancia cristalina dispersa los rayos X en su propio patrón de difracción, produciendo una “huella” de su estructura atómica y molecular. La intensidad de cada reflexión constituye la información básica requerida en el análisis de la estructura del cristal. Debido a que átomos diferentes tienen distintos números de electrones, su

dispersión relativa varía. Como consecuencia, la estructura del cristal determina la intensidad y la posición del haz difractado, aun cuando dos cristales tengan retículos idénticos, el tipo de átomos que forman puede ser diferente [Duarte y Preckwinkler, 2001]

Al igual que con los otros tipos de radiación electromagnética, la interacción entre el vector eléctrico de la radiación X y los electrones de la materia que atraviesa da lugar a una dispersión. Cuando los rayos X son dispersados por el entorno ordenado de un cristal, tiene lugar interferencias (tanto constructivas como destructivas) entre los rayos dispersados, ya que las distancias entre los centros de dispersión son del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la radiación. El resultado es la difracción [Skoog, et al, 2001].

Este método se basa en el fenómeno de difracción de los rayos X, cuya longitud es conmensurable con las distancias interatómicas. En mineralogía se utiliza el método de polvos que se basa en la ley de Bragg-Wulff universalmente usada. Los cristales se representan contruidos por familias de planos que actúan como espejos semitransparentes donde al incidir un haz monocromático de rayos X, ocurre el proceso de difracción que se representa por uno de reflexión. La representación es similar a la reflexión de la luz en un espejo, aunque con algunas diferencias, entre otras, los rayos X penetran bajo la superficie del cristal y los rayos reflejados de la familia de planos atómicos sucesivos, pueden o no estar en fase. La condición para lograr un máximo de intensidad reflejada es que la contribución de los planos sucesivos debe estar en fase. Además se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Los tamaños óptimos de las partículas para el análisis de rayos X son 20-40 μm (micrones).
- La masa normal de una muestra para este análisis es de 0.5 – 1.0 gramo. Ella debe representar la composición y ser homogénea en los tamaños de las partículas (no más que 70 μm). Luego la muestra se tritura en un molino mecánico o a mano en un mortero de jaspe o ágata hasta un tamaño de menos de 40 micrones.
- Para obtener un cuadro de difracción bien definido hay que elegir las condiciones óptimas de registro de una sustancia dada. Ante todo, es necesario elegir la radiación

utilizada (Cu, Co, Fe) dependiendo de la composición química de las sustancias analizadas, de la cual depende a su vez el grado de absorción de los rayos X.

- Para el registro del difractograma hay que determinar las condiciones experimentales entre las cuales las principales son las siguientes: el tipo de difractómetro y de tubo, la sustancia del ánodo y el filtro, el voltaje (en kilovoltios) y la corriente (en miliamperios), la escala de la velocidad de registro de los impulsos (en segundos), la constante de tiempo (en segundos), la velocidad del movimiento del contador (en grados por minuto) y de la cinta de diagrama (en mm por minutos).

Actualmente todos los equipos de rayos X son completamente computarizados lo que permite realizar automáticamente todas las operaciones de registro y evaluación de los difractogramas obtenidos. El intervalo angular del registro depende de una tarea concreta. Si no se sabe nada sobre la muestra entonces se registra el difractograma completo (de $5 - 7^\circ$ a $72 - 75^\circ$, 2θ).

En la actualidad se han diversificado mucho las técnicas por difracción de rayos X, pero en general, se emplean con dos objetivos principales:

- a) Estructuralmente, para conocer la constitución de compuestos puros tales como minerales, compuestos químicos inorgánicos y orgánicos, organometálicos, etc.;
- b) Analíticamente, para la identificación y determinación tanto cualitativa como cuantitativa de las fases presentes en las mezclas analizadas.

Con esta técnica lo que pretendemos determinar son las fases cristalinas de las sustancias minerales. Cada fase cristalina da un cuadro de difracción individual que se caracteriza por las posiciones e intensidades determinadas de los máximos o líneas reflejadas. Por eso el conjunto registrado de los rayos X reflejados por diferentes ángulos θ de alguna sustancia cristalina es la constante de esta sustancia independientemente de la composición de la mezcla mineral y de la morfología de los individuos minerales.

Difractómetro de rayos “X”.

Está constituido por un goniómetro para medir los ángulos de difracción, el cual está acoplado a un sistema de conteo y circuitos electrónicos para determinar la intensidad de

difracción en cualquier ángulo. Se utiliza un portamuestras plano situado tangencialmente en el circuito de enfoque que contiene la fuente de rayos X monocromáticos y el contador.

La radiación difractada recibida en el contador se transforma a pulsos electrónicos los cuales son amplificados y alimentados a diversos circuitos para su medición generalmente en una gráfica de intensidad vs ángulo de difracción a la que se le llama difractograma.

Al difractómetro controlado por computadora y al conjunto de programas computacionales relacionados con el sistema de control y el análisis de resultados se le conoce como “difractómetro de polvos automático”. Esto confiere una gran velocidad, una fácil selección de determinada región 2θ del difractograma para su registro o amplificación, ya que la consulta del archivo de patrones JCPDS es inmediata [Ostroumov, 1999].

7.2.2.-Preparación de las muestras

La preparación de las muestras se realizó en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”. Se analizaron muestras de los diez bancos seleccionados previamente mediante un análisis estadístico, tomando como base la media del Índice de carga puntual de cada banco resultando las siguientes muestras: C4, H33, J9, CO30, U3, T12, K13, M8, G17, S8.

Una vez seleccionadas las muestras se procede a pulverizarlas de tal manera que mediante un taladro se obtiene el mayor polvo posible en una charola (Figura N°35)



Figura N°35. Obtención de polvo de las muestras (Fuente M.A Navarrete Seras).

Con el polvo obtenido se procede a pulverizarlo en el Mortero de ágata hasta que pase la malla N° 200 ya que es el tamaño indicado para realizar esta prueba (ver figuras N°36 y N°37).



Figura N°36. Mortero de Agata con el polvo de la muestra (Fuente M.A Navarrete Seras).



Figura N°37. Cribado del polvo mediante malla N° 200 (Fuente M.A Navarrete Seras).

Es importante que cada vez que se coloque un material distinto para su pulverización se limpien los instrumentos con alcohol o acetona, con la finalidad de que no se contaminen las muestras y se obtengan resultados erróneos.

La prueba de difracción de rayos X se realizó mediante el difractómetro marca SIEMENS, modelo D5000 X- RayDiffractometers, 30 kv, 20 miliamperios, tubo de longitud de onda 1.5406 Ångstrom (ver figuraN°38) en el Laboratorio de Metalurgia.



Figura N°38. Equipo para realizar la prueba de difracción de rayos X (Fuente M.A Navarrete Seras).

Con el material en polvo de los bancos (ver figura N°39) la siguiente etapa fue llevarlos al Laboratorio de Metalurgia para realizar la prueba de difracción de rayos X.



Figura N°39. Muestras de polvo con un peso de entre 20 y 25 gr (Fuente M.A Navarrete Seras).

Se procede a colocar el polvo sobre una placa que tiene un hueco el cual se llena y se confina para obtener una pastilla (ver figura N°40)



Figura N°40. Colocación del polvo en la placa (Fuente M.A Navarrete Seras).

Una vez que se tiene la pastilla esta se coloca sobre el portamuestras para su análisis (ver figura N°41).



Figura N°41. Colocación de la muestra en el equipo (Fuente M.A Navarrete Seras).

Finalmente mediante una computadora conectada al conjunto del equipo y con ayuda de los softwares, se toman las lecturas de los elementos que contienen las muestras.

7.3.- Fluorescencia de Rayos X.

Fluorescencia de rayos X (FRX): Técnica ya clásica, muy habitual y rápida para el análisis de elementos mayores y trazas en rocas; requiere muy pequeña cantidad de muestra (inferior al gramo) y su límite de detección es de ppm [Esbert, et. al. 1997].

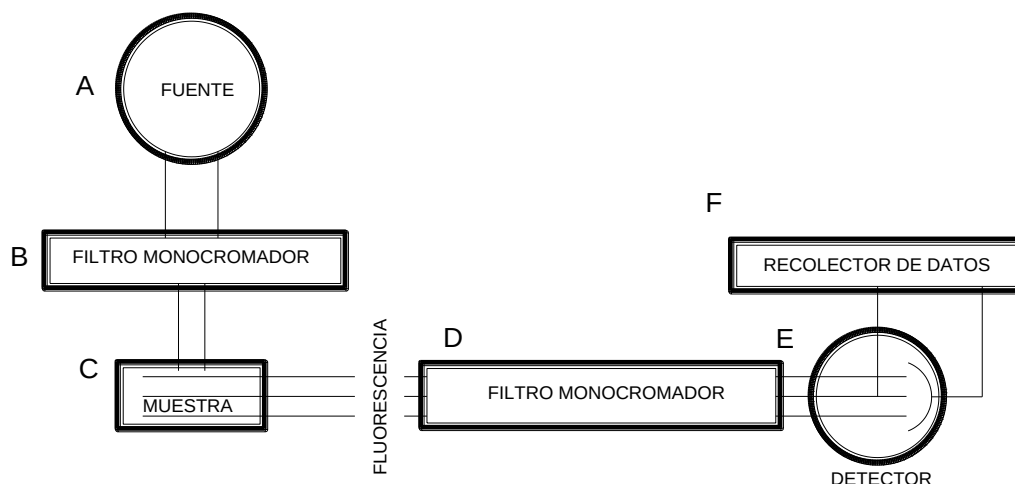
A pesar de que es factible excitar la muestra para obtener su espectro de emisión de rayos X situándola en la zona del blanco de un tubo de rayos X, lo incomodo hace que apenas se aplique para muchos tipos de materiales. En cambio, es más corriente que la excitación se consiga mediante la irradiación de la muestra con un haz de rayos X procedente de un tubo de rayos X o de una fuente radiactiva. En estas condiciones, los elementos de las muestras se excitan como consecuencia de la absorción del haz primario y emiten sus propios rayos X fluorescentes característicos. Por ello este procedimiento se denomina correctamente, método de fluorescencia, o emisión, de rayos X. De entre todos los métodos analíticos la fluorescencia de rayos X (XRF) es uno de los métodos más utilizados para la identificación cualitativa de elementos que tienen números atómicos mayores que el del oxígeno (>8); además, también se utiliza, a menudo, para el análisis elemental semicuantitativo o cuantitativo. Una ventaja particular de la XRF es que se trata

de un método no destructivo de la muestra, característica que no poseen la mayoría de las otras técnicas de análisis elemental [Skoog, et al, 2001].

Técnica empleada para determinar los elementos componentes de una muestra a través de un análisis cuantitativo de sus elementos.

La muestra se coloca en la cámara de vacío del aparato de fluorescencia de rayos X y posteriormente se somete a un bombardeo de electrones mediante un haz electrónico de alta energía, ante la influencia de este haz, aparece la radiación de rayos X secundarios cuyo espectro es característico para cada elemento y la intensidad de las rayas espectrales de los elementos es registrada y cuantificada.

FLUORESCENCIA DE RAYOS "X"



- A. La fuente produce los rayos X.
- B. El filtro monocromador selecciona las radiaciones de longitud de onda específica producidas por la fuente y este haz de energía es dirigido hacia la muestra.
- C. El haz interacciona con los elementos de la muestra y se produce la fluorescencia.
- D. La fluorescencia resultante es polarizada por un filtro secundario o monocromador de emisión y dirigida hacia un fotodetector.

El detector, divisa la emisión de fluorescencia. Se utiliza una superficie frontal o una de visión de ángulo corto (37°) para muestras de alta absorbencia, sólidos [Ostroumov, 1999].

7.3.1. Preparación de las muestras.

La preparación de las muestras se realizó en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”. Se analizaron muestras de los diez bancos seleccionados previamente mediante un análisis estadístico, tomando como base la media del Índice de carga puntual de cada banco resultando las siguientes muestras: C4, H33, J9, CO30, U3, T12, K13, M8, G17, S8.

Teniendo las muestras en polvo se llevaron al Instituto de Geología, Departamento de Geoquímica de la UNAM, para su respectivo análisis.

8.- PRUEBAS MECÁNICAS REALIZADAS.

A continuación se describe la prueba de mecánica de Carga Puntual para conocer la resistencia de cada uno de los bancos de materiales.

8.1.- Ensayo de carga puntual (Point Load) (ASTM 5731-05).

A comienzos de los años 70, el Imperial College de Londres, desarrolló un equipo hidráulico portátil para medir la Resistencia de las Rocas Bajo Carga Puntual (I_s), parámetro que está totalmente correlacionado con la Resistencia a la Compresión Simple. En los ensayos diametral y axial sobre testigos de 50 mm de diámetro, la resistencia se calcula con la siguiente expresión:

$$I_s = \frac{P * 1000}{D_e^2} \quad (11)$$

Donde:

P= Carga de rotura (kN)

D= Distancia entre los punzones de carga (mm)

Si los ensayos se realizan sobre muestras irregulares, la Resistencia a la Compresión Simple se estima a partir de:

$$RC(MPa) = 12.5 \cdot T_{500} T_{500} = 211.5 \frac{P}{A^{0.75}} A = D \times L (mm^2) \quad (12)$$

Este método es bastante fiable para rocas con resistencias entre 30 y 100 MPa.

Franklin y sus colaboradores (1971), propusieron clasificar los macizos rocosos mediante el empleo de dos parámetros: el Índice de Resistencia Bajo Carga Puntual (I_s), y el Índice de Espaciamiento entre Fracturas (I_f) [Aduvire, 1992].

El índice de carga puntual (I_s) proporciona una valoración útil de fuerza, en particular de la compresión uniaxial (UCS) de rocas intactas y para clasificación de roca (Broch y Franklin, 1972).

La relación entre la resistencia a la compresión inconfina (σ) y el índice de resistencia a la carga puntual (I_s) para núcleos de 50mm de diámetro es de 24 (K) entre ambos parámetros [Broch y Franklin, 1972].

$$\sigma = K I_s \quad (13)$$

El valor de K fue posteriormente corroborado por Bieniawski en 1975, utilizando núcleos con diámetro NX (54mm) en muestras de arenisca cuarcita y norita.

La prueba de carga puntual sobre fragmentos irregulares, desarrollada en Rusia, es descrita por Protodyakonov. Para obtener un índice de fuerza, Protodyakonov divide la carga de ruptura por la energía a 2/3 del volumen de espécimen, una aproximación al área afectada, seccional del fragmento. El volumen fue determinado usando una técnica de desplazamiento de arena.

La oficina internacional para la Mecánica de Roca incorporó la prueba de Protodyakonov como una técnica estándar como sigue:

Especímenes irregulares ovoides con proporción de largo-a-corto: diámetro de aproximadamente 1.5: 1 y volumen de aproximadamente 100 cm^3 son obtenidos rompiendo fragmentos de roca utilizando cualquier método conveniente y acondicionando los especímenes por ligeros martillazos convenientes [Broch y Franklin, 1972].

Debería haber quince a veinticinco especímenes con la diferencia de masas de menos que 2 por ciento, y éstos son cargados paralelo a su eje más largo y perpendicular al plano de cualquier laminación.

Ensayo de carga puntual (Point Load)

El objetivo es determinar la resistencia de roca al someterla a carga puntual que se aplican mediante un par de piezas cónicas. Es una prueba de índice y está destinado a ser utilizado para clasificar y caracterizar la roca.

Equipo:

- Equipo de carga puntual
- Marro y cincel
- Flexómetro
- Vernier
- Lentes protectores
- Plumón

Procedimiento:

1. Seleccionar las muestras regulares e irregulares de diferente forma y diámetro (Diámetro entre 30 y 85 mm).
2. Se toman las dimensiones de las muestras mediante el vernier y el metro las cuales deben cumplir con las prescripciones que se indican en la norma(ver figura N° 42).

$$0.3W < D < W$$

$$W = \frac{W_1 + W_2}{2} \quad (14)$$

$$L > 0.5D$$

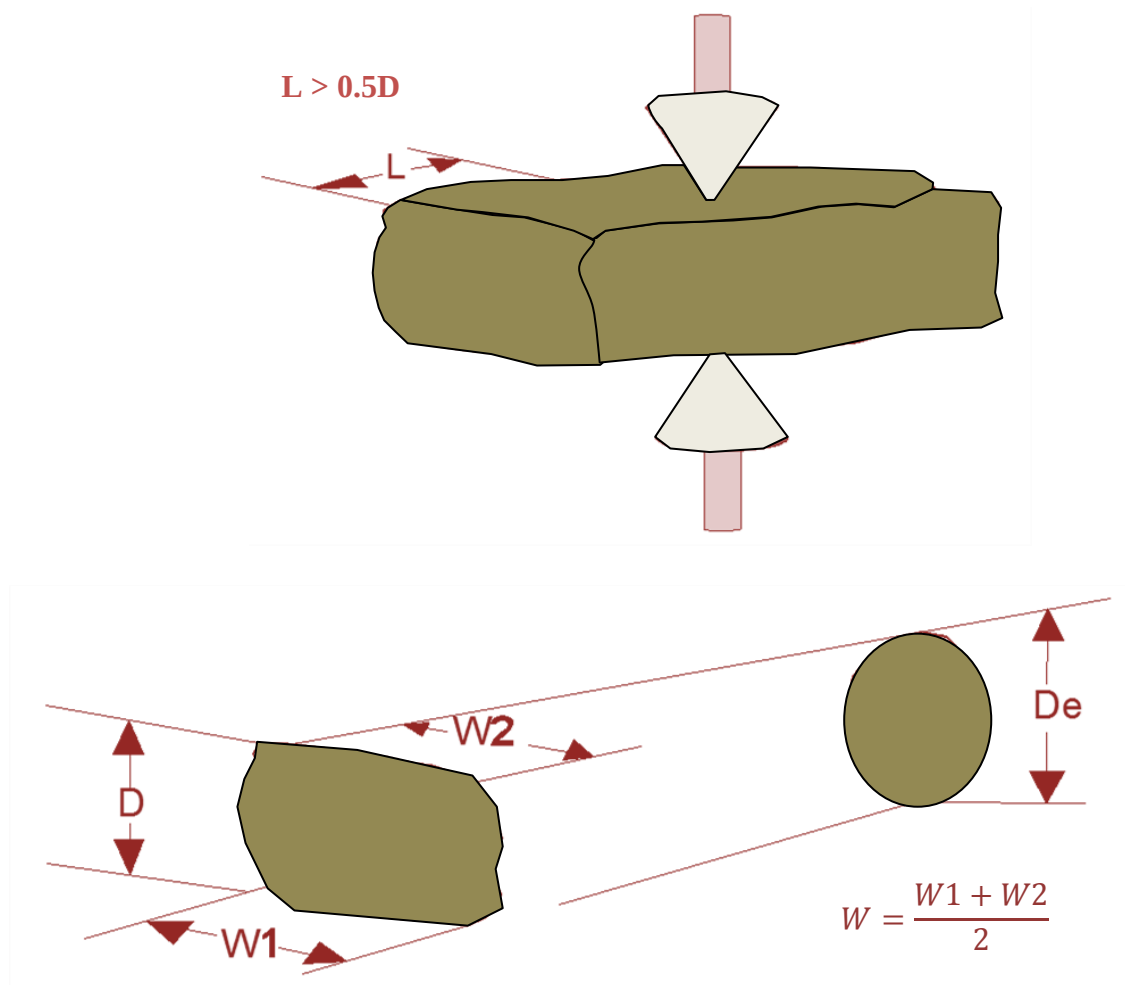


Figura N°42. Parámetros que deben cumplir los fragmentos de roca de acuerdo a la norma (Fuente M.A. Navarrete Seras).

Debe cumplir con los parámetros anteriores, sino cumplen se ajustan los parámetros mediante un marro o cincel, para respetar la forma indicada anteriormente.

3. Se marca la orientación de ensayo deseada en la muestra con líneas a lo largo de la superficie. Estas líneas se utilizan para centrar la muestra antes de la prueba y el control de la correcta orientación a lo largo de la compresión al momento de la falla de la muestra.
4. Se cierra la válvula del circuito hidráulico de la bomba de mano. Se inserta la varilla de extensión en la palanca del gato y se pone en cero el manómetro digital.

5. Se inserta la muestra entre las puntas de forma cónica del equipo de carga puntual en una dirección perpendicular a las caras, lejos de los extremos o bordes, se ajustan las puntas a la muestra moviendo la varilla insertada en la palanca del gato.
6. Se usa la escala graduada insertada en el marco de la máquina para registrar la distancia D (mm), ya que el diámetro anterior fue para verificar que cumpliera las dimensiones que marca la norma, el valor que se obtiene de la escala graduada es el utilizado en los cálculos.
7. Comprobar que el manómetro digital registra una pequeña carga y operar con la bomba para aumentar la carga de manera constante tal que la muestra falle entre 10 y 60 seg. Se entra los parámetros siguientes en la pantalla Área (mm^2) y la velocidad o tasa de carga (kPa/s o N/s). Se pulsa la flecha hacia arriba para activar la función pico que sirve para que quede registrada la carga máxima (ver figura N° 43)



Figura N°43. Datos que se deben introducir antes de comenzar la prueba al manómetro digital (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Durante el ensayo, la pantalla está al día en tiempo real para mostrar la carga aplicada y la resistencia correspondiente. También muestra un indicador de tendencia de carga con símbolos gráficos de la variación de la tasa de carga con respecto a la tasa de entrada de carga teórica como un parámetro de prueba.

Los símbolos tienen el siguiente significado:

- = = =: La carga real se corresponde con el teórico de carga de $\pm 5\%$.
- -: La carga real se corresponde con el teórico de carga de $-5 \dots 10\%$.
- - -: La carga real se corresponde a la carga teórica $-10 \dots 25\%$.
- - - -: La carga real se corresponde a la carga teórica $-$ mas 25% .
- +: La carga real se corresponde a la carga teórica $+ 5 \dots 10\%$.
- + +: La carga real se corresponde a la carga teórica $+ 5 \dots 10\%$.
- + + +: La carga real se corresponde a la carga teórica $+$ mas 25% .

Así, es posible acceder a la tasa de carga aplicada durante la prueba y ajustar en consecuencia. Mediante el botón Esc (ver figura N° 44).



Figura N°44. Botón Esc de fondo gris con circunferencia amarilla (Fuente M. A. Navarrete Seras).

8. Se registra la carga máxima que muestra el manómetro digital (el valor de carga máxima está congelada en la pantalla).

Cálculos:

El índice de carga puntual sin corregir se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_s = \frac{P * 1000}{D_e^2} \quad (15)$$

Donde:

P= carga aplicada en kN.

D_e = diámetro del núcleo equivalente, mm.

I_s = Índice de carga puntual, MPa.

Para fragmentos irregulares el diámetro equivalente se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_e^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (16)$$

$A = WD$ = Área transversal mínima paralela a la dirección de la carga en mm².

El índice de resistencia a la carga puntual corregido, $I_{s(50)}$, de una muestra de roca se define como el valor de I_s que se han medido por una prueba diametral con $D = 50$ mm.

Cuando una clasificación de roca es esencial, el método más fiable para obtener $I_{s(50)}$ es llevar a cabo las pruebas diametral en o cerca de $D = 50$ mm. Corrección de tamaño es innecesario. Por ejemplo, en el caso de las pruebas diametral en NX, diámetro del núcleo = 54 mm y la corrección de tamaño a $D = 50$ mm no es necesario. La mayoría de las pruebas de carga de punto de fuerza son, de hecho a cabo utilizando los tamaños de muestra de otras formas.

Para la corrección de tamaño se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (17)$$

El "Factor de corrección Tamaño F" desde la expresión:

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45} \quad (18)$$

Para las pruebas cerca de la estándar de 50 mm de tamaño, sólo un pequeño error es introducido mediante el uso de la expresión aproximada:

$$F = \sqrt{\left(\frac{D_e}{50} \right)} \quad (19)$$

Estimación de la Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión uniaxial pueden obtenerse mediante el uso de figura que se muestra a continuación o utilizando la siguiente fórmula:

$$\delta_{uc} = C I_{s(50)} \quad (20)$$

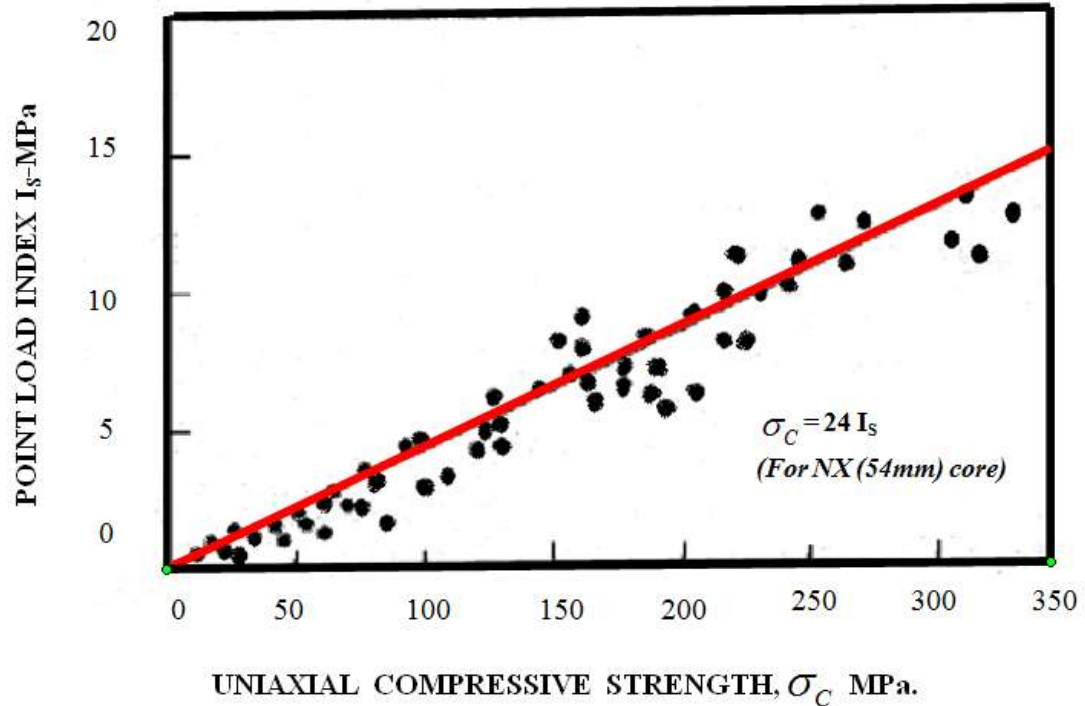


Figura N° 45. Relación entre la compresión uniaxial y el índice de carga puntual (D5731-05).

Resistencia a la compresión uniaxial de 125 pruebas en Piedra Arenisca, Cuarcita, Marikana, Norita, y Belfast Norite.

De acuerdo a la grafica de norma ASTM D5731-05 el valor de la constante C es igual a 24 (ver figura N°45).

$$\delta_{uc} = UCS = (C)I_{s(50)} = 24I_{s(50)} \quad (21)$$

NOTA: El resultado obtenido esta en Mpa por lo que hay que convertir de unidades.

$$1 \text{ MPa} = 10.2 \text{ kg/cm}^2.$$

2

8.2.- Determinación de la durabilidad al desmoronamiento de rocas blandas (ASTM D 4644 – 87)

La durabilidad es la resistencia que la roca presenta ante los procesos de alteración y desintegración, propiedad a la que también se alude como alterabilidad, definiéndose en este caso como la tendencia a la rotura de los componentes o de las estructuras de la roca [González, 2002].

Objetivo:

Este método de prueba determina el índice de durabilidad de una pizarra o una roca similar después de secar y humedecer dos ciclos con abrasión.

Equipo:

- El tambor está hecho de 2 mm (N° 10) malla rectangular, paño de alambre tejido, conformada a los requerimientos de la especificación E 11. Tiene forma cilíndrica con un diámetro de 140 mm (5.5 in) y una longitud de 100 mm (3.9 in). Los finales serán platos rígidos, con un fin desmontable. Debe ser suficientemente fuerte para retener su forma durante el uso, pero ni el exterior de la malla ni el interior del tambor se obstruirá por un apoyo. El tambor será capaz de resistir una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Un recipiente apoyara el tambor de manera horizontal tal que el tambor es libre de girar sobre su eje. El recipiente se llenara de agua a 20 mm (0.8 in) debajo del eje del tambor y permite al menos 40 mm (1.6 in) libres entre el recipiente y el fondo de la malla. El tambor se hace girar por un motor capaz de mantener una velocidad de 20 rpm, constante dentro del 5%, por un periodo de 10 min (ver figura N°46).
- Balanza, sensitivo a 1 g y teniendo una capacidad de 2000 g de capacidad.
- Horno desecante, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Aparato misceláneo, incluyendo un cepillo.
- Agua destilada.
- El espécimen consiste de diez representativos, intacto, fragmentos de pizarra equidimensional que pesan 40 g a 60 g cada uno. Estos fragmentos pueden ser naturales o pueden ser producidos rompiendo con un martillo. Tales fragmentos pueden ser obtenidos de corazones de roca o desde las canteras y los tamaños pueden variar con el método de prueba. Rompa cualquier esquina aguda, de ser posible, y se quita el polvo cepillando la muestra justo antes de pesarlo. La muestra total pesará 450 a 550 g.

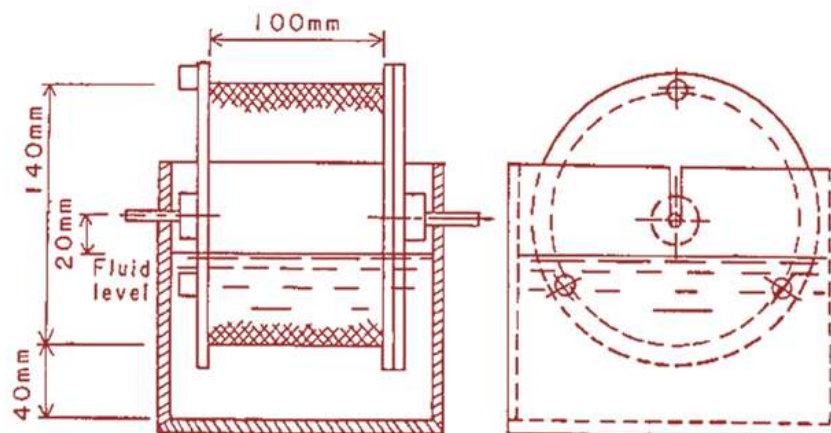


Figura N°46. Critical dimensions of Slake Durability Equipment (ASTMD 4644 – 87).

Procedimiento:

1.- Colocar los fragmentos en el tambor. Pesar y secar en el horno durante 16 h o a masa constante. Se deja enfriar la muestra y el tambor durante 20 min y vuelve a pesar.

$$W = \frac{A - B}{B - C} \times 100 \quad (22)$$

Dónde:

W = porcentaje de contenido de agua

A= masa del tambor más la muestra a contenido de humedad natural, g.

B = masa del tambor más muestra seca después del horno antes del primero pase por un ciclo, g.

C= masa de tambor, g.

2.- Llene el recipiente con el agua destilada a temperatura ambiente a 20 mm (0.8 in.) debajo del eje de tambor. Haga girar el tambor a 20 rpm por un período de 10 mínimo. Registre la temperatura de agua al comienzo y final de la prueba (ver figura N°47).

3.- Quite el tambor de la artesa inmediatamente después de completar el período de rotación y seque el tambor y la muestra retenida en el horno por 16 h, o hasta masa constante.

4.- Pesar el tambor y la muestra después de sacarlo en el horno para conocer su peso seco para realizar el segundo ciclo. Repetir 2 y 3. De nuevo pese el tambor y la muestra para obtener una masa final.



Figura N°47. Equipo de durabilidad (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Cálculos

Calcule el índice de durabilidad (segundo ciclo), como sigue:

$$I_d(2) = \frac{WF - C}{B - C} \times 100 \quad (23)$$

Dónde:

$I_d(2)$ = índice de durabilidad (segundo ciclo)

B = masa del tambor más muestra retenida secada por el horno antes del primer ciclo, g.

W_F = masa del tambor más muestra retenida secada por el horno después del segundo ciclo, g.

C = masa del tambor.

8.3.-Método de prueba estándar para Solidez de los agregados por el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio (ASTM C 88 – 99a).

Este método de ensayo proporciona un procedimiento para la fabricación de una estimación preliminar de la solidez de los agregados para su uso en el concreto y otros fines. Los valores obtenidos pueden ser comparados con las especificaciones.

Los valores para el porcentaje permitido de pérdida de este ensayo método son generalmente diferentes para los agregados finos y gruesos, y llama la atención al hecho de que los resultados de prueba mediante el uso de las dos sales difieren considerablemente y se debe tener cuidado en la fijación de límites apropiados en las especificaciones que incluyan requisitos para estas pruebas. La prueba suele ser más grave cuando el sulfato de magnesio se utiliza, en consecuencia, los límites de la pérdida por ciento permitido cuando se utiliza sulfato de magnesio son normalmente más altos que limita cuando se utiliza sulfato de sodio.

Sulfato de Sodio Solución: preparar una solución saturada de sulfato de sodio por disolución de un grado USP o equivalente de la sal en agua a una temperatura de 77a 86 °F(25 a 30°C) añadir sal suficiente(Nota), ya sea de la anhidro (Na_2SO_4) o la cristalino ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), para asegurar no sólo la saturación pero también la presencia de exceso de cristales cuando la solución está listo para su uso en los ensayos. Agite la mezcla durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos frecuentes hasta su uso. Para reducir la evaporación y evitar la contaminación, mantener la solución de cubierta en todo momento cuando el acceso no está necesario. Permitir que la solución se enfríe a $70 \pm 2^\circ \text{F}$ ($21 \pm 1^\circ \text{C}$).

Una vez más, agitar y dejar que la solución permanezca a la temperatura designada durante al menos 48 h antes de su uso. Antes de cada uso, romper la torta de sal, en su caso, en el recipiente, se agita la disolución a fondo, y determinar la gravedad específica de la solución.

Cuando se usa, la solución deberá tener una gravedad específica no menor de 1,151 y no más de 1,174. Descartar una solución descolorida, o filtrarla y comprobar la gravedad específica

NOTA -Para la solución, 215 g de la sal anhidra o 700 g de la decahidrato por litro de agua son suficientes para la saturación a 71,6 ° F (22 ° C).

Sin embargo, ya que estas sales no son completamente estables y puesto que es deseable que un exceso de cristales de estar presente, el uso de no menos de 350g de la sal anhidra o 750 g de la sal de decahidrato por litro de aguase recomienda.

De acuerdo con al manual M·MMP·4·04·008/03 describe como realizar la prueba de intemperismo acelerado.

Procedimiento de prueba

- Colocar cada muestra (tabla 6) en una charola de peltre que contenga la solución de prueba, de manera que queden totalmente cubiertas. Mantener esta condición por un período de 16 a 18 h a una temperatura de 21 °C, conservando dicha temperatura mediante el empleo del tanque de recirculación de agua.
- Finalizado este período, escurrir las muestras y secarlas en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, hasta masa constante. Repetir este proceso de inmersión y secado hasta completar cinco ciclos.
- Al terminar el último ciclo, lavar las muestras hasta eliminar todo el sulfato de sodio o de magnesio y secar nuevamente en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, hasta masa constante.
- Una vez enfriadas a temperatura ambiente, cribar cada muestra con la malla de menor tamaño del intervalo considerado, es decir para el intervalo de tamaños de 50 mm (2) a 37,5 mm (1 ½”) emplear la malla 1 ½” (37,5 mm) y así sucesivamente, registrando como Mf la masa del material retenido en dichas mallas y desechando el material que pasa.

Tabla 6.- tamaño de muestra.

Tamaño del material (t)		Masa de la muestra M_i g
De: (pasa la malla)	A: (Se retiene en la malla)	
2''' (50 mm)	1 ½''' (37,5 mm)	1500
1 ½''' (37,5 mm)	1''' (25 mm)	1500
1''' (25 mm)	¾''' (19 mm)	1000
¾''' (19 mm)	½''' (12,5 mm)	500
½''' (12,5 mm)	Nº 4 (4,76 mm)	300

Cálculos

Se reporta como resultado de la prueba, en por ciento y con aproximación a un décimo, la pérdida por intemperismo, determinada de acuerdo al siguiente procedimiento:

La pérdida por intemperismo de cada tamaño ensayado, se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$P(t) = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad (24)$$

Donde:

$P(t)$ = Pérdida por intemperismo para el tamaño t , (%).

M_i = Masa inicial de la muestra de prueba para cada tamaño, que se obtiene de la Tabla 6, (g).

M_f = Masa del material al finalizar los ciclos de intemperismo para cada tamaño, (g).

t = Variable que denota el rango del tamaño de las partículas de la muestra.

La pérdida por intemperismo representativa de todo el material, se calcula utilizando la expresión:

$$P_{INT} = \left(\frac{\sum (P_{(t)}) \times M_i}{M_i} \right) \quad (25)$$

Donde:

P_{INT} = Pérdida por intemperismo representativa de todo el material, (%)

8.4.- Compresión en la albañilería EN1052-1(1999)

La caracterización experimental en la albañilería bajo la compresión requiere paneles que representen su construcción en el lugar de origen.

Las recomendaciones sobre la geometría y las dimensiones de los especímenes se describen en los estándares europeos EN1052-1(1999) como se muestra en la siguiente figura:

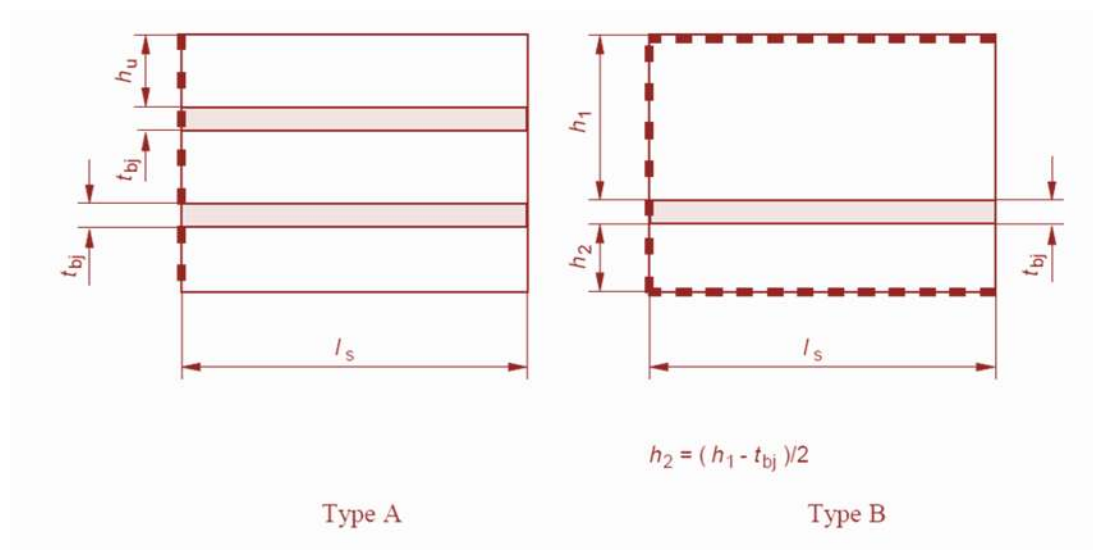


Figura N°48. Dimensiones de los especímenes.

Dónde:

t_{bj} es el grosor de la cama de mortero, en milímetros (mm)

h_u es la altura de las unidades según ENE 772-16, en milímetros (mm)

h_1 y h_2 es las alturas de unidades de corte, en milímetros (mm)

l_s es la longitud del espécimen, en milímetros (mm)

l_u es la longitud de las unidades según ENE 772-16, en milímetros (mm)

Se representa con A si $h_u \leq 200$ mm y se representa con B si $h_u > 200$ mm.

Tabla 6.- Dimensiones de los especímenes para realizar la prueba

Unit size		Specimen type and dimensions	
l_u mm	h_s mm	Type according to Figure	Dimensions mm
≤ 300	≤ 200	A	$l_s = l_u$
> 300	≤ 200	A	$l_s = 300$
≤ 300	> 200	B	$h_1 = 200$ $l_s = l_u$
> 300	> 200	B	$h_1 = 200$

$$l_s = 300$$

Los especímenes labrados son cubos de 50mm x 50mm x 50mm, de acuerdo a la tabla las dimensiones quedan $l_u \leq 300$ mm y $h_s \leq 200$ mm por lo tanto es tipo A, y se coloca un cubo sobre otro hasta formar una pila de tres cubos, unidos con un mortero con un espesor de 10 mm (ver figura N°49).



Figura N°49. Pilas de especímenes de roca (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Se utilizó cemento portland CPC 30R RS, arena del banco Joyitas que pasa la malla N°8, para la elaboración de la mezcla con la proporción 1:3 agregándose agua hasta que la mezcla sea manejable.

El curado se lleva acabo a temperatura ambiente en el laboratorio, durante 28 días.

Cálculos

$$f_{pi} = \frac{F_i}{A_i} \text{ en } \frac{N}{mm^2} \quad (26)$$

Donde:

F_{pi} es la tensión de precompresiva de una muestra individual, en Newton por milímetros cuadrados (N/mm^2).

F_{pi} es la fuerza precompresiva, en Newton (N)

A_i es el área en las secciones paralelas a la unión del espécimen donde se unen con mortero (mm^2).

8.5.- Resistencia a la compresión simple de especímenes de corazones de roca intactos (ASTM D 2938 – 95).

La resistencia a compresión simple o resistencia uniaxial es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, determinada sobre una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio [González, 2002].

Objetivo:

Este método de prueba especifica el aparato, la instrumentación, y procedimientos para determinar la resistencia a compresión simple de especímenes de corazones de roca intactos.

Equipo:

- Extractora de corazones (ver figura N°50)
- Dispositivo de carga
- Muestra. El espécimen se escogerá de los núcleos que represente un promedio válido del tipo de la roca en consideración. Esto puede lograrse por observaciones visuales mineral constitutivo, tamaños de grano y forma, partidas y defectos tal como poros y fisuras, o por otros métodos tal como ultrasonido medidas de velocidad.

Preparan los especímenes de prueba de acuerdo con práctica D 4543 (El espécimen tendrá una proporción de longitud a diámetro (L/D) de 2.0 a 2.5 y un diámetro de no menos de 1 7/8 in (47mm).

La condición de humedad del espécimen en tiempo de prueba puede tener un efecto significativo sobre la deformación de la roca. Las pruebas a los especímenes deben ser hechas en el laboratorio con las condiciones de campo. Así, la condición de humedad de campo debería ser conservado hasta el tiempo de la prueba. Por otra parte, se podrían estar probando los especímenes con otra humedad inclusive cero. En cualquier caso, adopte el contenido de humedad del espécimen de prueba e informe de acuerdo a lo siguiente: si el contenido de humedad del espécimen debe ser determinado, seguir los Procedimientos con el método de prueba D2216.

Si la condición de humedad debe ser mantenida, y el recinto de temperaturas no está equipado con control de humedad, selle el espécimen usando una membrana flexible o aplique un plástico o caucho de silicona que cubre a los lados de espécimen.



Figura N°50. Equipo de extracción de corazones (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Procedimiento:

- 1.- Se coloca la muestra en el dispositivo de carga acercando las platinas a la muestra.
- 2.- Aplicar la carga de tal manera que sea constante.
- 3.- Registrar la carga máxima que alcanzo el espécimen.

Cálculos:

Calcule la fuerza compresiva del espécimen de prueba con la carga compresiva máxima y coloque el área de la seccional transversal como sigue:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (27)$$

Donde:

σ = Compresión simple

P = Carga máxima

A= Área de la sección transversal

9.- PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Los métodos no destructivos son procedimientos y ensayos bien determinados los cuales nos arrojan parámetros de los materiales sin la necesidad de destruir los especímenes, lo cual facilita y reduce los costos en la determinación de estos parámetros.

9.1.- Resistividad eléctrica

La prueba se realiza para roca tal como se describe para conocer la resistividad en el concreto, las rocas se dejan saturando en el agua y posteriormente se sacan cubriendo con una franela húmeda antes de iniciar la prueba tanto en los corazones como en los cubos. Las mediciones correspondientes a esta prueba se realizaron con un equipo Resistómetro que mide resistividad eléctrica marca Nilsson (ver figura N°51).



Figura N°51. Equipo de resistividad, en la imagen se observa cómo se realiza la resistividad de la muestra C1 (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Objetivo

El objetivo de este ensayo es la determinación de la Resistividad Eléctrica del concreto en campo o en el laboratorio.

Materiales y equipos:

- Equipo para la toma de núcleos cilíndricos
- Medidor de resistividad eléctrica, método de Wenner cuatro electrodos tipo pines.
- Equipo para medir dimensiones con precisión de décimas.
- Esponjas húmedas.
- Dos placas de cobre.

Procedimiento:

- 1.- Tomar las dimensiones de la muestra (área, diámetro y longitud).
- 2.- Montaje de la muestra.
- 3.- Se colocan las caras laterales del cilindro entre dos placas de cobre y entre éstas esponjas húmedas.
- 4.- Mediante la fuente y a través de las placas metálicas adosadas a las caras laterales del espécimen, se somete el cilindro a una corriente dada, (I) y voltaje (E).
- 5.- La resistencia eléctrica (R) se calcula como E/I y se expresa en Ohmios (Lo hace el equipo automáticamente).

Cálculos:

$$\rho = R_e \left(\frac{A}{L} \right) \quad (28)$$

Dónde:

ρ = Resistividad eléctrica en $K\Omega$ -cm (ohm-m)

R_e = Resistencia eléctrica que el equipo proporciona, en $K\Omega$

A = Área transversal del espécimen en cm^2

L = Longitud del espécimen en cm

9.2.- Velocidad de pulso ultrasónico (ASTM C597-02)**9.2.1.- Fundamentos del método.**

Al aplicar un esfuerzo mecánico de forma súbita un sólido se produce en este una deformación que se va transmitiendo por su seno, dependiendo de la naturaleza del esfuerzo aplicado y las características intrínsecas del sólido. Este fenómeno físico se representa gráficamente mediante las vibraciones que, durante el tránsito de la deformación, sufren las partículas del sólido. Según los principios de la física teórica, cuando tal esfuerzo se aplica a un cuerpo continuo, homogéneo, isótropo y sin límites, tiene lugar el tránsito de una deformación perfectamente elástica y la vibración de sus partículas responde a movimientos oscilatorios periódicos. Desgraciadamente los materiales rocoso carecen de todas las circunstancias teóricas anteriores; por las especiales circunstancias de su historial geológico, las piedras como materiales están repletas de discontinuidades, son

marcadamente heterogéneas, presentan anisotropías variables en función de la escala de observación y, desde luego, muestran límites geométricos [Montoto, 1994].

En consecuencia, a medida que la deformación progrese por la roca irá modificándose en función de sus características petrofísicas: carácter elástico/inelástico, reflejado en su estado de alteración y presencia de discontinuidades (poros y fisuras), grado de anisotropía, etc. Recíprocamente, del análisis de tal deformación podrán deducirse algunas características petrofísicas de la roca [Esbert, et. al. 1997].

Por consiguiente, está plenamente justificada la aplicación de este principio físico a materiales de edificación y no debe resultar extraño que la medición de parámetros relacionados con la propagación de ondas elásticas, a través de éstos, constituya uno de los métodos más habituales para su caracterización física [Esbert, et. al. 1997].

Las técnicas basadas en este fenómeno se engloban normalmente bajo la denominación de procedimientos ultrasónicos, y su interpretación se realiza a partir del análisis de las variaciones que experimentan dichas ondas durante su tránsito por el material [Esbert, et. al. 1997].

Uno de los procedimientos de medida, sin duda el más generalizado y sencillo, radica en generar instrumentalmente la deformación (onda elástica), la cual se inyecta en el medio rocoso, se recoge después de viajar por él y, finalmente, se procesa y se determinan algunos parámetros ultrasónicos [Esbert, et. al. 1997].

Otro procedimiento ultrasónico se basa en las ondas que genera de forma espontánea el propio medio rocoso cuando se encuentra sometido a tensiones: emisión acústica o actividad microsísmica. Esta técnica permite evaluar, in situ, el estado tensional de los materiales de edificación, o de rango de percepción del oído humano medio (el espectro audible se extiende desde unos 15 Hz hasta 20 kHz, a partir de esta frecuencia se habla de ultrasonidos). Existen dos tipos de ondas elásticas, las internas, es decir, aquellas que se propagan por el interior del material y las de superficie, cuya propagación se realiza sobre ésta, siendo su penetración no superior a una longitud de onda. Las más comúnmente

empleadas son las internas que, de acuerdo con la forma y dirección del movimiento de las partículas afectadas, se clasifican en:

- Ondas longitudinales, en las cuales la vibración de las partículas del medio se realiza en la dirección paralela al avance de la onda. Se conocen además como “ondas primarias” (P), por ser las primeras que se reciben al presentar mayor velocidad de propagación. En ocasiones se las denomina “ondas de compresión”, ya que su avance provoca zonas de compresión (concentración de partículas) y de descompresión. Se propagan tanto en sólidos como en fluidos [Esbert, et. al. 1997].
- Ondas transversales, en las que la vibración de las partículas se hace en dirección perpendicular a la de propagación de la onda. Se denominan también 'ondas secundarias' (S), por recibirse siempre después de las longitudinales, y “ondas de cizalla”, por provocar esfuerzos de este tipo en los materiales. Las ondas S sólo se propagan en sólidos [Esbert, et. al. 1997].

9.2.2.- Realización del método.

Se le hicieron las mediciones correspondientes a los corazones de roca de un diámetro de 6.93 cm y de longitud que difiere un espécimen de otro y cubos de roca de 5cm x 5cm, la preparación de los especímenes se realizó en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” mediante una extractora de corazones y una cortadora de roca respectivamente.

Cabe señalar que el equipo está diseñado para realizar pruebas al concreto, sin embargo en este caso se va utilizar en las rocas.

El equipo empleado para esta prueba fue una máquina dual para ensayos ultrasónicos y por rebote, con introducción automática de los resultados del esclerómetro, modelo 58-E0049/B, marca CONTROLS, medidor de velocidad de pulsos ultrasónicos; con una escala de frecuencia de 24 a 150kHz; impedancia de entrada del receptor de 1M; salida RS 232; cuenta con la posibilidad de conectar un osciloscopio; con una medición del tiempo de propagación de 0.1 a 1 999.9µs; velocidad de los impulsos con una selección de 1 a 10 por segundo; precisión 1µs; salida del transmisor hasta 1500V; funciona con baterías recargables internas; incluye un esclerómetro para ensayos en concreto con una energía de impacto de 2.207NM (Ver figura N° 52).

El equipo tiene dos transductores, un emisor y un receptor, estos transductores tienen que tener un buen contacto con la superficie a probar y para tal fin se emplea un medio conductor ó gel.



Figura N°52. Equipo de ultrasonido, determinando la V_p en la muestra T1 (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Procedimiento:

- 1.- Se aplicó el gel antibacterial en las caras planas del cilindro o en los transductores del equipo.
- 2.- En el menú del equipo se buscó el número de prueba en el que se guardaron los rebotes y se abrió el archivo para proceder a tomar las lecturas de velocidad de pulso.
- 3.- Se tomaron las lecturas de velocidad de pulso.

Cálculos:

$$v = \frac{d}{t} \quad (29)$$

Dónde:

v = Velocidad de pulso ultrasónico, km/s

d = Distancia entre transductores, mm

t = Tiempo de tránsito, μs

$$E = v^2 Q \frac{(1+v)(1-2v)}{(1-v)} \quad (30)$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad Dinámico, MN/m^2

v = Velocidad de pulso ultrasónico, km/s.

Q = Densidad del concreto, kg/m^3 .

Cabe señalar que se coloca en la formula la densidad de la roca que es nuestro caso de estudio.

9.3.- Frecuencias de resonancia (ASTM C215 -02).

Las frecuencias de resonancia fueron determinadas después de la velocidad de pulso, con un equipo E-meter C-4959 Mark II de James instrument del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.M.S.N.H. Cuenta con un oscilador que tiene 4 rangos de frecuencia cubriendo de 10Hz a 100kHz, dos controles de velocidad 10:1 y 50:1, y un display de medidor de frecuencia de 6 dígitos; un indicador de resonancia graduado de 0 a 100 con indicación en 70.7 para mediciones de ancho de banda, un amplificador de entrada con una sensibilidad de 1 mV, impedancia de entrada de 10M ohm, un acelerómetro tipo pick-up de 35Hz, cuenta con modo semiautomático de manejo con paradas automáticas en los picos de amplitud; un control de acelerómetro; opera en un rango de temperatura de 0 a 40°C; dimensiones de 14.6in x 7.5in x 10in, y es alimentado por 120/240V, 50-60Hz (ver Figura N°53)



Figura N°53. Equipo E-meter C-4959 Mark II (Fuente M. A. Navarrete Seras).

Procedimiento:

1.- Se llevó el control de voltaje de salida y ganancia de amplificador totalmente a la izquierda. Se colocó en 1seg, el output-input se llevó a output, se seleccionó el modo manual en el botón de manual-auto. Se prendió el instrumento y se dejó prendido 10min para alcanzar una estabilidad térmica.

2.- La frecuencia de resonancia fundamental longitudinal está en un punto nodal al centro del largo de un prisma o cilindro, por tanto el espécimen debe colocarse en el centro de apoyo de la tabla de pruebas en el punto nodal (ver figura N° 54). La muestra puede ser simplemente apoyada o sujeta por la barra de sujeción del equipo.



Figura N°54. Punto nodal al centro del largo de un cilindro en este caso se observa la muestra S1 perteneciente al banco El Colegio (Fuente M. A. Navarrete Seras).

3.- Se debe poner vaselina o un medio grasoso en los extremos de las barras de contacto del vibrador y acelerómetro. En esta investigación se usó grasa de calidad mecánica automotriz.

4.- Para que los extremos de los especímenes estén libres a la vibración en la dirección longitudinal es esencial que se cuente con un mínimo de restricción en dichos extremos. Ambas barras, la del vibrador y la del acelerómetro son libres a moverse en el montaje y es necesario solamente el movimiento de los apoyos del vibrador y del acelerómetro a lo largo de los rieles hasta que las barras hagan contacto con el centro de los extremos del espécimen. Los apoyos deben asegurarse usando el tornillo de sujeción.

5.- Se seleccionó el rango de frecuencia de interés, para especímenes de concreto éste estará generalmente en un rango de 1khz a 10khz dependiendo de las dimensiones del espécimen.

6.- Posteriormente se ajustó el control del voltaje de salida para una lectura de 4 volt y se aumentó ligeramente la ganancia del amplificador partiendo de cero.

7.- Comenzando del final de bajas frecuencias del rango se giró el control de frecuencia y al mismo tiempo se observó el medidor de ganancia. En la frecuencia fundamental de

resonancia, la vibración de los extremos del espécimen será presentada por un máximo indicado por un pico del medidor de ganancia.

Teniendo establecida la región de la resonancia fundamental, el botón del control fino puede ser ajustado hasta que el medidor de ganancia de entrada indique un pico absoluto, la frecuencia de resonancia es entonces indicada en el contador digital de frecuencia.

Cálculos:

$$E = 4n^2 l^2 \rho 10^{-12} \quad (31)$$

Dónde:

E = Módulo de Elasticidad Dinámico, MN.

n = Frecuencia de resonancia fundamental, Hz.

l = Longitud del espécimen, mm.

ρ = Densidad del espécimen, kg/m³.

10.- RESULTADOS

10.1.- % De Humedad Actual (ASTM C127-04).

Tabla 7. Resultados % De Humedad Actual (promedio de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).

% DE HUMEDAD ACTUAL					
BANCO	MEDIA ($\bar{x}$)	DESVIACIÓN(σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	0.22	0.53	-0.31	0.75	2.41
HURAMBA(H)	0.24	0.13	0.11	0.37	0.54
JOYITAS (J)	1.49	2.88	-1.39	4.37	1.93
COMANJA (CO)	1.06	2.33	-1.27	3.39	2.20
CUENEMBO(U)	0.15	0.15	0.00	0.30	1.00
TIGRE(T)	0.19	0.26	-0.07	0.45	1.37
MASKUTAN(K)	0.80	1.71	-0.91	2.51	2.14
MELÓN(M)	0.60	0.39	0.21	0.99	0.65
AGC(G)	2.99	9.47	-6.48	12.46	3.17
COLEGIO(S)	0.83	0.38	0.45	1.21	0.46

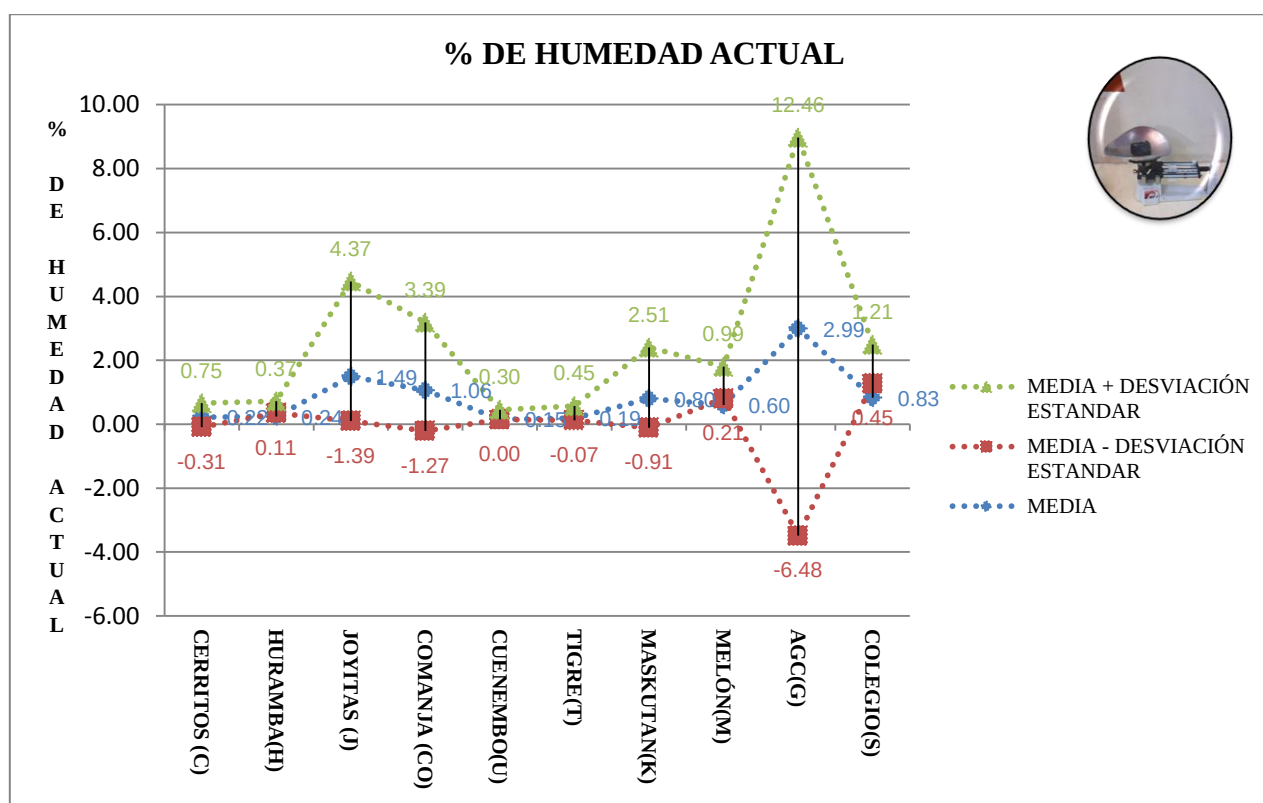


Figura N°55. Gráfica % De Humedad Actual (promedios de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).

Tabla 8. Resultados % De Humedad Actual (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).

% DE HUMEDAD ACTUAL					
BANCO	MEDIA ($\bar{x}$)	DESVIACIÓN(σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	0.15	0.07	0.08	0.23	0.48
HURAMBA(H)	0.29	0.12	0.17	0.41	0.42
JOYITAS (J)	0.68	0.71	-0.03	1.39	1.05
COMANJA (CO)	1.71	0.17	1.53	1.88	0.10
CUENEMBO(U)	0.23	0.09	0.14	0.32	0.38
TIGRE(T)	1.58	1.39	0.19	2.97	0.88
MASKUTAN(K)	0.27	0.19	0.08	0.46	0.70
MELÓN(M)	0.56	0.21	0.34	0.77	0.38
AGC(G)	2.02	0.47	1.55	2.49	0.23
COLEGIO(S)	0.86	0.87	-0.0007	1.73	1.00

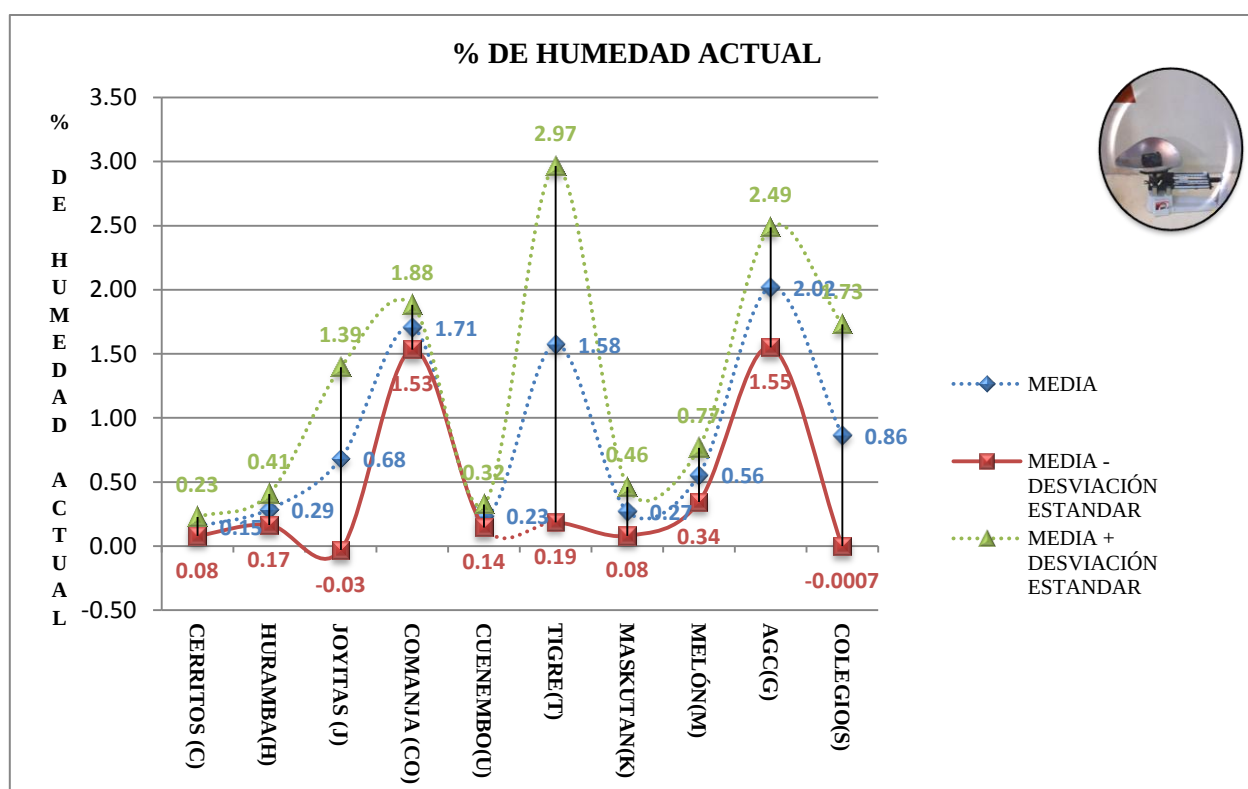


Figura N°56 .Gráfica % De Humedad (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).

Tabla 9. Resultados % De Humedad Actual (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).

% HUMEDAD ACTUAL					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN(σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	0.09	0.07	0.02	0.16	0.78
HURAMBA(H)	0.31	0.12	0.19	0.43	0.39
JOYITAS (J)	0.51	0.67	-0.16	1.17	1.32
COMANJA (CO)	1.71	0.15	1.56	1.86	0.09
CUENEMBO(U)	0.20	0.07	0.13	0.26	0.35
TIGRE(T)	2.06	1.24	0.82	3.31	0.60
MASKUTAN(K)	0.23	0.10	0.14	0.33	0.41
MELÓN(M)	0.42	0.15	0.26	0.57	0.37
AGC(G)	1.82	0.18	1.64	2.00	0.10
COLEGIO(S)	0.68	0.55	0.14	1.23	0.80

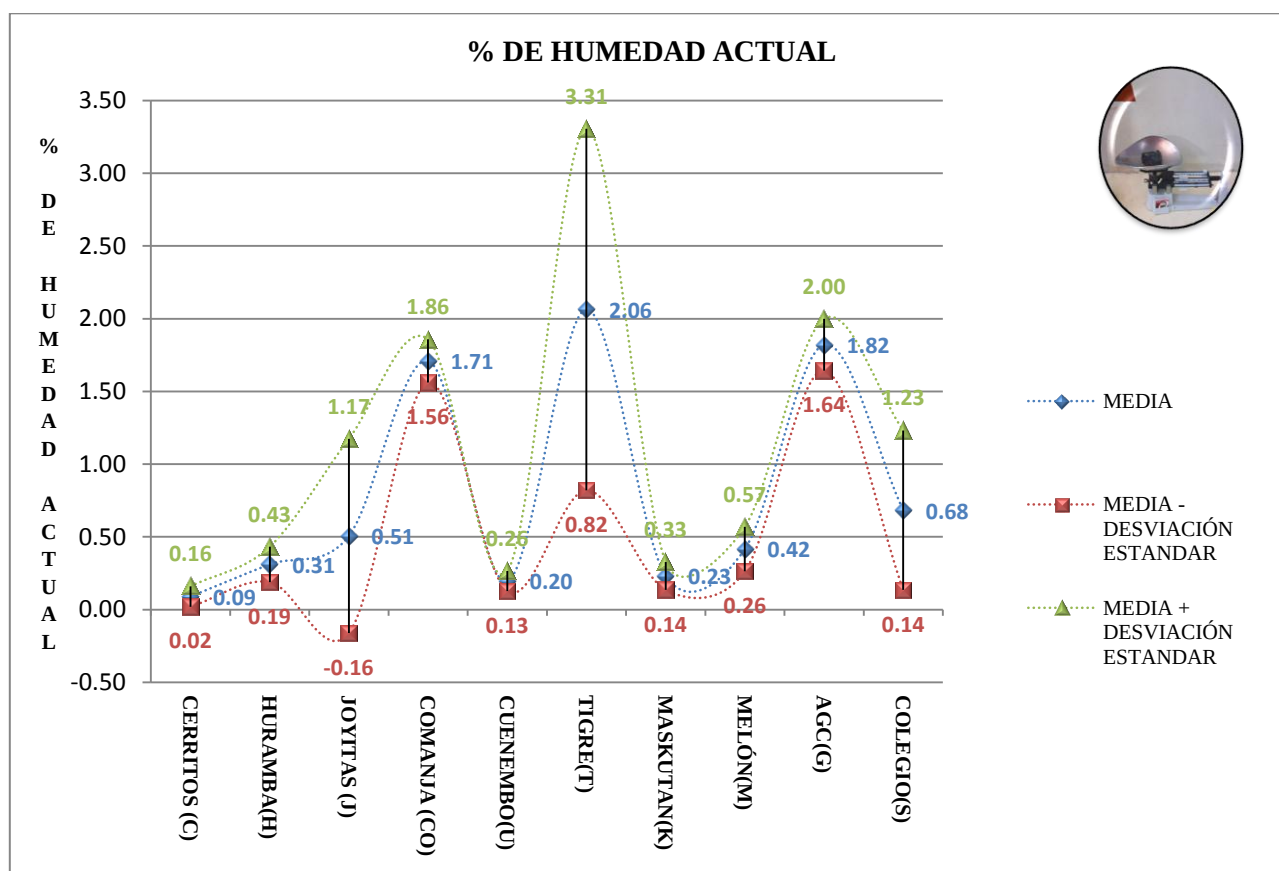


Figura N° 57. Gráfica % De Humedad Actual (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).

10.2.- % De Humedad de Absorción (ASTM C127-04).

Tabla 10. Resultados % De Humedad de Absorción (promedio de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).

% DE HUMEDAD DE ABSORCIÓN					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	5.00	9.64	-4.64	14.64	1.93
HURAMBA(H)	4.01	2.26	1.75	6.27	0.56
JOYITAS (J)	5.40	6.71	-1.31	12.11	1.24
COMANJA (CO)	5.08	3.54	1.54	8.62	0.70
CUENEMBO(U)	5.80	5.80	0.00	11.60	1.00
TIGRE(T)	5.90	3.47	2.43	9.37	0.59
MASKUTAN(K)	15.82	9.84	5.98	25.66	0.62
MELÓN(M)	15.00	10.18	4.82	25.18	0.68
AGC(G)	1.26	0.50	0.76	1.76	0.40
COLEGIO (S)	0.83	1.12	-0.29	1.95	1.35

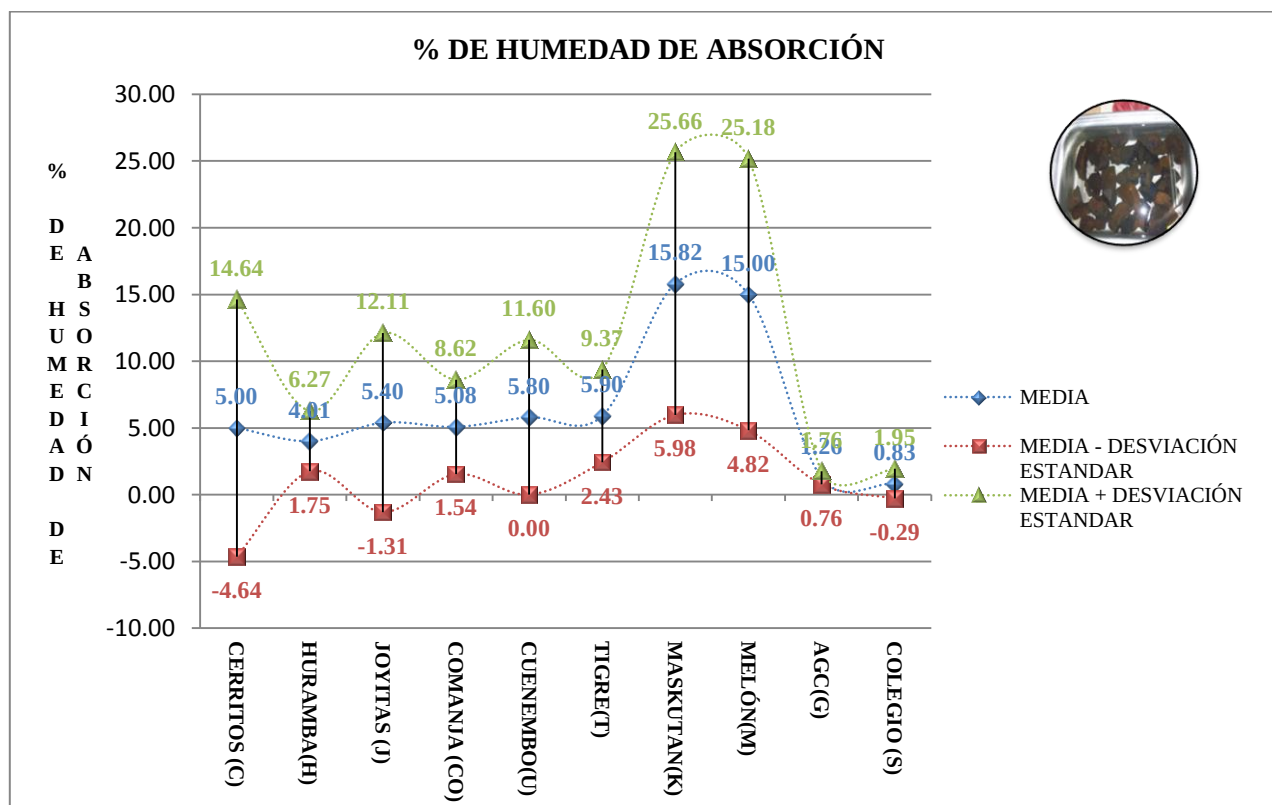


Figura N° 58. Gráfica % De Humedad de Absorción (promedios de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).

Tabla 11. Resultados % De Humedad de Absorción (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).

% DE HUMEDAD DE ABSORCIÓN					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	6.62	0.99	5.63	7.61	0.15
HURAMBA(H)	2.69	0.62	2.07	3.31	0.23
JOYITAS (J)	3.31	2.12	1.19	5.43	0.64
COMANJA (CO)	2.99	1.13	1.87	4.12	0.38
CUENEMBO(U)	5.15	1.08	4.08	6.23	0.21
TIGRE(T)	4.65	1.14	3.51	5.80	0.25
MASKUTAN(K)	9.42	5.73	3.69	15.14	0.61
MELÓN(M)	2.69	0.62	2.07	3.31	0.23
AGC(G)	1.39	0.22	1.29	1.72	0.15
COLEGIO (S)	0.88	0.41	0.47	1.29	0.46

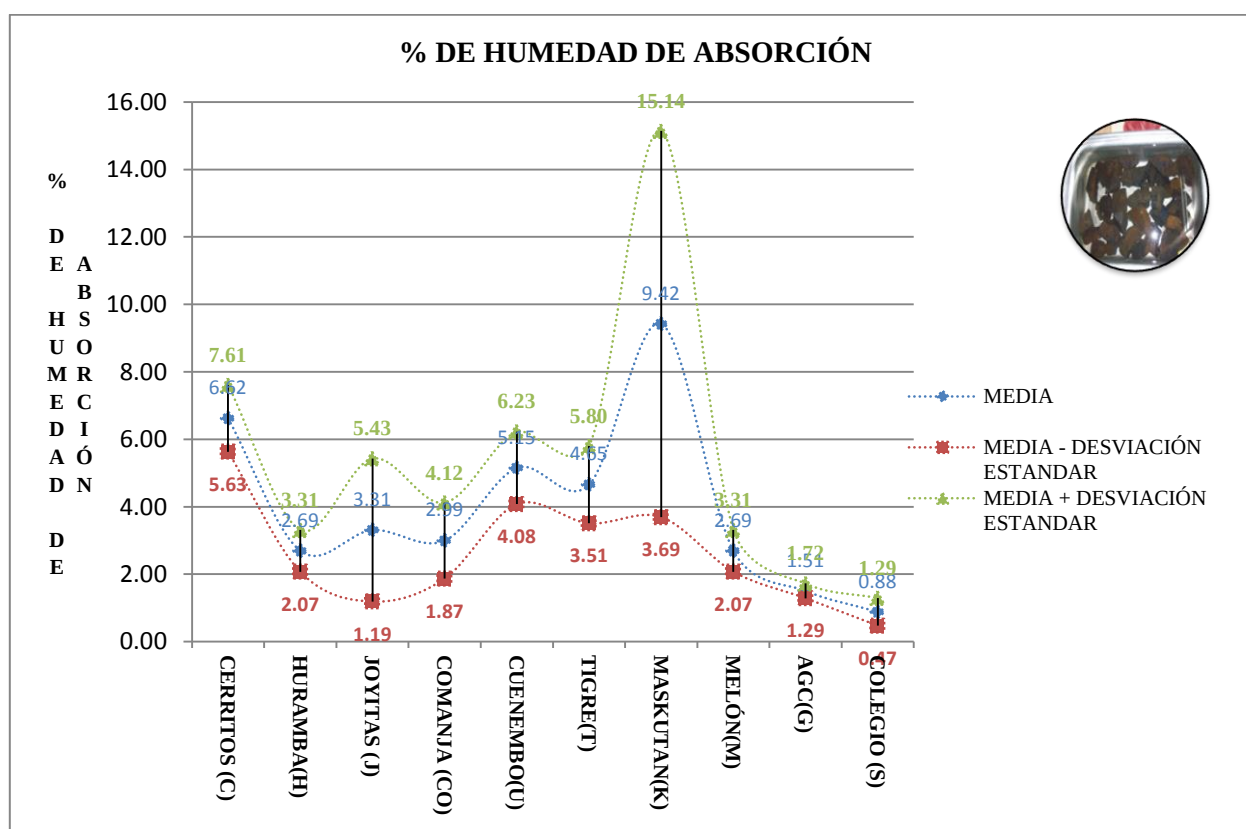


Figura N° 59. Gráfica % De Humedad de Absorción (promedio de 12 cubos labrados de roca por banco).

Tabla 12. Resultados % De Humedad de Absorción (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).

% DE HUMEDAD DE ABSORCIÓN					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	6.87	1.35	5.52	8.22	0.20
HURAMBA(H)	4.63	1.62	3.01	6.25	0.35
JOYITAS (J)	2.76	2.01	0.75	4.78	0.73
COMANJA (CO)	2.81	1.02	1.79	3.83	0.36
CUENEMBO(U)	7.87	1.93	5.94	9.80	0.24
TIGRE(T)	4.49	1.86	2.63	6.34	0.41
MASKUTAN(K)	9.25	4.35	4.90	13.60	0.47
MELÓN(M)	2.82	1.17	1.65	3.98	0.41
AGC(G)	1.86	0.52	1.34	2.38	0.28
COLEGIO (S)	1.00	0.30	0.69	1.30	0.30

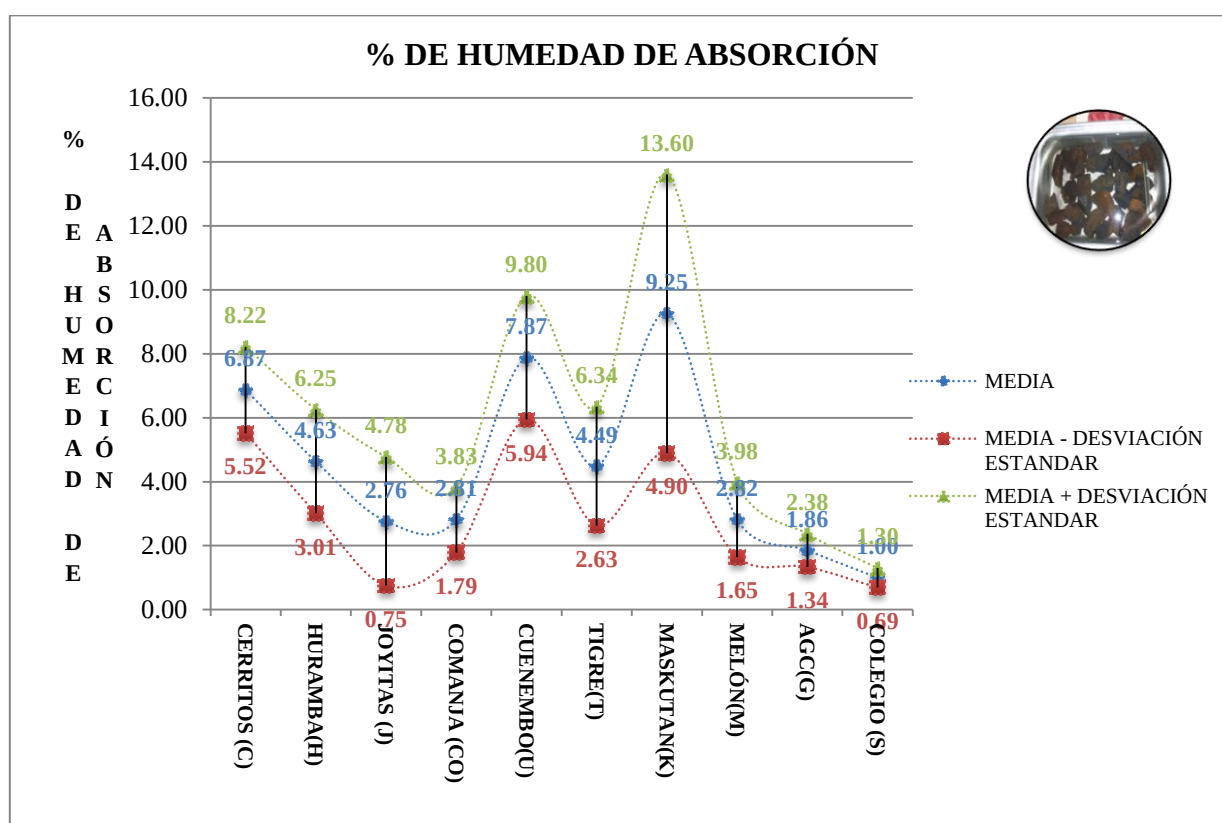


Figura N° 60. Gráfica % De Humedad de Absorción (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).

10.3.- Densidad por medio del picnómetro (ASTM C127-04).

Tabla 13. Resultados Densidad (g/cm^3) (promedio de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).

DENSIDAD (g/cm^3)					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	1.70	0.36	1.34	2.06	0.21
HURAMBA(H)	1.93	0.33	1.60	2.26	0.17
JOYITAS (J)	1.80	0.39	1.41	2.19	0.22
COMANJA (CO)	2.09	0.49	1.60	2.58	0.23
CUENEMBO(U)	2.00	0.45	1.55	2.45	0.23
TIGRE(T)	1.70	0.43	1.27	2.13	0.25
MASKUTAN(K)	1.49	0.32	1.17	1.81	0.21
MELÓN(M)	1.60	0.39	1.21	1.99	0.24
AGC(G)	2.64	0.09	2.55	2.73	0.03
COLEGIO(S)	2.61	0.23	2.38	2.84	0.09

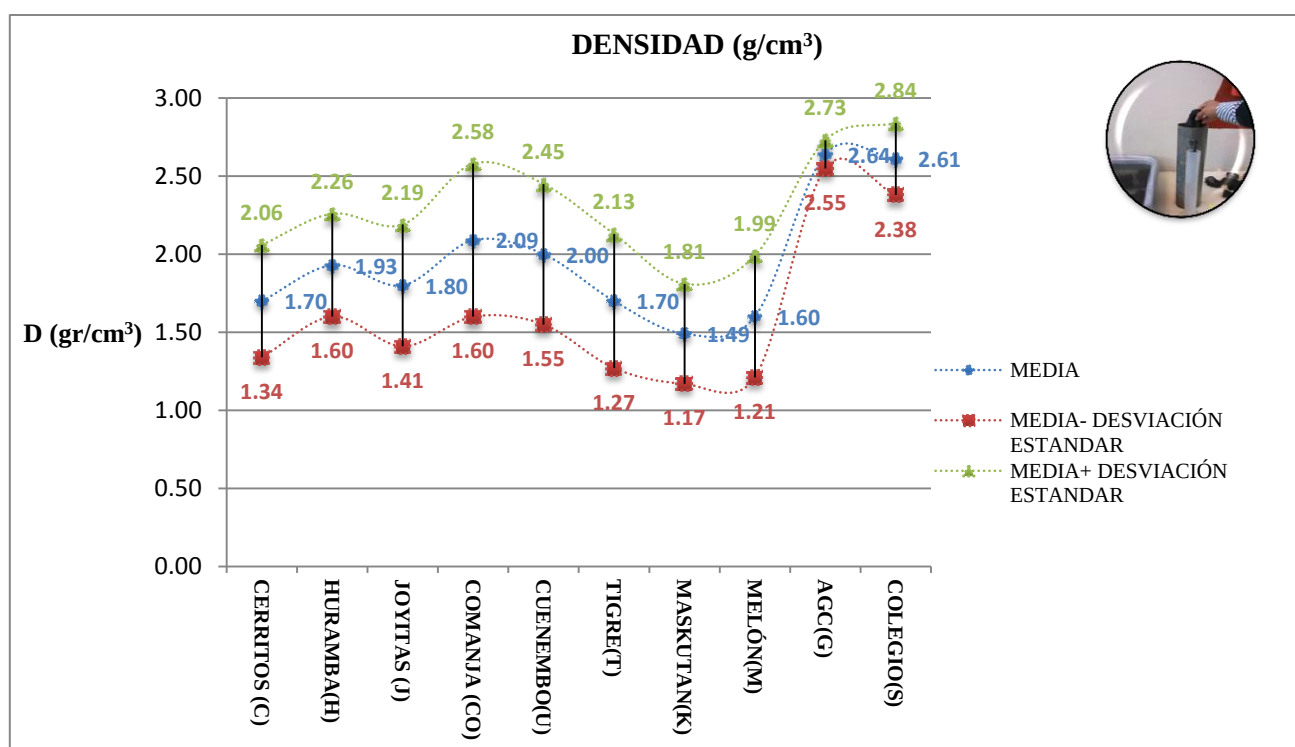


Figura N° 61. Gráfica de Densidad (g/cm^3) (promedios de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).

Tabla 14. Resultados de Densidad (g/cm^3) (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).

DENSIDAD (g/cm^3)					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	1.53	0.10	1.43	1.63	0.06
HURAMBA(H)	1.68	0.10	1.58	1.77	0.06
JOYITAS (J)	1.49	0.16	1.32	1.65	0.11
COMANJA (CO)	1.71	0.17	1.53	1.88	0.10
CUENEMBO(U)	1.72	0.14	1.57	1.86	0.08
TIGRE(T)	1.44	0.09	1.35	1.53	0.06
MASKUTAN(K)	1.58	0.29	1.29	1.88	0.19
MELÓN(M)	1.73	0.11	1.62	1.85	0.07
AGC(G)	2.51	0.06	2.46	2.57	0.02
COLEGIO(S)	2.62	0.05	2.57	2.67	0.02

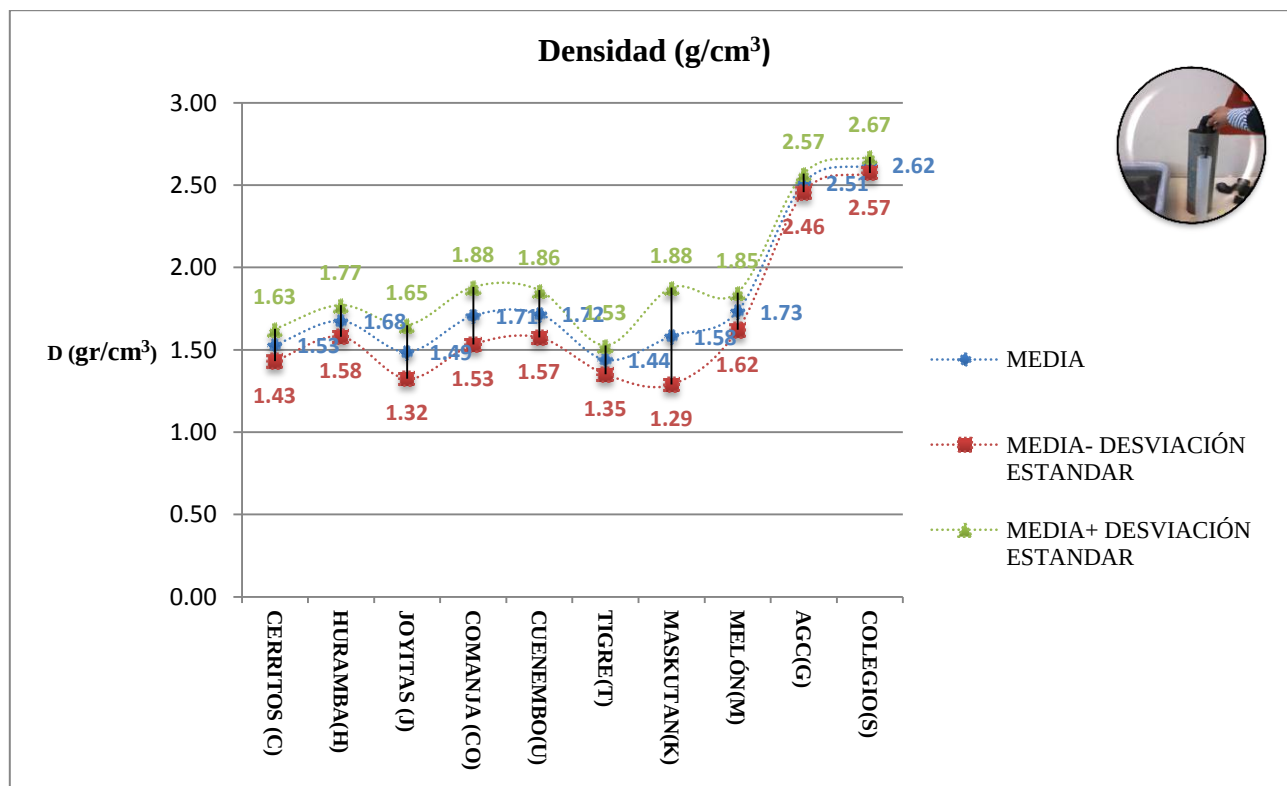


Figura N°62. Gráfica de Densidad (g/cm^3) (promedio de 12 cubos labrados de roca por banco).

Tabla 15. Resultados de Densidad (g/cm^3) (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).

DENSIDAD(g/cm^3)					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	1.45	0.08	1.36	1.53	0.06
HURAMBA(H)	1.70	0.12	1.58	1.81	0.07
JOYITAS (J)	1.60	0.19	1.41	1.78	0.12
COMANJA (CO)	1.71	0.15	1.56	1.86	0.09
CUENEMBO(U)	1.71	0.13	1.58	1.83	0.07
TIGRE(T)	1.46	0.14	1.32	1.60	0.09
MASKUTAN(K)	1.60	0.15	1.45	1.75	0.09
MELÓN(M)	1.77	0.11	1.66	1.88	0.06
AGC(G)	2.57	0.16	2.41	2.73	0.06
COLEGIO(S)	2.61	0.04	2.57	2.66	0.02

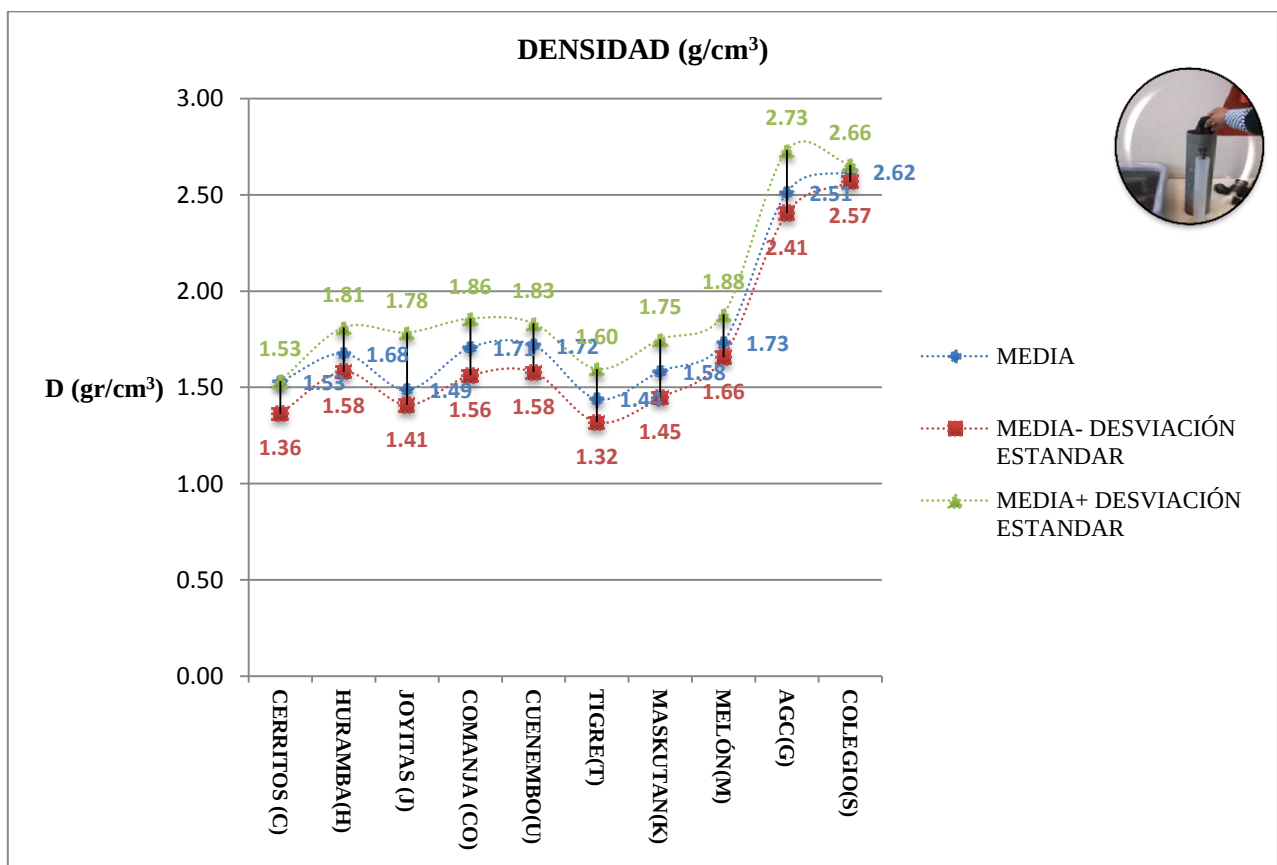


Figura N°63. Gráfica Densidad (g/cm^3) (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).

10.4.- Gravedad Específica (ASTM C127-04).

Tabla 16. Resultados Gravedad Específica (promedio de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).

GRAVEDAD ESPECÍFICA					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	1.70	0.36	1.34	2.06	0.21
HURAMBA(H)	1.70	0.32	1.38	2.02	0.19
JOYITAS (J)	1.80	0.62	1.18	2.42	0.34
COMANJA (CO)	1.91	0.31	1.60	2.22	0.16
CUENEMBO(U)	2.00	0.39	1.61	2.39	0.20
TIGRE(T)	1.70	0.46	1.24	2.16	0.27
MASKUTAN(K)	1.31	0.35	0.96	1.66	0.27
MELÓN(M)	1.50	0.49	1.01	1.99	0.33
AGC(G)	2.57	0.50	2.07	3.07	0.19
COLEGIO(S)	2.63	0.08	2.55	2.71	0.03

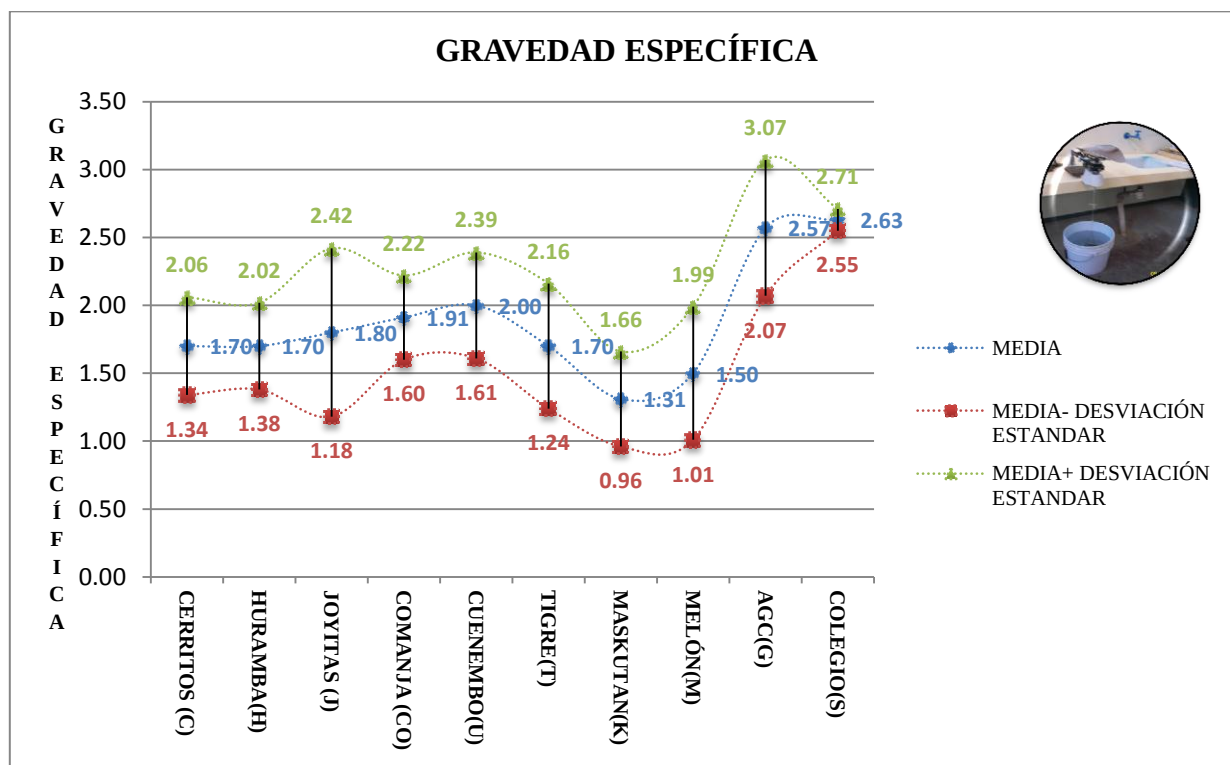


Figura N° 64. Gráfica de Gravedad Específica (promedios de 35 muestras de fragmentos irregulares por banco).

Tabla 17. Resultados de Gravedad de Específica (promedio de 12 cubos de roca labrados por banco).

GRAVEDAD ESPECÍFICA					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	1.46	0.09	1.37	1.55	0.06
HURAMBA(H)	1.63	0.11	1.52	1.74	0.07
JOYITAS (J)	1.45	0.17	1.28	1.62	0.12
COMANJA (CO)	1.61	0.16	1.45	1.78	0.10
CUENEMBO(U)	1.65	0.15	1.49	1.80	0.09
TIGRE(T)	1.35	0.11	1.24	1.46	0.08
MASKUTAN(K)	1.46	0.33	1.13	1.79	0.23
MELÓN(M)	1.73	0.11	1.62	1.84	0.06
AGC(G)	2.52	0.01	2.50	2.53	0.01
COLEGIO(S)	2.59	0.03	2.56	2.62	0.01

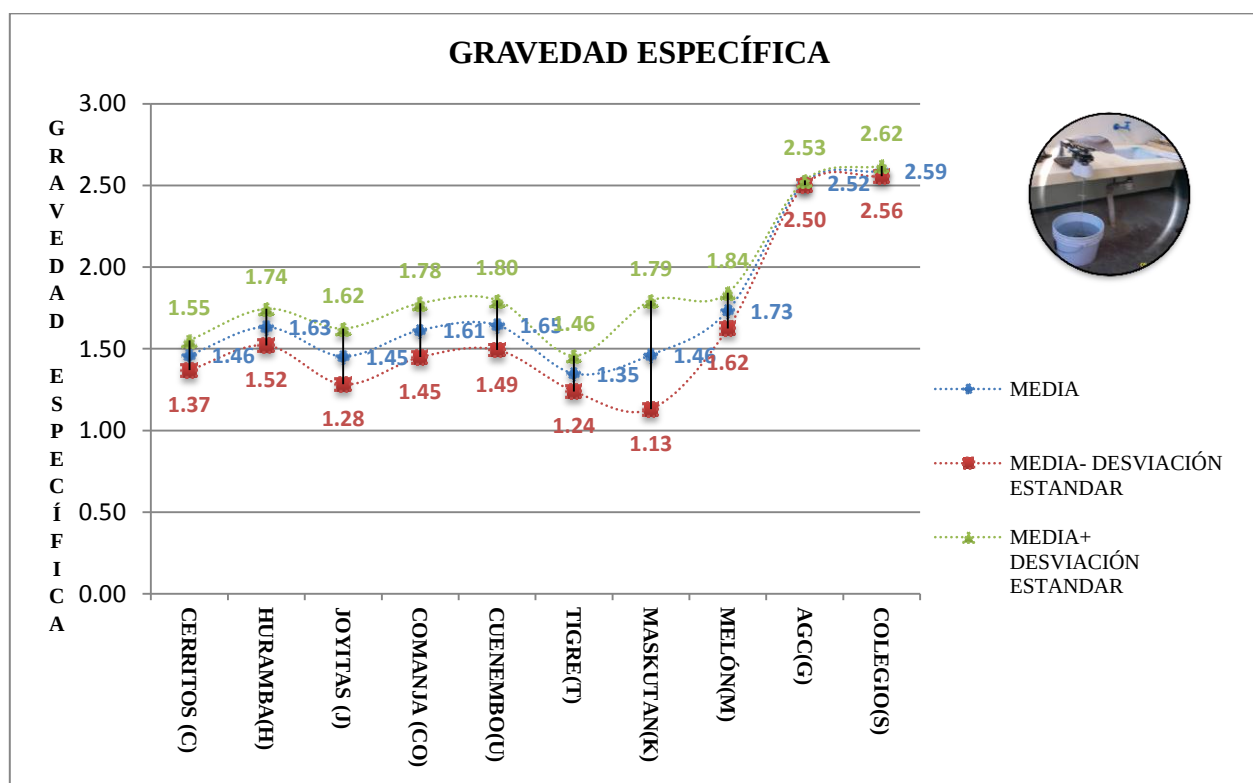


Figura N° 65. Gráfica de Gravedad Específica (promedio de 12 cubos labrados de roca por banco).

Tabla18. Resultados de Gravedad Específica (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).

GRAVEDAD ESPECÍFICA					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	1.47	0.13	1.34	1.59	0.09
HURAMBA(H)	1.71	0.30	1.41	2.01	0.18
JOYITAS (J)	1.58	0.21	1.37	1.79	0.13
COMANJA (CO)	1.65	0.13	1.52	1.78	0.08
CUENEMBO(U)	1.58	0.09	1.49	1.67	0.06
TIGRE(T)	1.42	0.19	1.23	1.61	0.13
MASKUTAN(K)	1.40	0.23	1.17	1.63	0.16
MELÓN(M)	1.75	0.13	1.62	1.87	0.07
AGC(G)	2.51	0.11	2.40	2.61	0.04
COLEGIO(S)	2.54	0.08	2.45	2.62	0.03

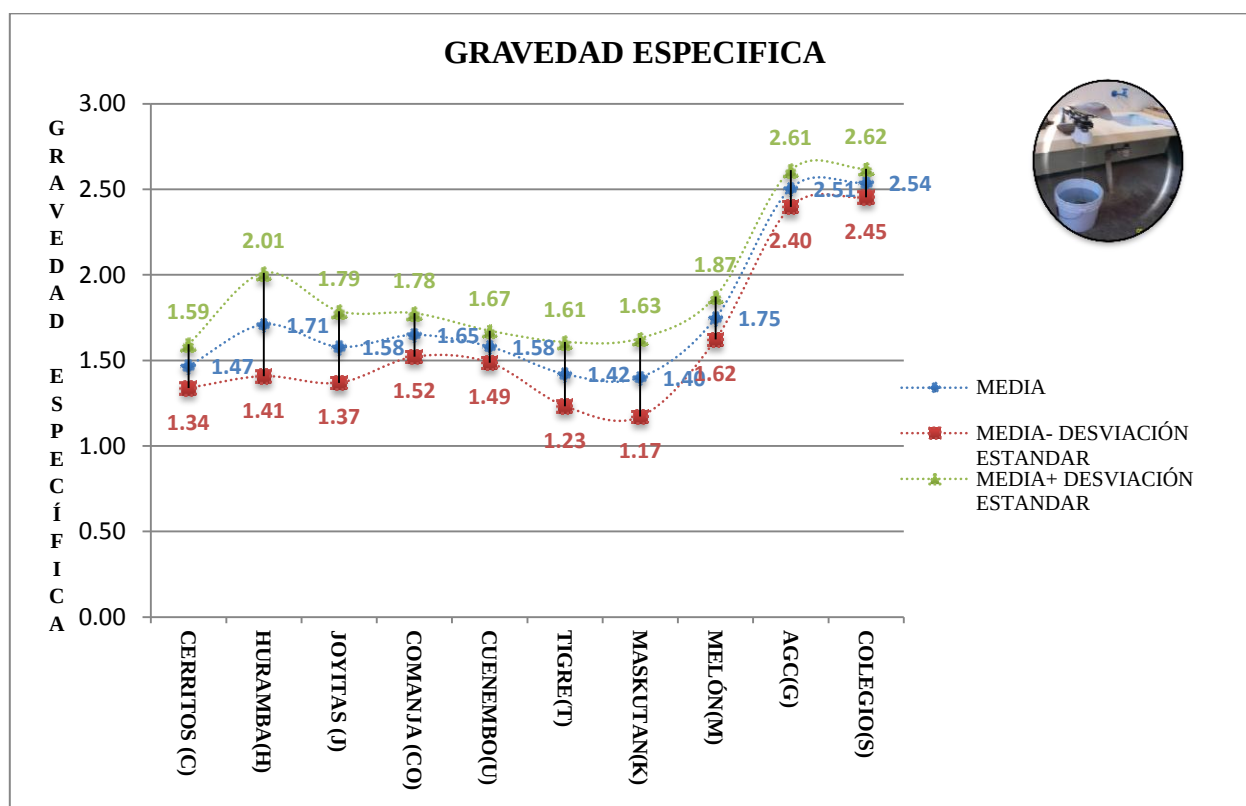


Figura N° 66. Gráfica de Gravedad Específica (promedio de 12 fragmentos irregulares por banco, obtenidos de las mismas rocas de donde se labraron los cubos).

10.5.- Ensayo de Absorción Capilar

Para evaluar el coeficiente de absorción capilar “K” para las diferentes muestras de cada banco se evaluará la pendiente de la región lineal de las gráficas, para ejemplificar el procedimiento para obtener “K” se describe el procedimiento para la muestra del colegio S2.

Como se observa en la gráfica la región lineal sólo se presenta a intervalos de tiempo cortos, para evaluar la pendiente se utilizará la siguiente fórmula que toma en cuenta la influencia de las diferentes pendientes “Si” en los sub-tramos L_i , que se encuentran en un tramo considerado L. La fórmula presenta una gran ventaja ya que se acerca más a la pendiente real de la gráfica, si sólo se considerara una pendiente aritmética; la pendiente que existe entre dos puntos extremos de los datos, no se tomaría la influencia de las pendientes intermedias entre dichos puntos.

$$S = \left[\frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{L_3}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$$

L = Longitud total.

L_i = Longitud del tramo i-ésimo considerado.

$\sqrt{S_i}$ = Pendiente del tramo i-ésimo considerado.

Tabla. Resumen de las pendientes de la región lineal de la muestra S2, obteniendo el coeficiente de succión capilar para la muestra.

Tabla 19 . Cálculo de la pendiente de la región lineal para calcular el coeficiente de Absorción Capilar del banco El Colegio de la muestra S2.

PENDIENTE	Si	$\sqrt{S_i}$	LONGITUD	L_i	LONGITUD TOTAL	$S(g/cm^2 s^{0.5})$	$S(g/m^2 s^{0.5})$
S1	0.00215	0.046	L1	17.32	103.92	0.0017	16.6561
S2	0.00518	0.072	L2	7.17			
S3	0.00000	0.000	L3	5.51			
S4	0.00120	0.035	L4	12.43			
S5	0.00063	0.025	L5	17.57			
S6	0.00060	0.024	L6	24.85			

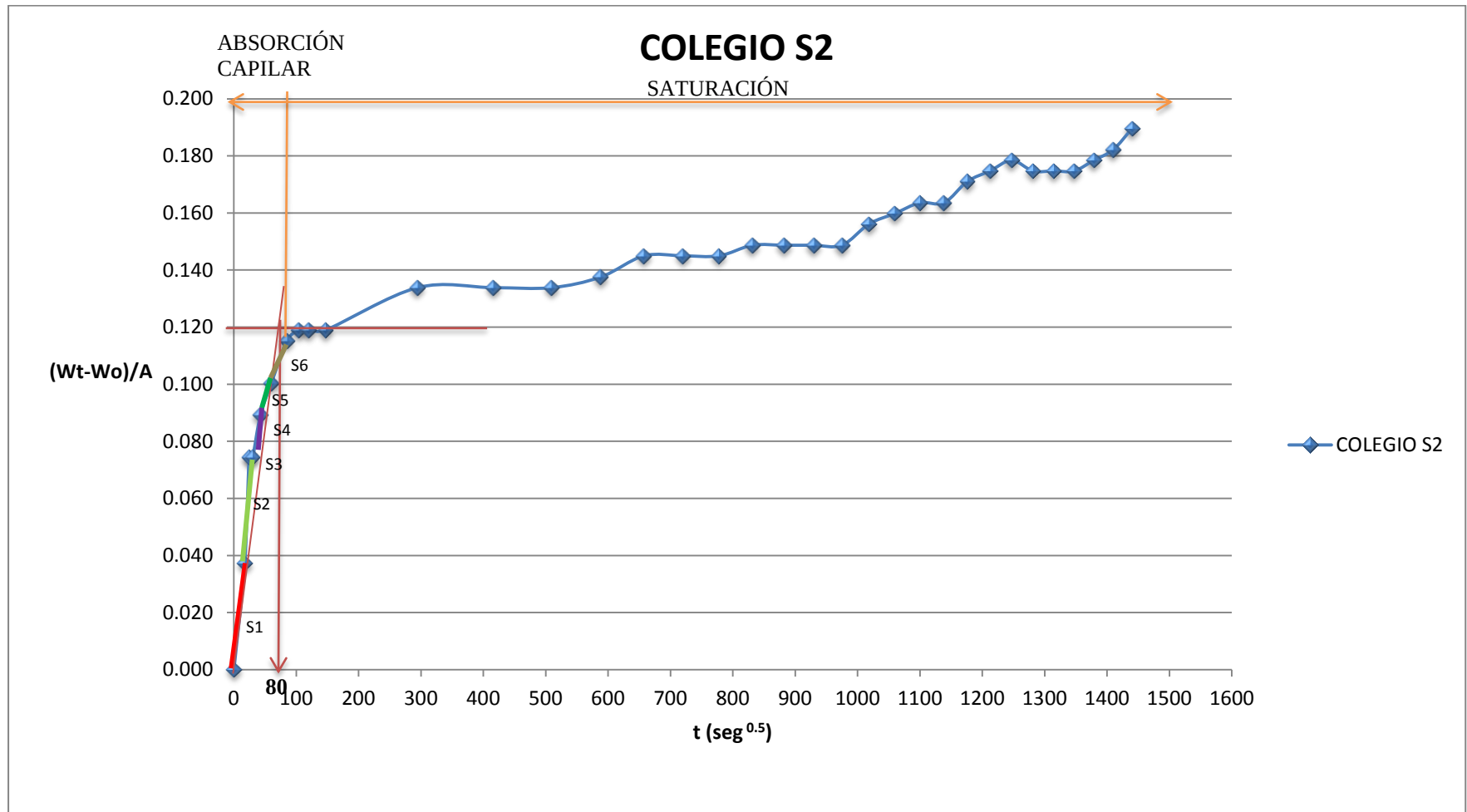


Figura N°67. Gráfica de las muestra el colegio (S2) para obtener el coeficiente de succión capilar, coeficiente de la resistencia a la penetración del agua (m) y el coeficiente de porosidad efectiva.

Tabla 20. Resultados de Absorción Capilar.

NOMBRE	N°	K(g/cm ² s ^{0.5})	PROM. K(g/cm ² s ^{0.5})	t(s ^{0.5})	t(s)	z(m)	z ² (m ²)	m (s/m ²)	PROM. m (s/m ²)	ε _e (%)	PROM.ε _e (%)	S(m/s ^{1/2})	PROM.S(m/s ^{0.5})
CERRITOS (C)	C1	0.370	0.213	40	1600	0.0509	0.0026	617567.48	1824981.40	29.10	22.07	0.001273	0.000991
	C2	0.147		42	1764	0.0509	0.0026	680868.15		12.14		0.001212	
	C3	0.122		103	10609	0.0504	0.0025	4176508.57		24.96		0.000489	
HUIRAMBA(H)	H1	0.147	0.190	60	3600	0.0523	0.0027	1316131.01	949553.86	16.89	17.69	0.000872	0.001065
	H2	0.249		40	1600	0.0513	0.0026	607974.34		19.42		0.001283	
	H3	0.174		50	2500	0.052	0.0027	924556.21		16.77		0.001040	
JOYITAS(J)	J1	0.039	0.029	1200	1440000	0.052	0.0027	532544378.70	607486896.15	90.47	71.73	0.000043	0.000041
	J2	0.020		1300	1690000	0.0508	0.0026	654876309.75		50.42		0.000039	
	J3	0.029		1260	1587600	0.05	0.0025	635040000.00		74.29		0.000040	
COMANJA(CO)	CO1	0.065	0.043	100	10000	0.05	0.0025	4000000.00	1660379.76	13.06	5.75	0.000500	0.001150
	CO2	0.040		30	900	0.0508	0.0026	348750.70		2.34		0.001693	
	CO3	0.023		40	1600	0.0503	0.0025	632388.57		1.86		0.001258	
CUENEMBO(U)	U1	0.343	0.337	40	1600	0.051	0.0026	615148.02	617581.82	26.86	26.49	0.001275	0.001273
	U2	0.360		40	1600	0.0507	0.0026	622449.42		28.36		0.001268	
	U3	0.309		40	1600	0.051	0.0026	615148.02		24.25		0.001275	
TIGRE(T)	T1	0.181	0.172	80	6400	0.0507	0.0026	2489797.67	1249858.57	28.62	18.32	0.000634	0.001051
	T2	0.175		40	1600	0.0503	0.0025	632388.57		13.88		0.001258	
	T3	0.159		40	1600	0.0505	0.0026	627389.47		12.46		0.001263	
MASKUTAN(K)	K1	0.215	0.156	45	2025	0.0503	0.0025	800366.79	595795.19	19.2047445	13.06	0.001118	0.001350
	K2	0.095		40	1600	0.0504	0.0025	629881.58		7.5219306		0.001260	
	K3	0.159		30	900	0.0502	0.0025	357137.19		12.4613724		0.001673	
MELÓN(M)	M1	0.020	0.076	30	900	0.0506	0.0026	351513.07	650043.17	1.1670972	6.27	0.001687	0.001320
	M2	0.050		50	2500	0.051	0.0026	961168.78		4.93725082		0.001020	
	M3	0.159		40	1600	0.0501	0.0025	637447.66		12.6946108		0.001253	
AGC(G)	G1	0.121	0.073	50	2500	0.0523	0.0027	913979.87	1866415.70	11.6126663	7.22	0.001046	0.000941
	G2	0.079		40	1600	0.0513	0.0026	607974.34		6.19163097		0.001283	
	G3	0.019		105	11025	0.052	0.0027	4077292.90		3.86701755		0.000495	
COLEGIO(S)	S1	0.083	0.121	720	518400	0.0519	0.0027	192455477.96	65751952.84	114.540184	52.80	0.000072	0.000454
	S2	0.198		80	6400	0.051	0.0026	2460592.08		31.1309856		0.000638	
	S3	0.083		80	6400	0.0523	0.0027	2339788.47		12.7424623		0.000654	

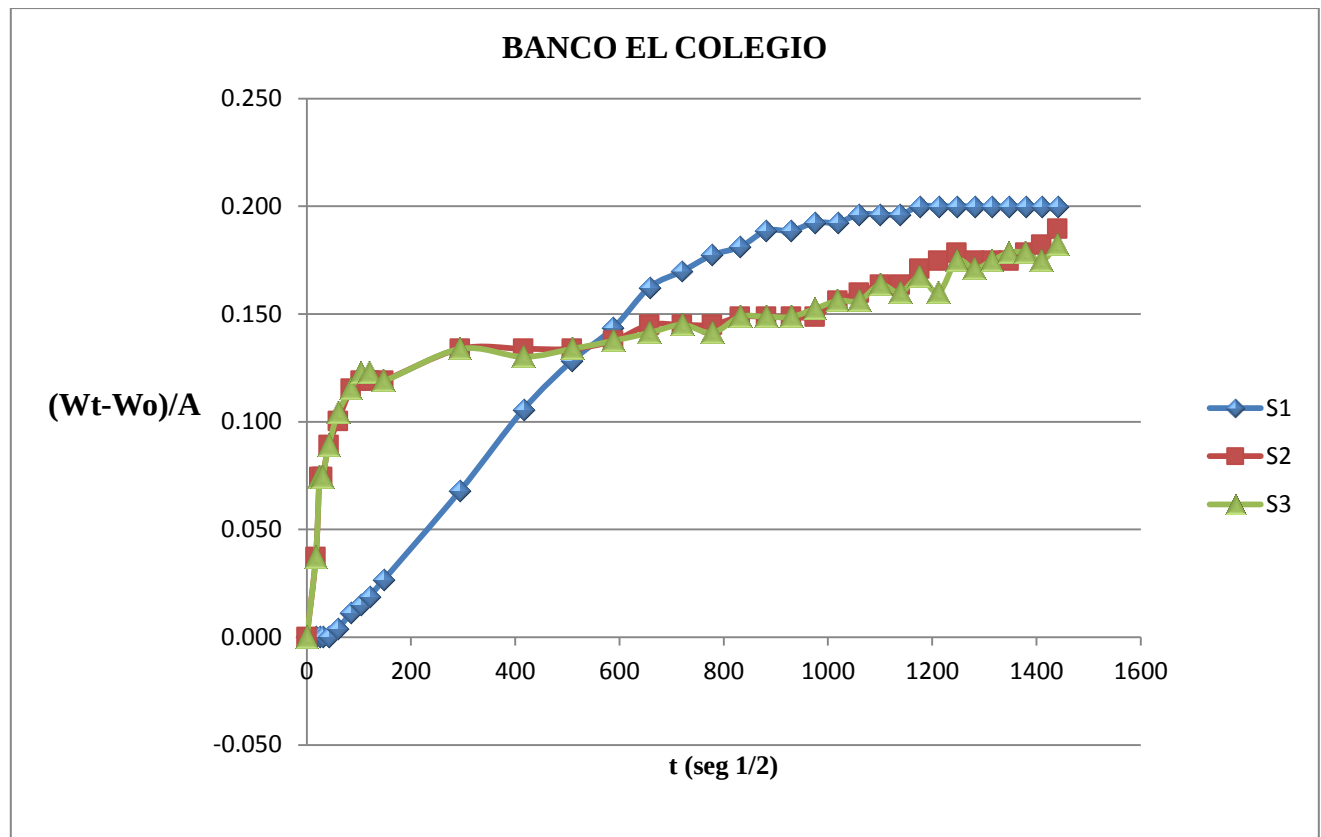


Figura N°68. Gráfica de las muestras el colegio (S1,S2,S3) para obtener el coeficiente de succión capilar.

Para obtener el valor del coeficiente de la resistencia a la penetración del agua (m) y el coeficiente de porosidad efectiva, se procede de la siguiente manera: se traza la pendiente en el gráfico de la región lineal, se toma el valor de la relación $(Wt-Wo)/A$, se traza una línea horizontal paralela al eje de los tiempos, el punto donde se interceptan las dos líneas es el tiempo que tardó el agua en ascender hasta la cara superior de la probeta, Figura.

Se les realizó la prueba de absorción capilar a treinta cubos en total, de cada uno de los bancos se les realizó la prueba a tres por banco y se obtuvieron las gráficas $(Wt-Wo)/A$ vs $\sqrt{t}$ de las cuales se obtuvieron los parámetros correspondientes. (ver figura)

Se realizaron los cálculos para cada uno de los bancos como se mostro anteriormente y sacando el promedio de tres cubos por banco obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 21. Promedio de tres cubos por banco.

NOMBRE	$K(g/m^2S^{0.5})$	$m (s/m^2)$	$\varepsilon e(\%)$	$S(m/s^{0.5})$
CERRITOS (C)	29.252	1824981.40	0.29	0.000991
HURAMBA(H)	51.786	949553.86	0.49	0.00106
JOYITAS (J)	1.750	607486896.15	0.43	0.000041
COMANJA (CO)	26.550	1660379.76	0.25	0.00115
CUENEMBO(U)	58.482	617581.82	0.46	0.00127
TIGRE(T)	18.436	445140.98	0.11	0.00154
MASKUTAN(K)	38.673	595795.19	0.31	0.00135
MELÓN(M)	30.301	486644.48	2.66	0.00147
AGC(G)	19.808	1866415.70	0.19	0.000941
COLEGIO (S)	9.100	65751952.84	0.23	0.000454

De acuerdo a la tabla anterior, el banco con mayor coeficiente de absorción capilar fue Cuenembo ($58.482g/m^2S^{0.5}$) y el de menor coeficiente de absorción capilar fue Joyitas ($1.750g/m^2S^{0.5}$) para bancos volcánicos, para bancos de triturados el banco AGC ($19.808g/m^2S^{0.5}$) obtuvo el mayor coeficiente de absorción capilar y el de menor coeficiente fue el Colegio ($9.100g/m^2S^{0.5}$), las siguientes graficas representan los resultados de absorción capilar.

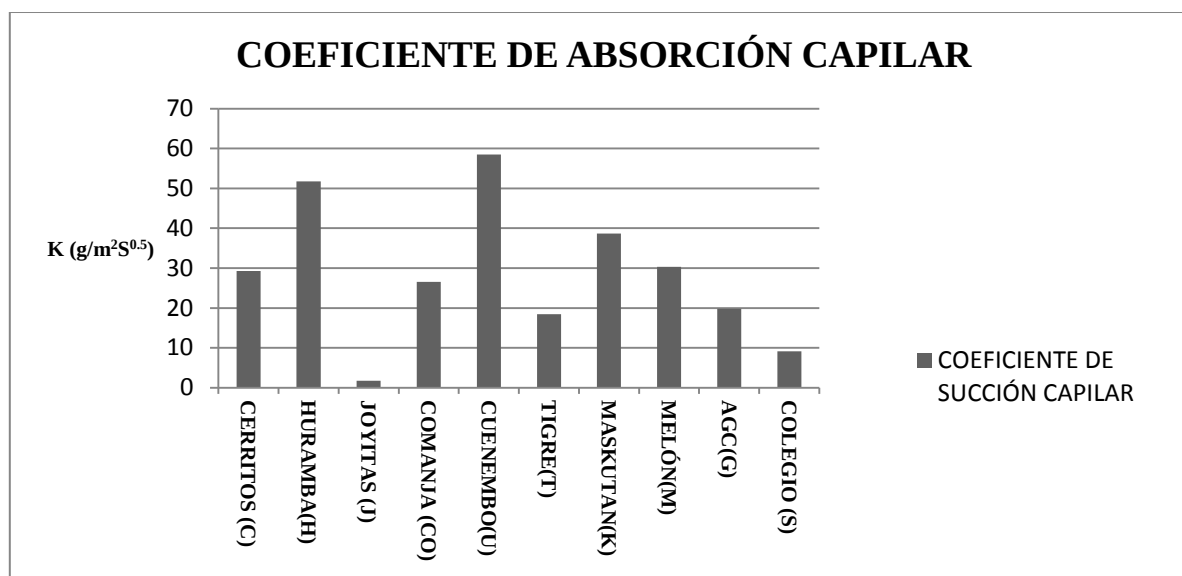


Figura N°69. Coeficiente de absorción capilar (K).

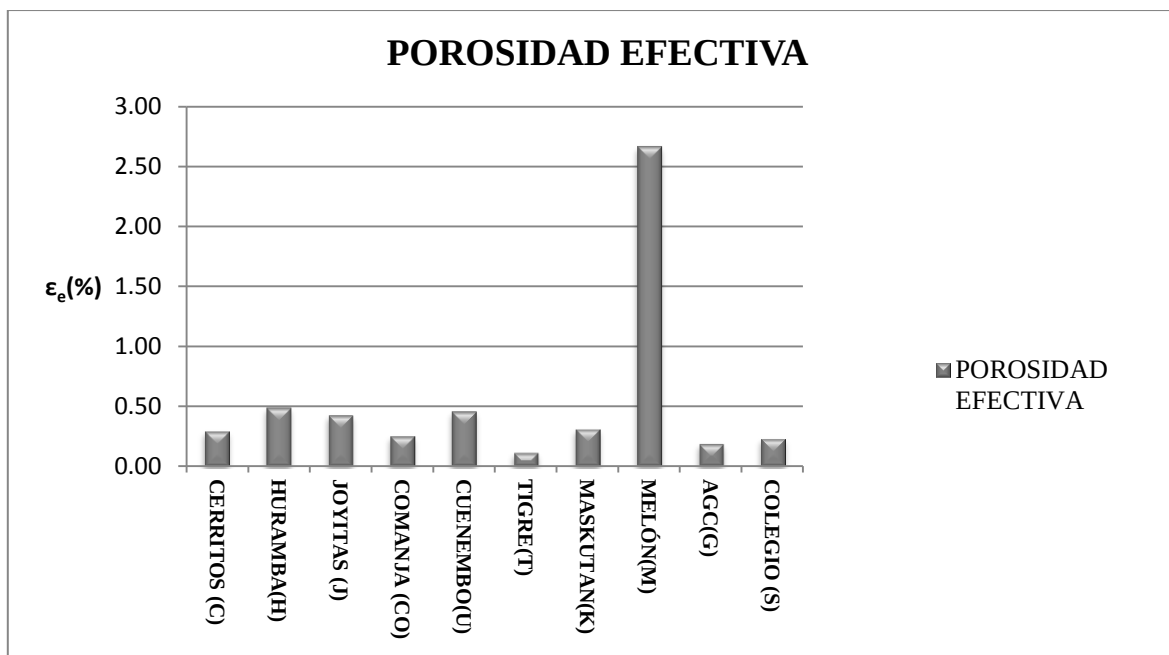


Figura N°70. Porosidad Efectiva (K).

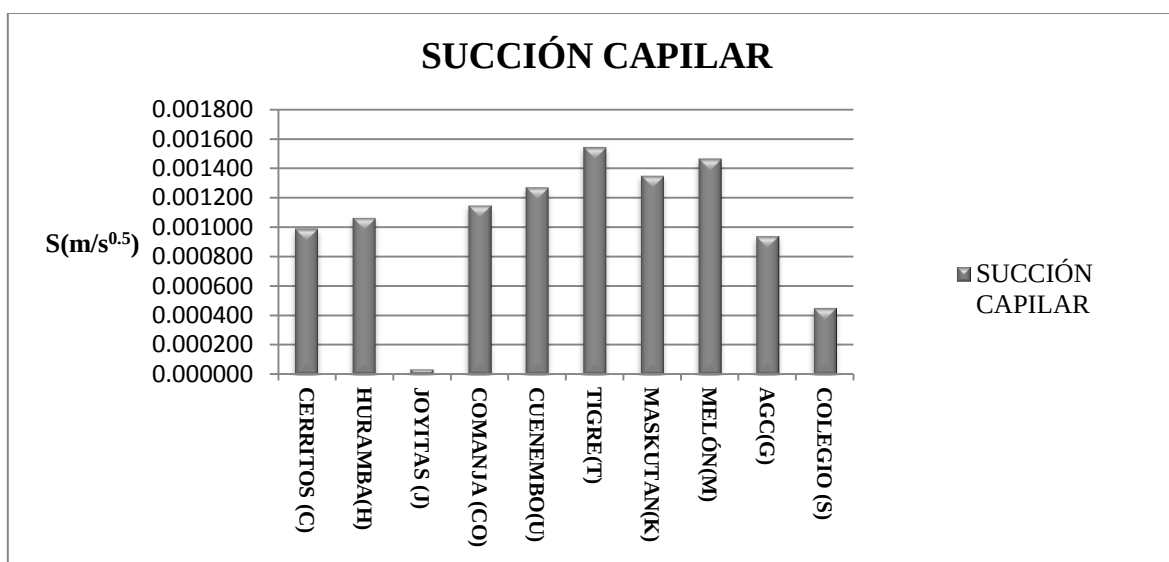


Figura N°71. Succión capilar (S).

La absorción de agua por capilaridad en la roca se cuantifica con el coeficiente de absorción capilar (K), los resultados se representan como el agua absorbida por unidad de superficie frente a la raíz cuadrada del tiempo. De esta representación como se observa en la gráfica se presentan dos etapas que producen en la absorción capilar, la primera se produce la entrada del agua al sistema poroso de la roca por capilaridad y la segunda parte de la curva representa la saturación de la muestra.

10.6.- TÉCNICAS ANÁLITICAS APLICADAS A LOS AGREGADOS PÉTREOS.

Las siguientes graficas muestran los resultados de: EDS de Rx del MEB (EnergyDispersiveSpectrum de Rx del Microscopio, Electrónico de Barrido), Difracción de Rayos X (DRx), Fluorescencia de Rayos X (FRx).

Tabla 22. Resultados EDS, FRx, DFx, del banco de materiales Cerritos (C).

BANCO CERRITOS						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP. TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	82.64039314				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	1.57714097	Na ₂ O	Na ₂ O	3.92	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	1.79794711	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	16.9	MONTMORILLONITA(Al ₄ Si ₈ O ₂₀ (OH) ₄)
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	7.72732111	SiO ₂	SiO ₂	56.1	
POTASIO(K)	POTASIO (K)	1.10547567	K ₂ O	K ₂ O	1.58	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	1.25987580	CaO	CaO	5.48	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0.40077767	TiO ₂	TiO ₂	1.11	
	IRON (FERRUM (Fe))	3.33230910	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	7.31	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	0.15775944	MgO	MgO	3.84	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0				
CARBONO (C)	CARBON (C)	0	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.39	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.11	
AZUFRE (S)				SO ₃		
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	0.49	

Tabla 23. Resultados EDS, FRx, DFx, del banco de materiales Huiramba (H).

BANCO HUIRAMBA						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP. TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	49.94560267				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	2.984044059	Na ₂ O	Na ₂ O	4.02	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	4.681012328	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	15.6	OLIVINO (MgFe) ₂ SiO ₄
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	12.59177784	SiO ₂	SiO ₂	51.1	PALYGORSKITE
POTASIO(K)	POTASIO (K)	1.088107597	K ₂ O	K ₂ O	1.61	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	2.830573813	CaO	CaO	6.7	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0.386666335	TiO ₂	TiO ₂	1.02	
	IRON (FERRUM (Fe))	3.524456599	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	7.71	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	0.461116205	MgO	MgO	7.04	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0				
CARBONO (C)	CARBON (C)	0	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.52	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.12	
AZUFRE (S)				SO ₃		
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	0.13	

Tabla 24. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales Joyitas (J).

BANCO JOYITAS						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP. TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	49.2611171				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	2.146081435	Na ₂ O	Na ₂ O	3.64	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	4.014212452	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	17	MAGHEMITE
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	12.54478795	SiO ₂	SiO ₂	59.7	
POTASIO(K)	POTASIO (K)	0.989672255	K ₂ O	K ₂ O	1.65	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	2.57295873	CaO	CaO	5.26	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0.31102172	TiO ₂	TiO ₂	0.78	
	IRON (FERRUM (Fe))	3.117198557	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	5.91	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	0.17073016	MgO	MgO	3.43	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0.001				
CARBONO (C)	CARBON (C)	0	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.22	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.09	
AZUFRE (S)				SO ₃		
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	0.55	

Tabla 25. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales Comanja (CO).

BANCO COMANJA						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP.TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	82.56896032				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	0	Na ₂ O	Na ₂ O	4.15	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	2.734780463	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	15.9	OLIGOCLASA
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	7.833805296	SiO ₂	SiO ₂	51.8	
POTASIO(K)	POTASIO (K)	0.721245398	K ₂ O	K ₂ O	1.61	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	2.636502825	CaO	CaO	6.72	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0.354149503	TiO ₂	TiO ₂	1.03	
	IRON (FERRUM (Fe))	3.075073644	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	7.9	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	0.074482551	MgO	MgO	7.29	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0				
CARBONO (C)	CARBON (C)	0	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.53	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.12	
AZUFRE (S)				SO ₃		
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	0.21	

Tabla 26. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales Cuenembo (U).

BANCO CUENEMBO						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP. TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	49.36498902				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	2.502277424	Na ₂ O	Na ₂ O	3.93	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	5.257768392	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	16.6	
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	14.97004188	SiO ₂	SiO ₂	54.4	
POTASIO(K)	POTASIO (K)	0.947529211	K ₂ O	K ₂ O	1.61	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	3.245507706	CaO	CaO	6.04	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0.3663166	TiO ₂	TiO ₂	0.95	
	IRON (FERRUM (Fe))	3.527494359	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	7.15	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	0.627052315	MgO	MgO	5.47	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0				
CARBONO (C)	CARBON (C)	0	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.37	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.12	
AZUFRE (S)				SO ₃		
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	0.24	

Tabla 27. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales El Tigre (T).

BANCO EL TIGRE						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP. TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	48.31655746				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	1.942683887	Na ₂ O	Na ₂ O	3.99	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	3.268743194	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	17.9	
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	11.41273879	SiO ₂	SiO ₂	59	
POTASIO(K)	POTASIO (K)	1.090356577	K ₂ O	K ₂ O	1.48	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	2.260682421	CaO	CaO	5.19	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0.289455886	TiO ₂	TiO ₂	0.95	
	IRON (FERRUM (Fe))	4.465067582	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	6.65	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	0.344845823	MgO	MgO	3.43	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0.001				
CARBONO (C)	CARBON (C)	0	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.26	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.1	
AZUFRE (S)				SO ₃		
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	0.01	

Tabla 28. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales Maskutan (K).

BANCO MASKUTAN						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP. TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	51.10270428				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	2.476376778	Na ₂ O	Na ₂ O	3.74	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	2.937374941	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	17.9	CRONSTEDTITE
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	2.937374941	SiO ₂	SiO ₂	53.2	
POTASIO(K)	POTASIO (K)	0.407873635	K ₂ O	K ₂ O	1.16	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	2.365194858	CaO	CaO	6.6	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0.469164218	TiO ₂	TiO ₂	1.33	
	IRON (FERRUM (Fe))	3.611810844	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	8.49	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	2.951493894	MgO	MgO	5.09	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0				
CARBONO (C)	CARBON (C)	3.066167793	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.32	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.13	
AZUFRE (S)				SO ₃	0.03	
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	0.6	

Tabla 29. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales El Melón (M).

BANCO EL MELÓN						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP.TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	51.17817705				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	2.307739177	Na ₂ O	Na ₂ O	3.98	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	3.786402036	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	16.6	OLIGOCLASA
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	11.08446066	SiO ₂	SiO ₂	51.3	GOETHITE
POTASIO(K)	POTASIO (K)	0.976907444	K ₂ O	K ₂ O	1.7	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	1.95998444	CaO	CaO	5.64	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0.558859196	TiO ₂	TiO ₂	1.78	
	IRON (FERRUM (Fe))	3.642204089	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	9.57	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	0.741696439	MgO	MgO	4.18	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0.169178448				
CARBONO (C)	CARBON (C)	0	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.59	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.15	
AZUFRE (S)				SO ₃	0.03	
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	1.23	

Tabla 30. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales AGC (G).

BANCO AGC						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP. TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	49.97264106				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	1.935362056	Na ₂ O	Na ₂ O	3.07	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	3.418526637	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	17.2	AUGITA ((CaMgFeAl) ₂ (SiAl) ₂ O ₆)
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	14.59200711	SiO ₂	SiO ₂	55.7	
POTASIO(K)	POTASIO (K)	1.155940916	K ₂ O	K ₂ O	1.69	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	1.756052803	CaO	CaO	6.73	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0	TiO ₂	TiO ₂	1.23	
	IRON (FERRUM (Fe))	6.287653703	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	7.84	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	1.243641556	MgO	MgO	4.21	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0				
CARBONO (C)	CARBON (C)	0	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.22	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.1	
AZUFRE (S)				SO ₃	0.03	
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	0.87	

Tabla 31. Resultados de EDS, FRx, DFx, del banco de materiales El Colegio (S).

BANCO EL COLEGIO						
ELEMENTO TEÓRICO	ELEMENTO REAL	EDS	COMP. TEÓRICO	COMP. REAL	FRx	DFx
OXIGENO (O)	OXIGENO(O)	50.76497815				ANORTITA(CaAl ₂ O ₈)
SODIO(Na)	SODIO(Na)	2.560443058	Na ₂ O	Na ₂ O	3.52	ALBITA (NaAlSi ₃ O ₈)
ALUMINIO (Al)	ALUMINIO (Al)	5.480510075	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	18	MONTMORILLONITA(Al ₄ Si ₈ O ₂₀ (OH) ₄)
SILICE (Si)	SILICON (SILICE (Si))	16.98208523	SiO ₂	SiO ₂	57	
POTASIO(K)	POTASIO (K)	0.979862958	K ₂ O	K ₂ O	1.3	
CALCIO(Ca)	CALCIO (Ca)	3.319798593	CaO	CaO	6.4	
TITANIO (Ti)	TITANIO (Ti)	0	TiO ₂	TiO ₂	0.8	
	IRON (FERRUM (Fe))	3.225026206	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	6.22	
MAGNESIO(Mg)	MAGNESIO (Mg)	0.932493304	MgO	MgO	3.52	
	CHLORINE (CLORO (Cl))	0				
CARBONO (C)	CARBON (C)	0	CO ₂			
HIDROGENO (H)			H ₂ O			
FOSFORO (P)			P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	0.18	
MANGANESO (Mn)			MnO	MnO	0.08	
AZUFRE (S)				SO ₃	0.03	
BARIO (Ba)						
			FeO			
				PXC	1.32	

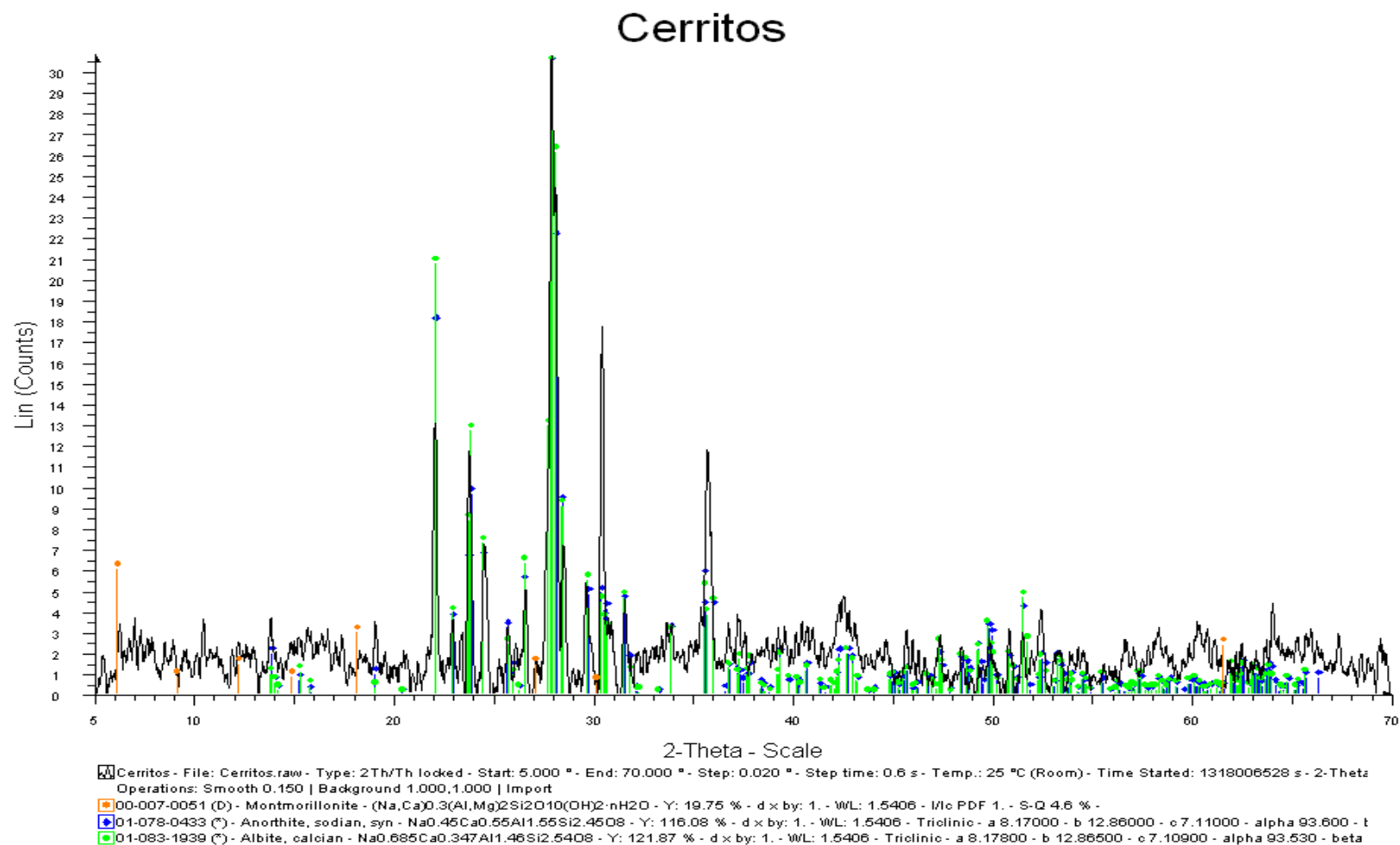


Figura N°72. Difractograma banco de materiales pétreos Cerritos.

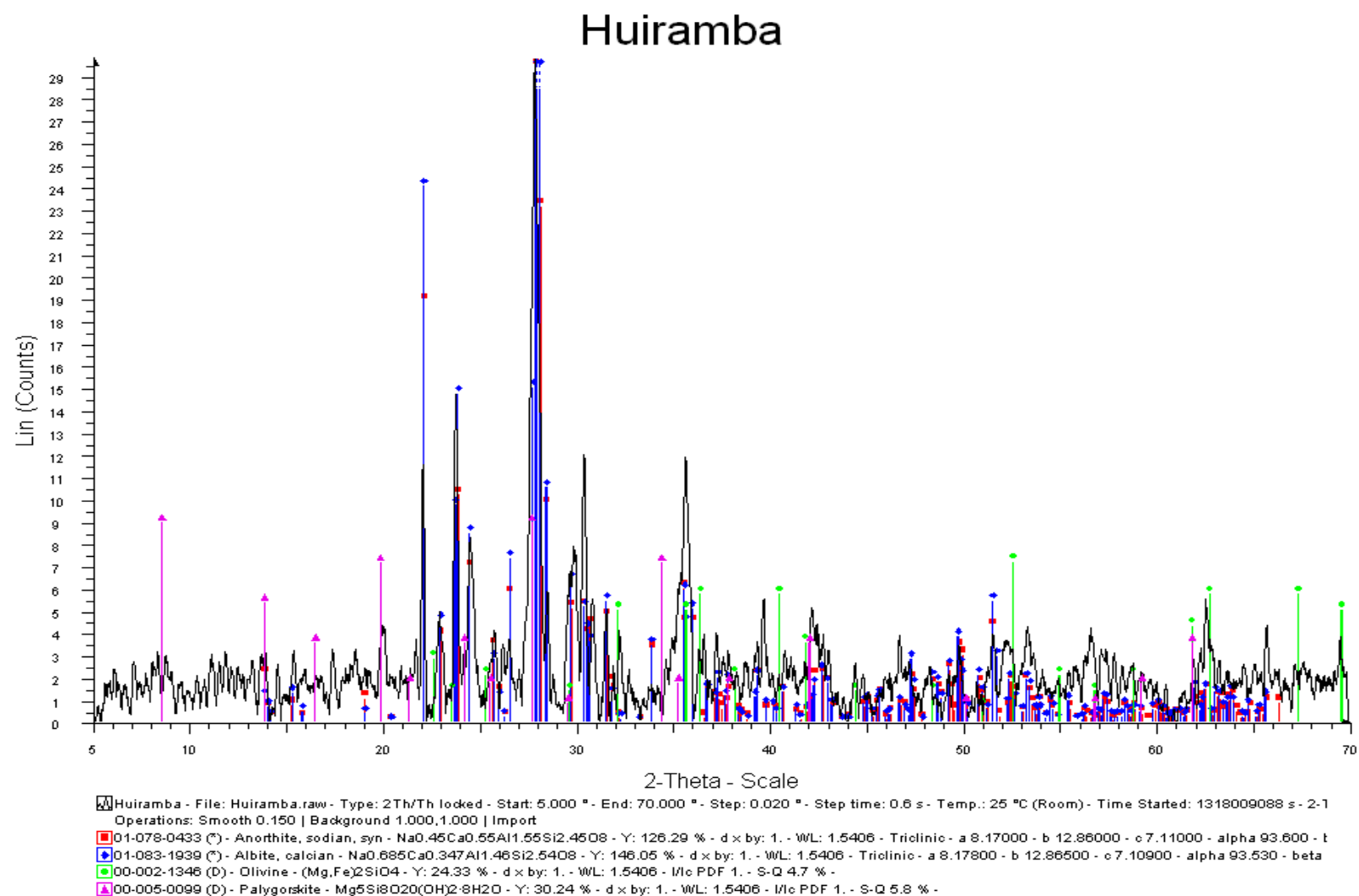


Figura N°73. Difractograma banco de materiales pétreos Huiramba.

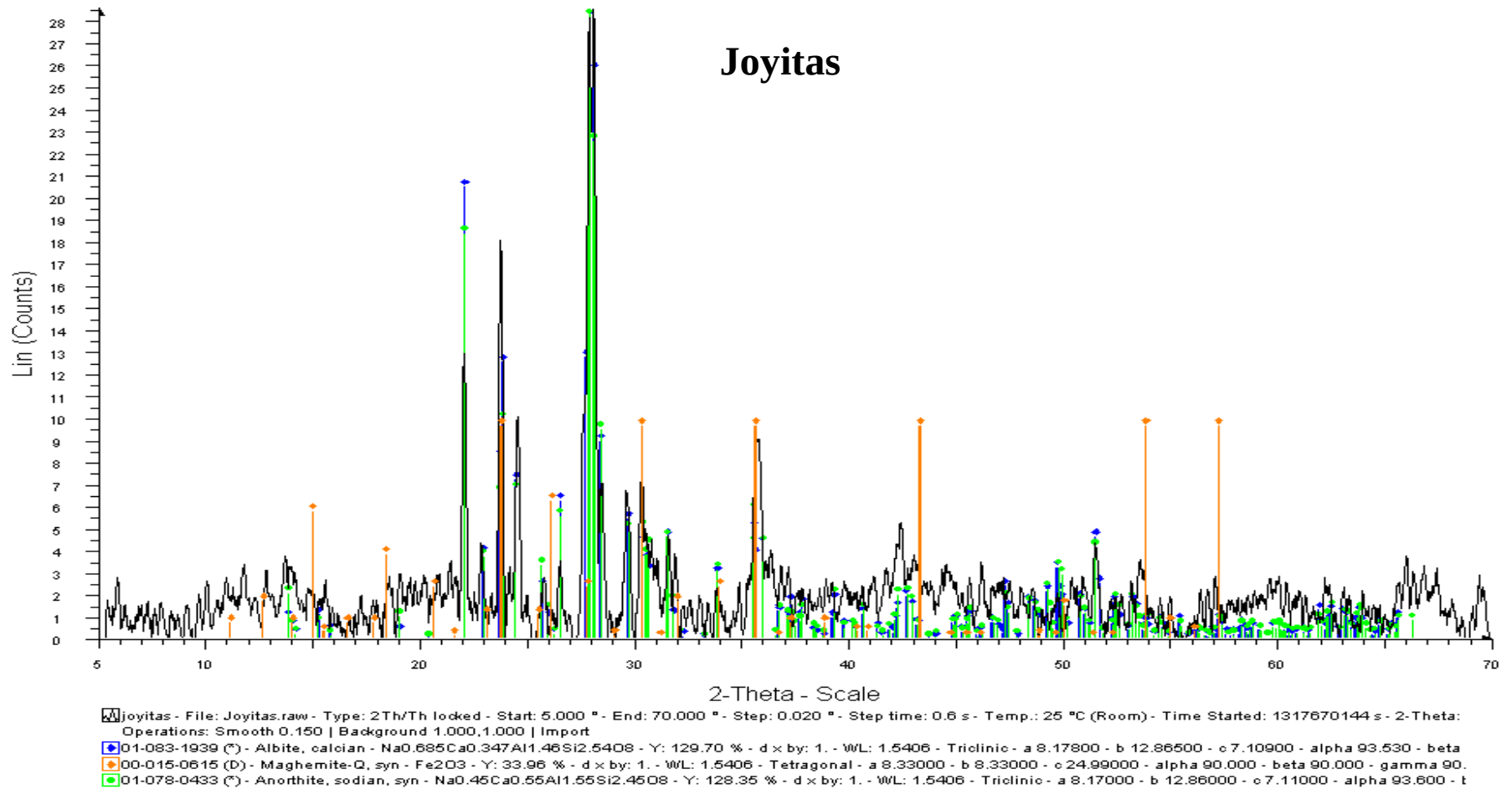


Figura N°74. Difractograma banco de materiales pétreos Joyitas.

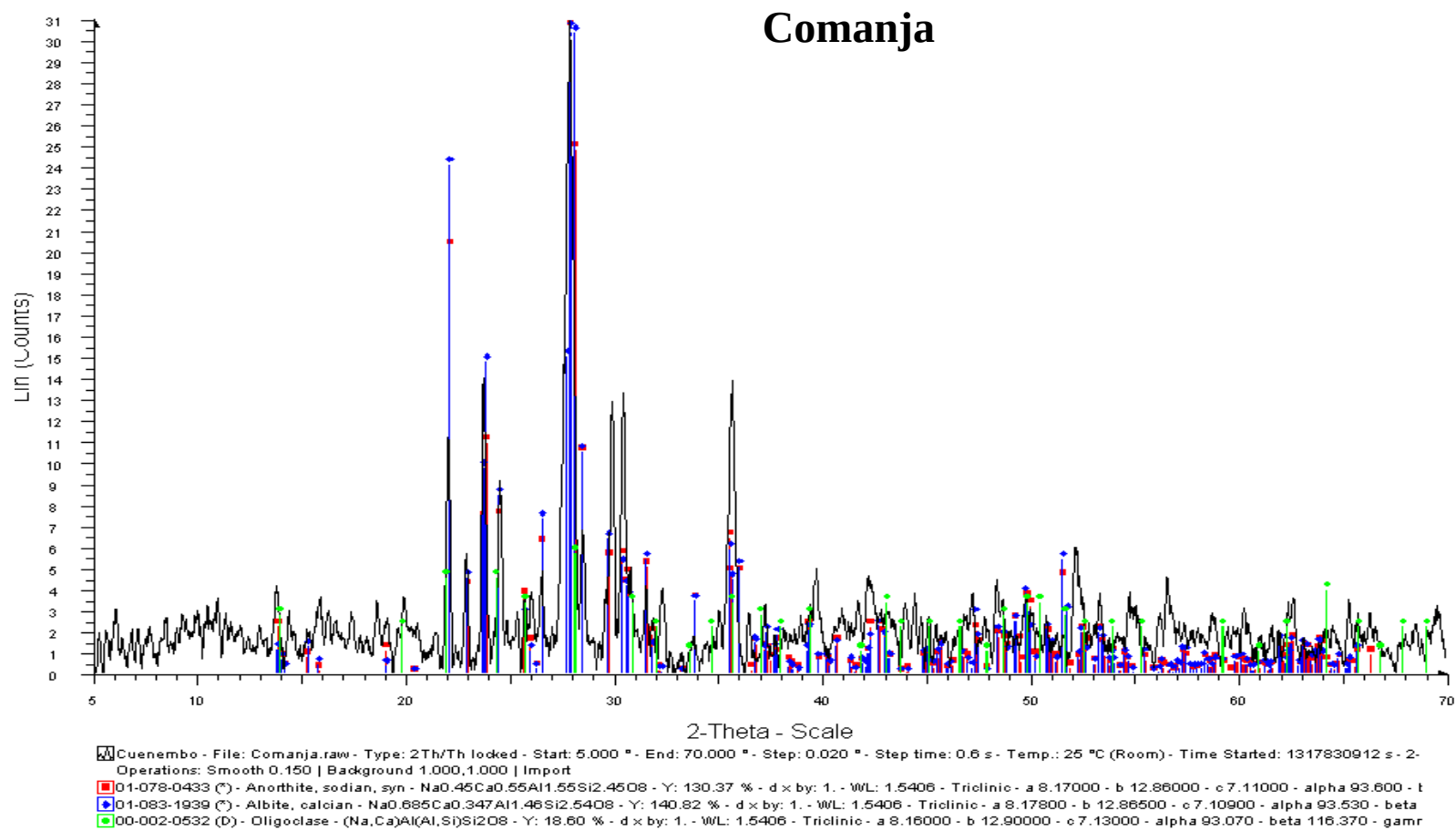


Figura N°75. Difractograma banco de materiales pétreos Comanja.

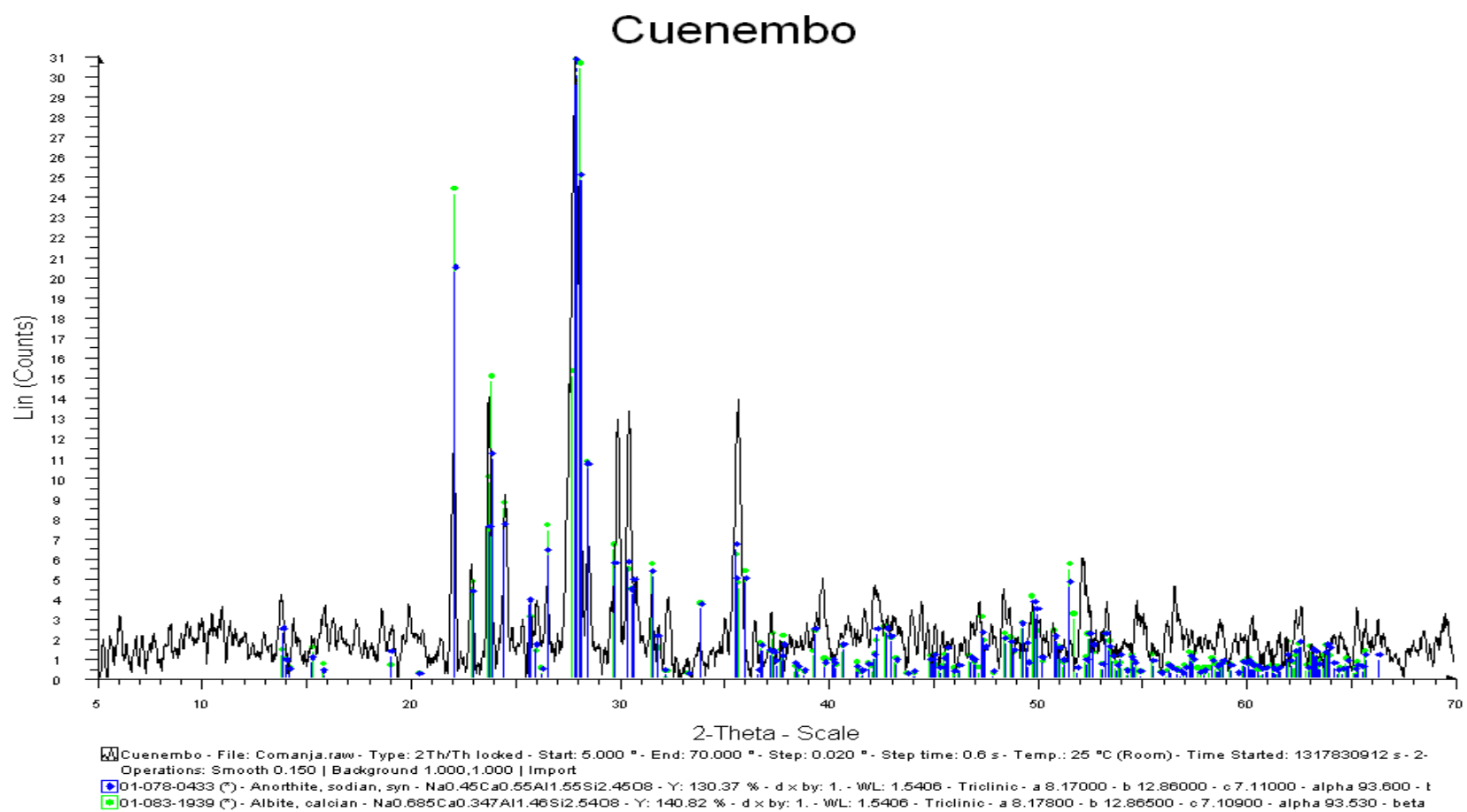


Figura N°76. Difractograma banco de materiales pétreos Cuenembo.

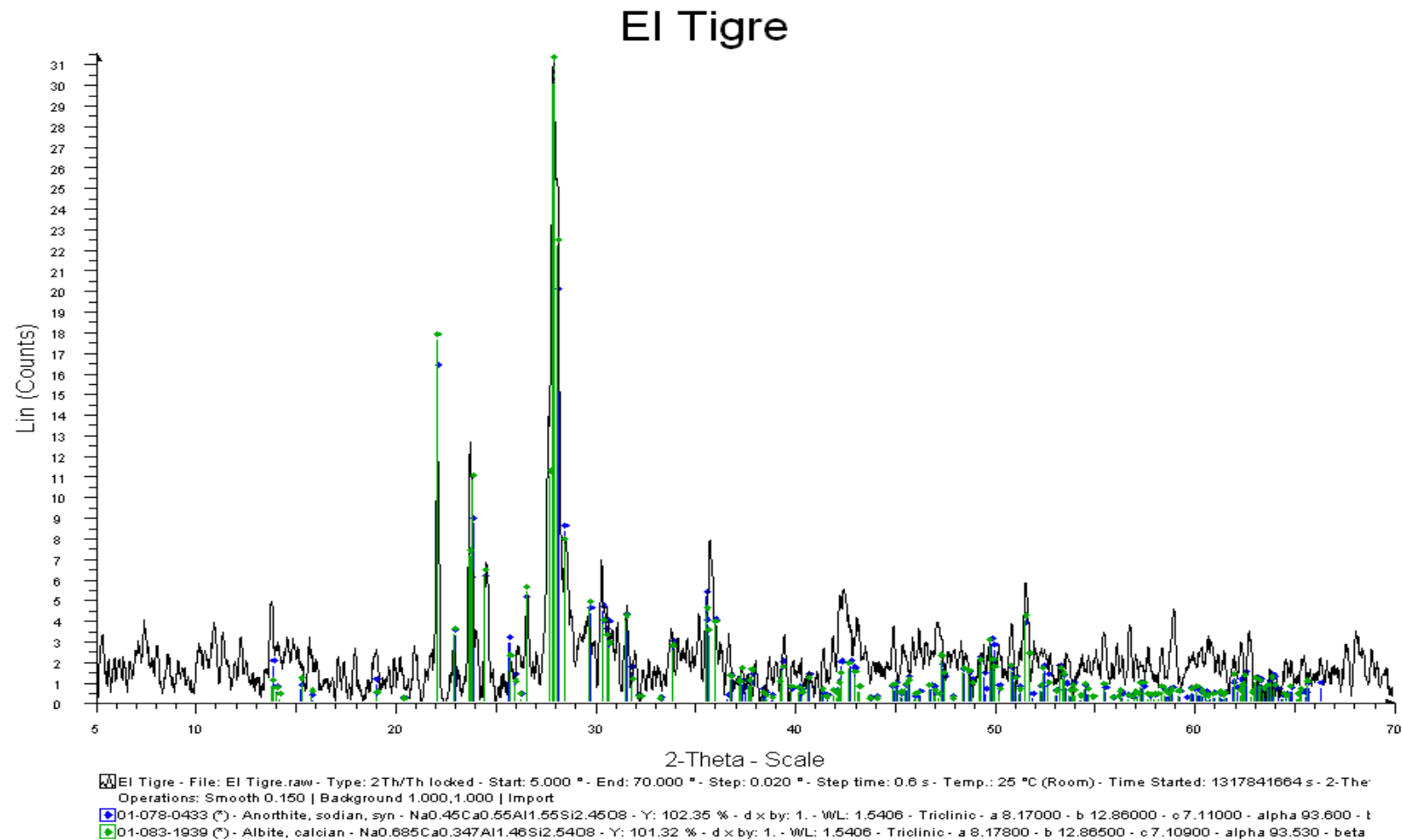


Figura N°77. Difractograma banco de materiales pétreos El Tigre.

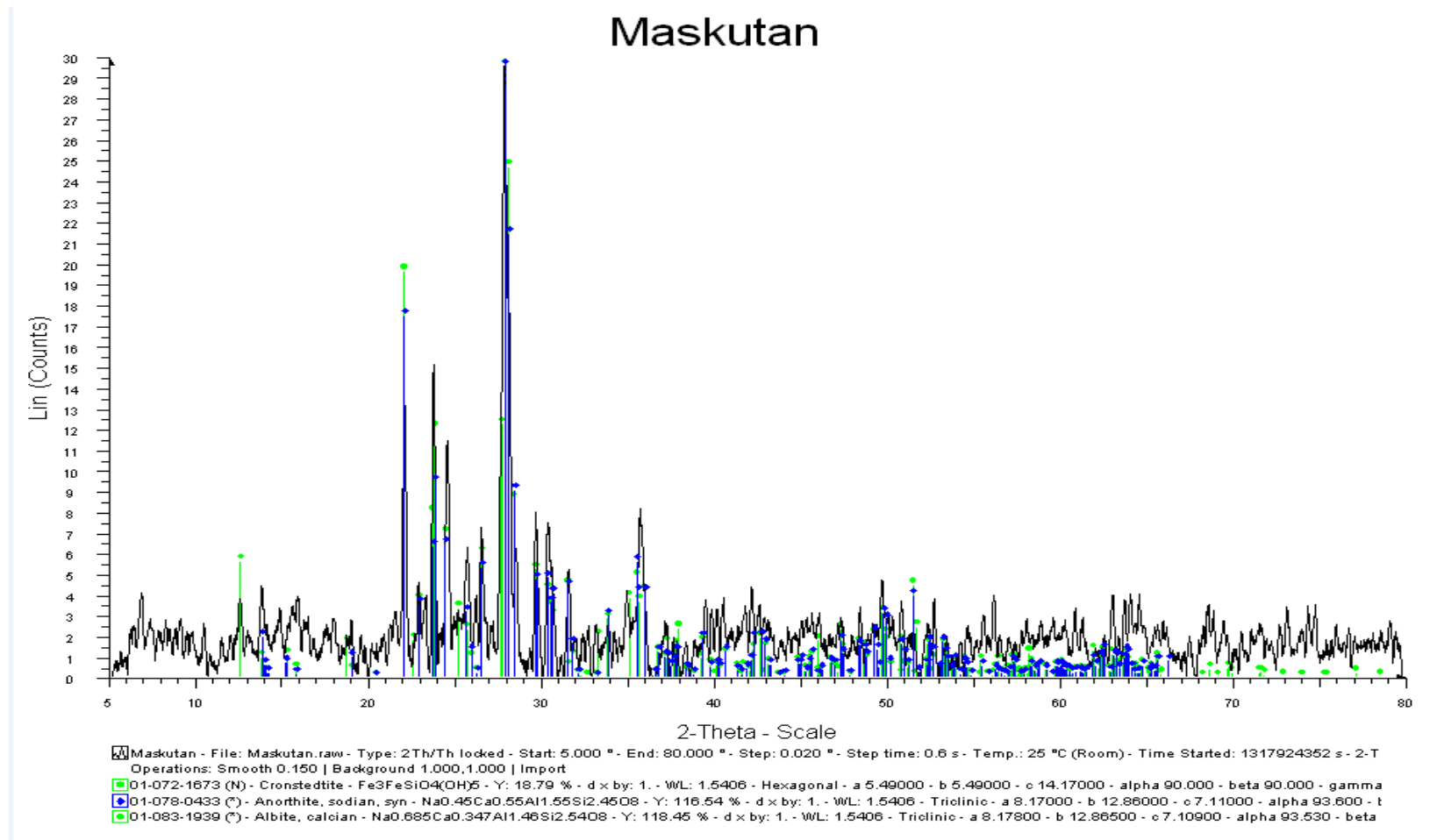


Figura N°78. Difractograma banco de materiales pétreos Maskutan.

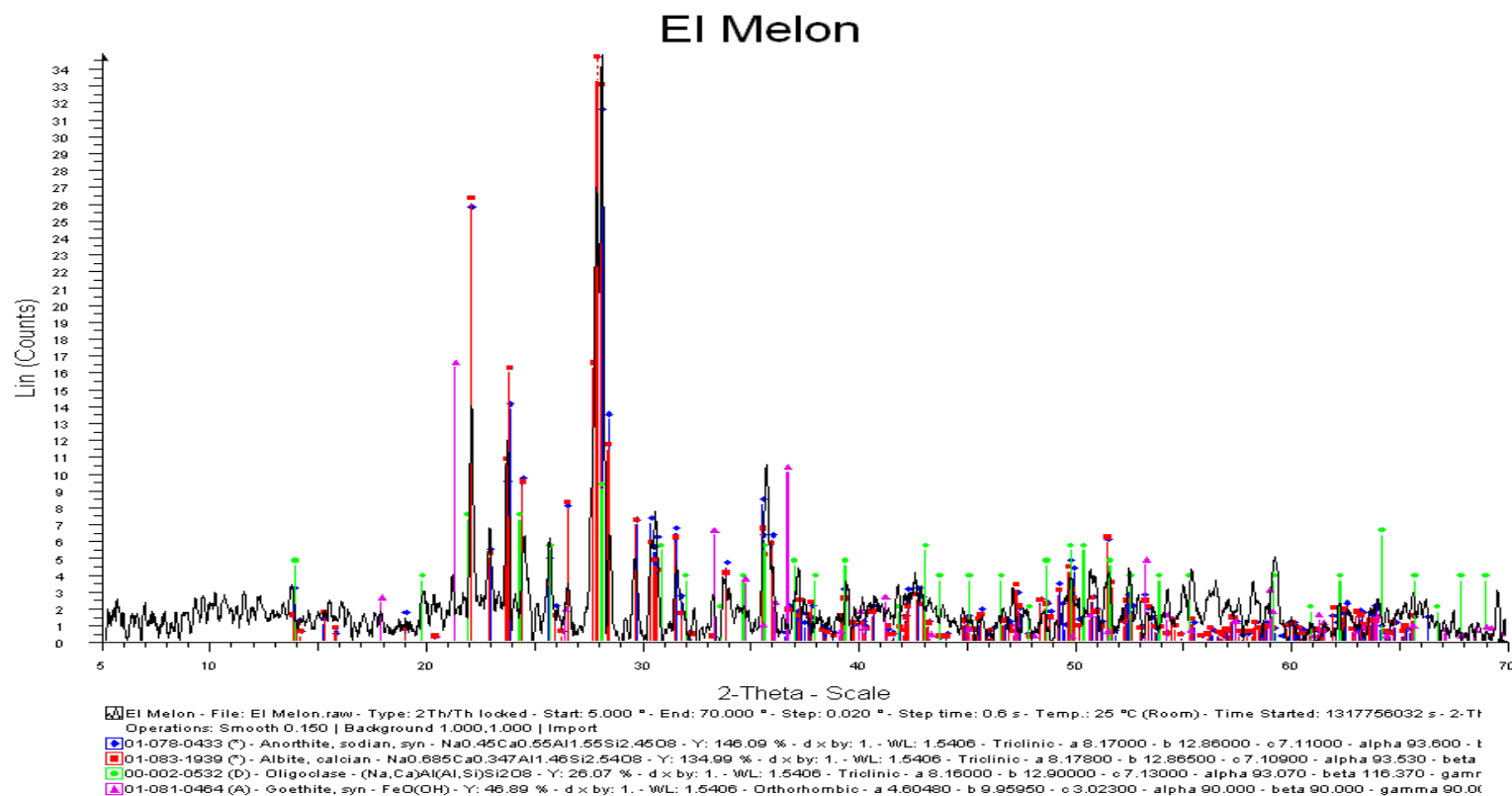


Figura N°79. Difractograma banco de materiales pétreos El Melón.

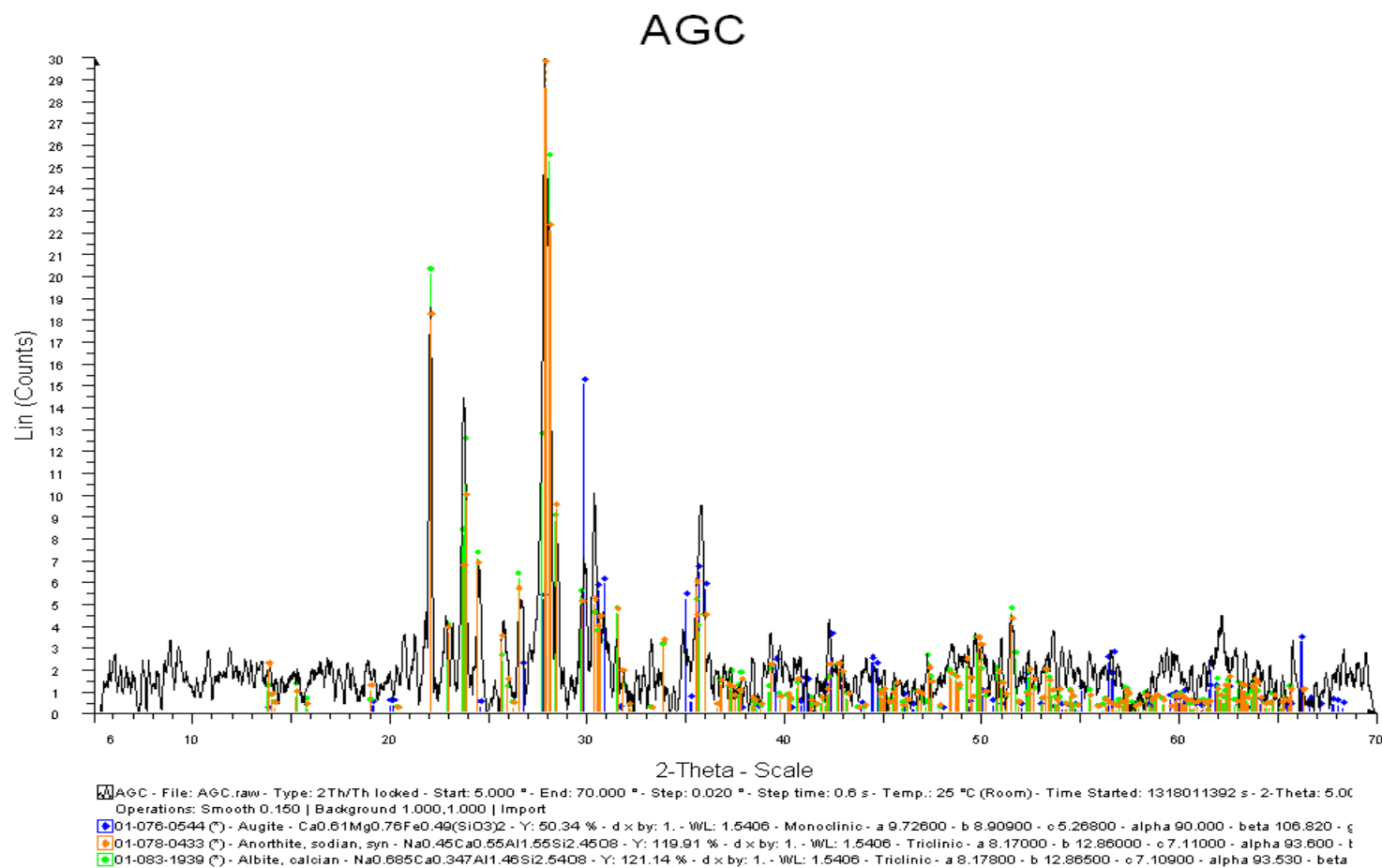


Figura N°80. Difractograma banco de materiales pétreos AGC.

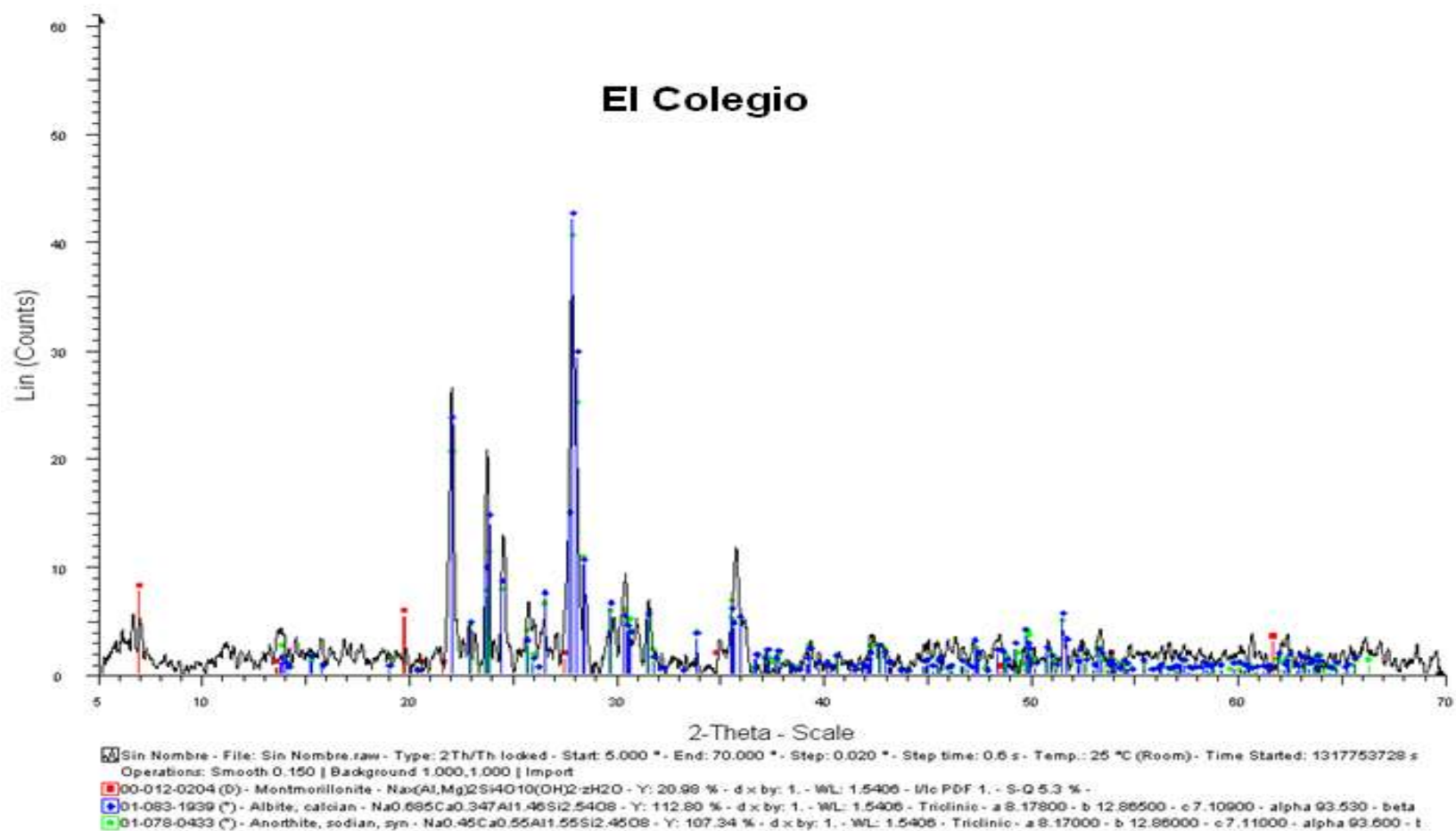


Figura N°81. Difractograma banco de materiales pétreos El Colegio.

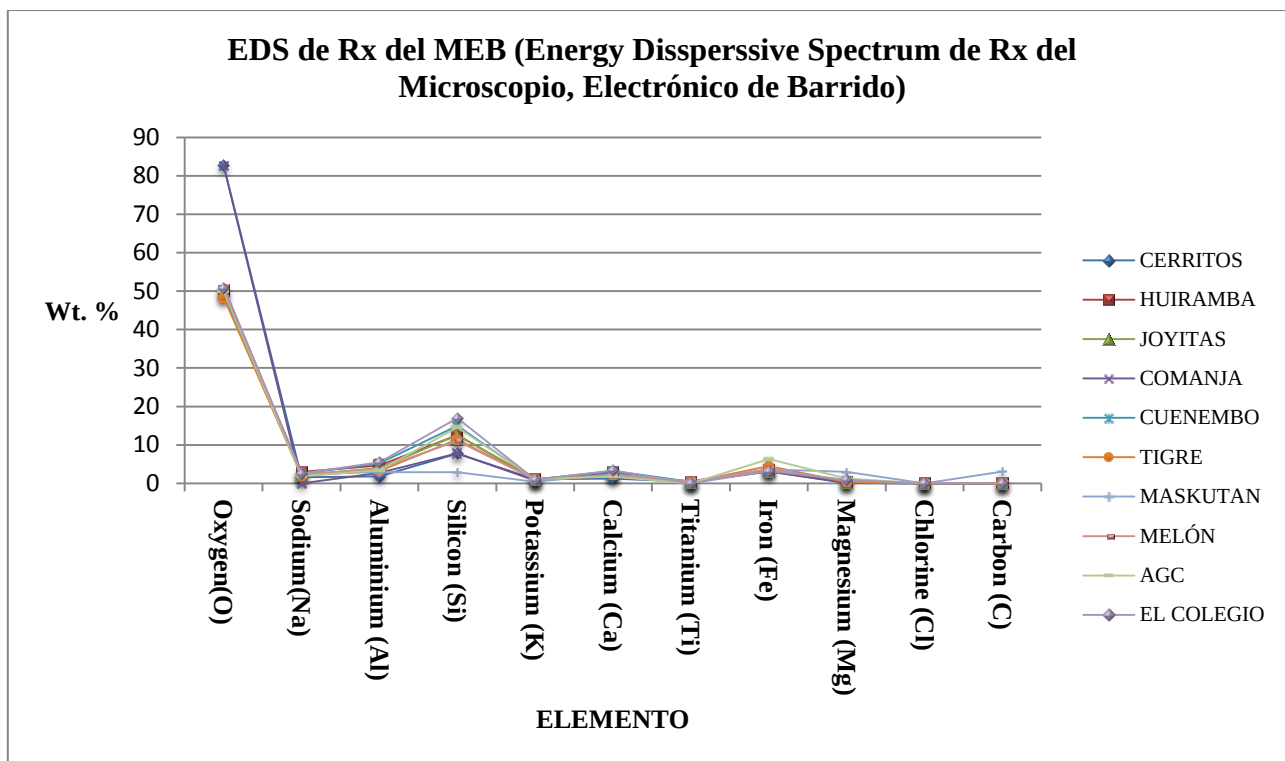


Figura N°82. Gráfica de resultados EDS.



Figura N°83. Fotografías de las rocas de los diferentes bancos de materiales

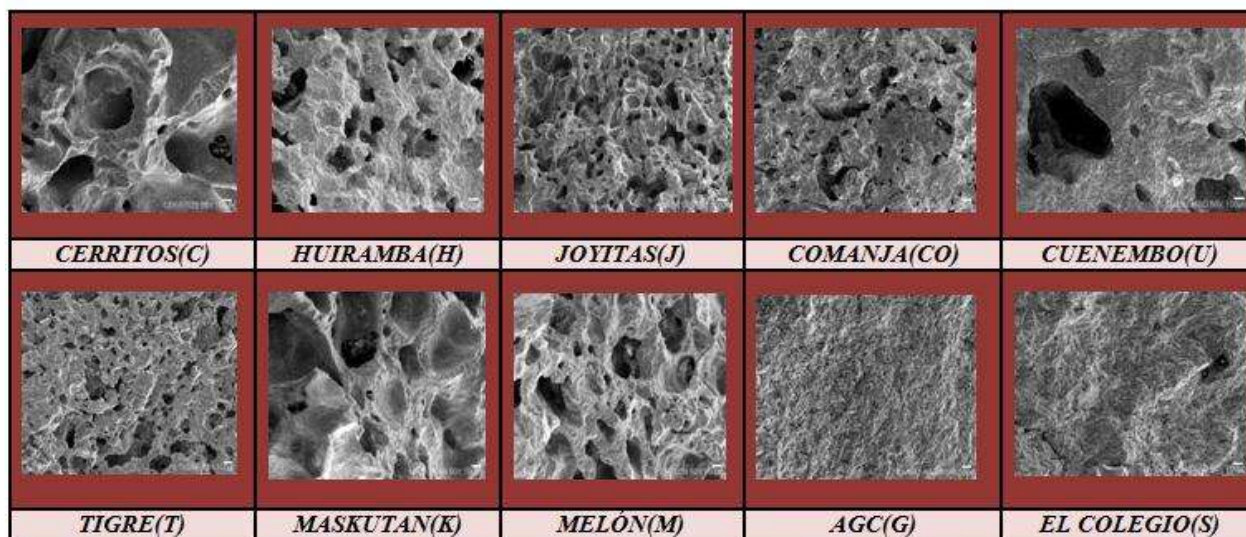


Figura N° 84. Microfotografías con MEB a 25 aumentos donde se observa la morfología de las rocas coincidente con su comportamiento mecánico.

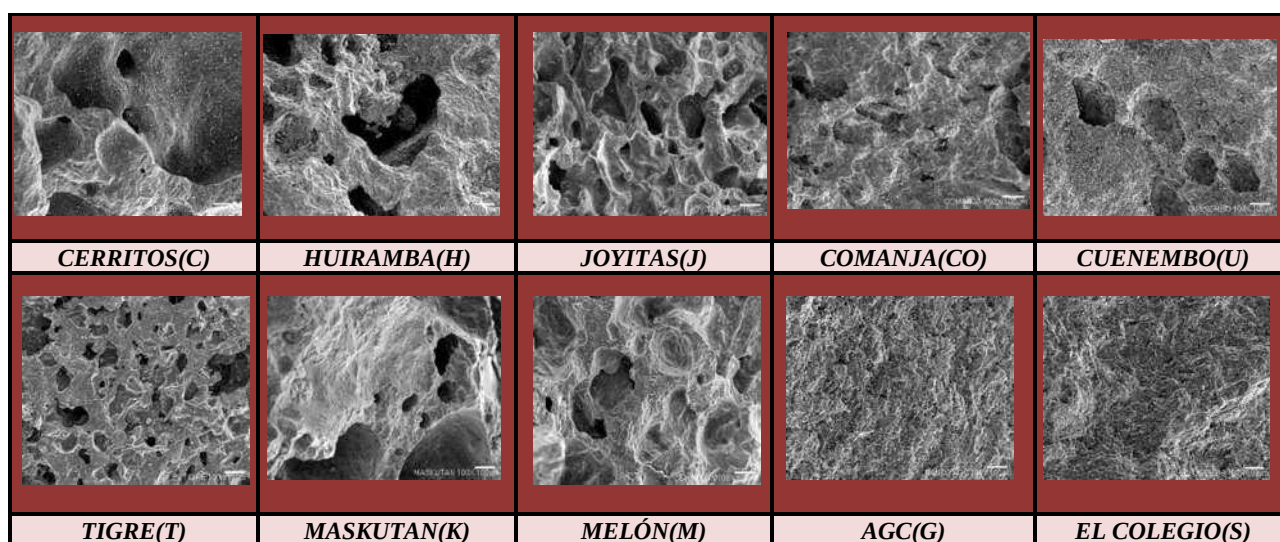


Figura N° 85. Microfotografías con MEB a 100 aumentos donde se observa la morfología de las rocas coincidente con su comportamiento mecánico.

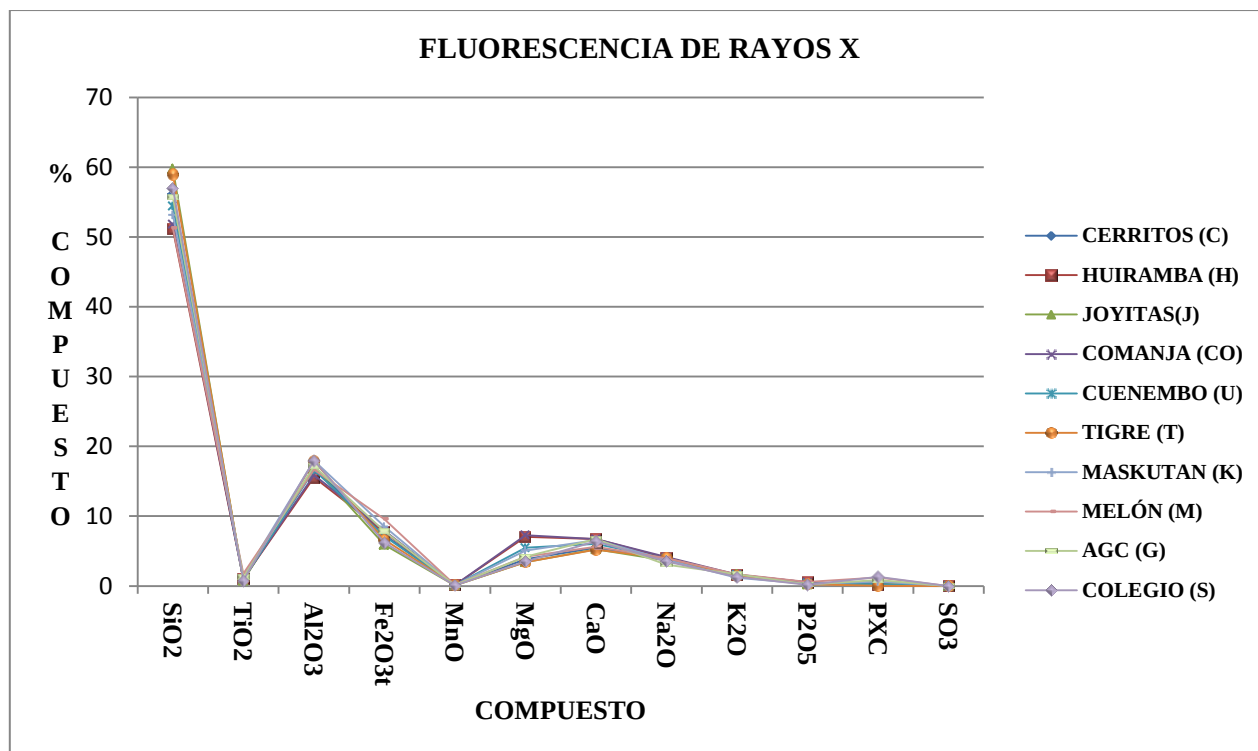


Figura N° 86. Gráfica de resultados Fluorescencia de Rayos X.

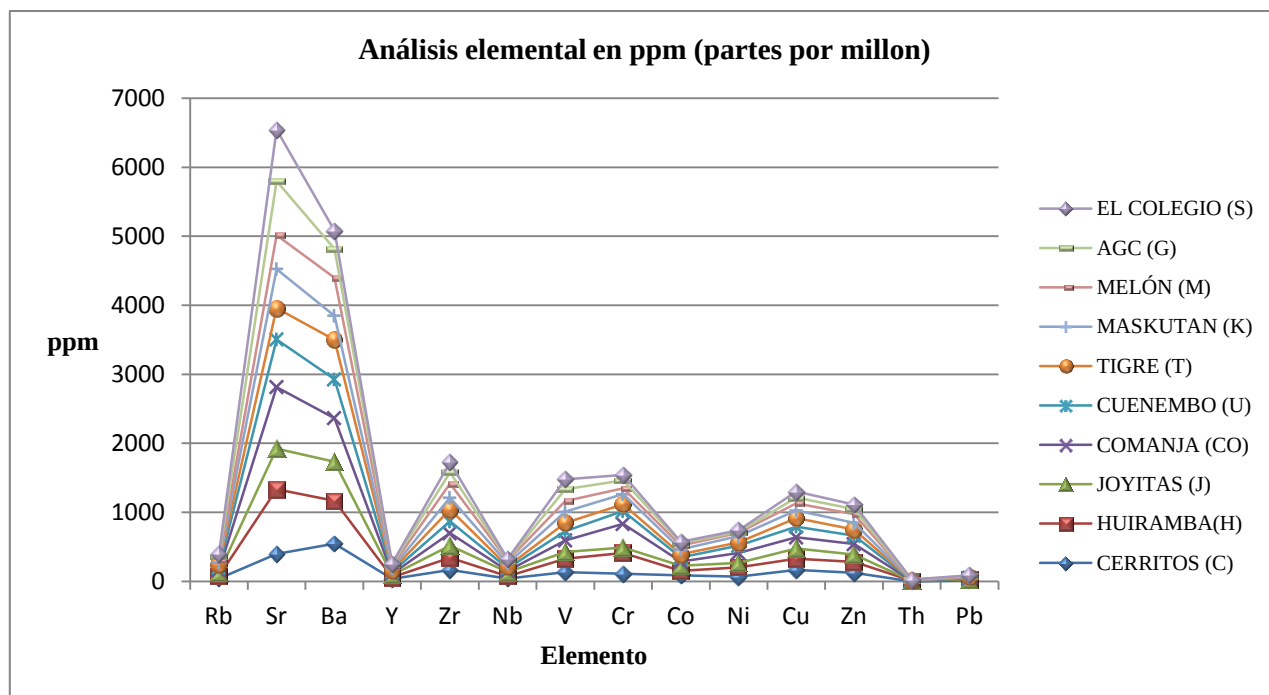


Figura N° 87. Gráfica de resultados Análisis elemental en ppm (partes por millón).

10.7.- Ensayo de carga puntual (Point Load) (ASTM D5731-05).*Tabla 32. Promedio de Índice de Carga Puntual de 35 muestras irregulares por banco.*

CARGA PUNTUAL $I_{s(50)}$(MPa)					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	2.27	1.01	1.25	3.28	0.45
HURAMBA(H)	3.27	1.97	1.29	5.24	0.60
JOYITAS (J)	3.29	1.71	1.58	5.00	0.52
COMANJA (CO)	3.56	1.78	1.78	5.34	0.50
CUENEMBO(U)	2.43	1.43	0.99	3.86	0.59
TIGRE(T)	1.82	1.02	0.79	2.84	0.56
MASKUTAN(K)	1.68	1.30	0.37	2.98	0.78
MELÓN(M)	1.71	0.98	0.73	2.69	0.57
AGC(G)	3.77	2.21	1.55	5.98	0.59
COLEGIO(S)	4.33	1.60	2.73	5.94	0.37

Tabla 33. Promedio de Índice de Carga Puntual de 12 muestras irregulares por banco.

CARGA PUNTUAL $I_{s(50)}$(MPa)					
BANCO	MEDIA($\bar{x}$)	DESVIACIÓN (σ)	$\bar{x}-\sigma$	$\bar{x}+\sigma$	CV
CERRITOS (C)	2.27	1.01	1.25	3.28	0.45
HURAMBA(H)	3.27	1.97	1.29	5.24	0.60
JOYITAS (J)	3.29	1.71	1.58	5.00	0.52
COMANJA (CO)	3.56	1.78	1.78	5.34	0.50
CUENEMBO(U)	2.43	1.43	0.99	3.86	0.59
TIGRE(T)	3.64	1.46	2.18	5.10	0.40
MASKUTAN(K)	2.54	0.79	1.75	3.33	0.31
MELÓN(M)	3.82	1.10	2.72	4.92	0.29
AGC(G)	3.82	2.04	1.78	5.86	0.53
COLEGIO(S)	3.37	1.09	2.28	4.46	0.32

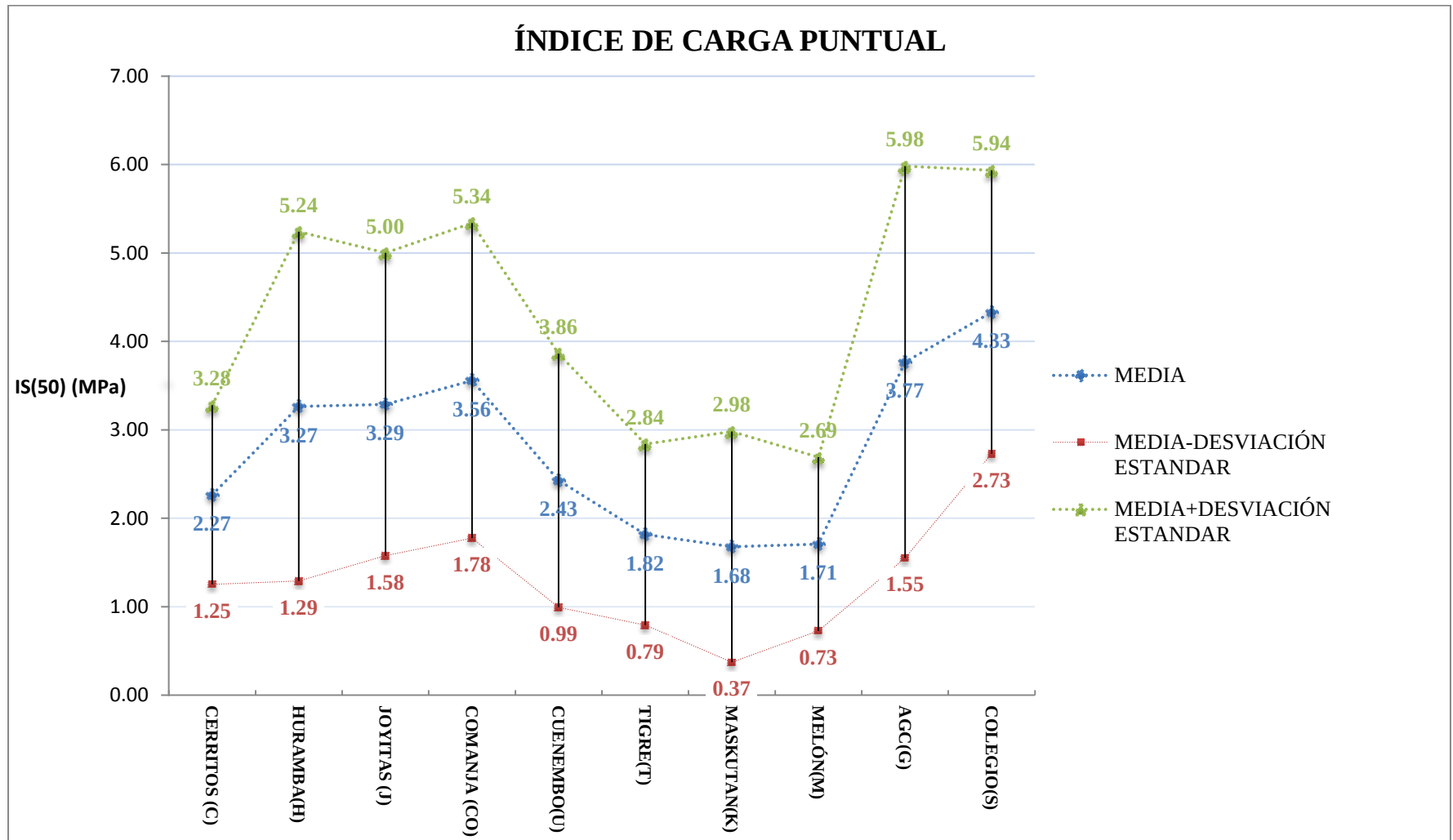


Figura N° 88. Gráfica de resultados Índice de Carga Puntual de 35 muestras irregulares por banco.

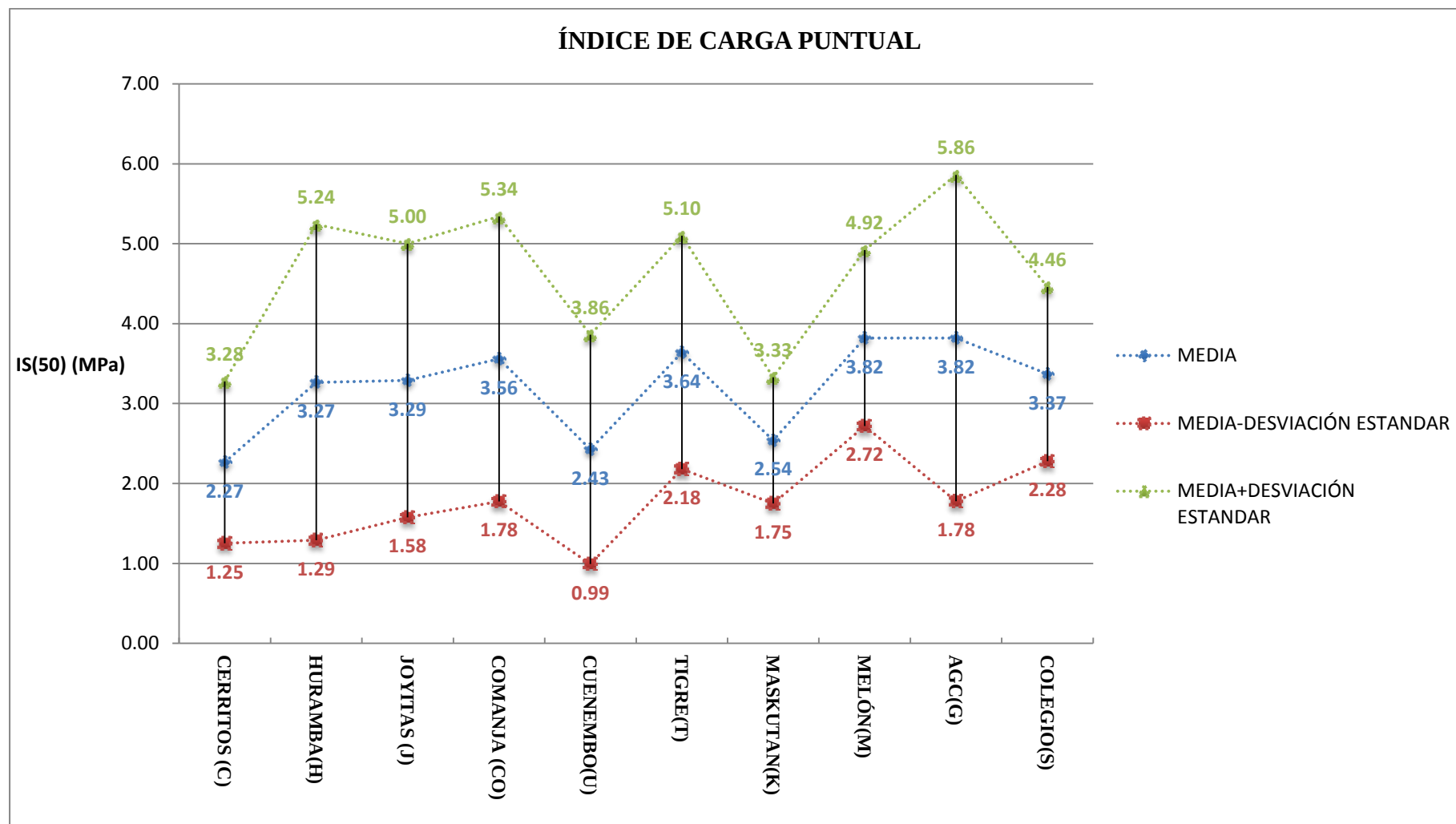


Figura N° 89. Gráfica de resultados Índice de Carga Puntual de 12 muestras irregulares por banco.

10.8.- Determinación de la durabilidad al desmoronamiento de rocas blandas (ASTM D 4644 – 87).

Tabla 34. Resultados de durabilidad al desmoronamiento de rocas de los bancos de materiales pétreos.

DURABILIDAD EN BASE AL INDICE I_{D2}	
NOMBRE	% PESO RET. DESPUES DE 2 CICLOS
CERRITOS (C)	96.30
HURAMBA(H)	98.98
JOYITAS (J)	99.12
COMANJA (CO)	98.98
CUENEMBO(CU)	99.40
TIGRE(T)	99.38
MASKUTAN(K)	98.84
MELÓN(M)	87.29
AGC(G)	99.34
EL COLEGIO (S)	98.90

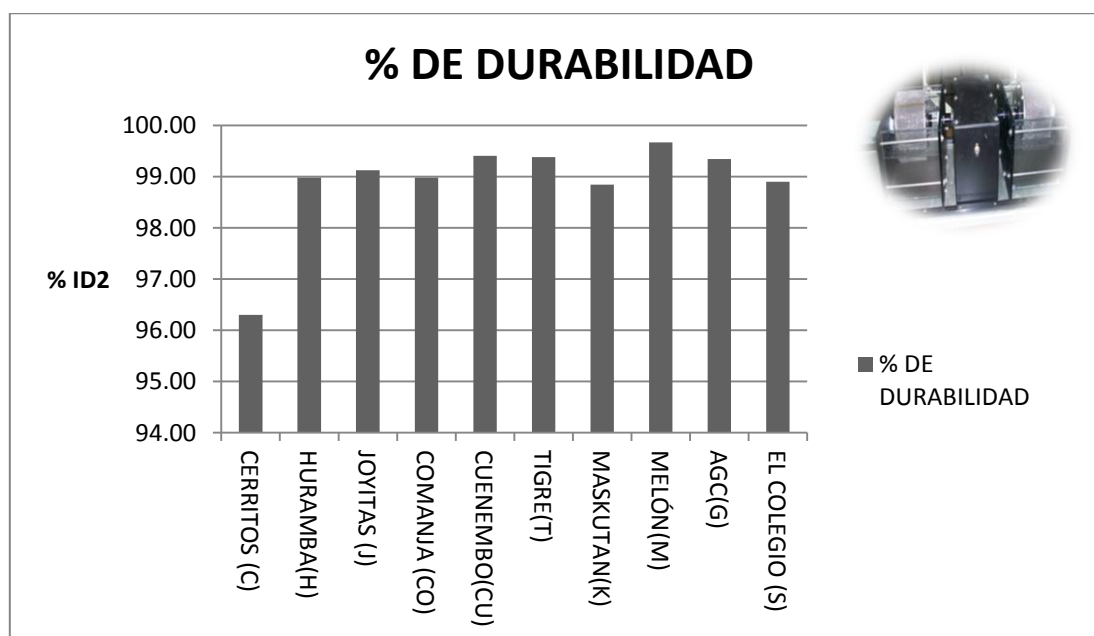


Figura N° 90. Gráfica de resultados % de durabilidad.

10.9. Intemperismo acelerado

Tabla 35. Resultados de Intemperismo Acelerado después de cinco ciclos realizados a las rocas de los bancos de materiales pétreos.

BANCO	Mi(g)	Mf(g)	P(%)	PROMEDIO
CERRITOS (C)	969.5	1044	-7.68	-7.84
	1000.3	1076.5	-7.62	
	1011.4	1094.4	-8.21	
JOYITAS (J)	968.9	1005.6	-3.79	-5.27
	981.7	1017	-3.60	
	961.2	1042.1	-8.42	
COMANJA (CO)	982.2	1039.3	-5.81	-4.76
	1030.7	1068.1	-3.63	
	1008.6	1057.5	-4.85	
CUENEMBO(CU)	967.5	1018.5	-5.27	-5.21
	997.3	1033.1	-3.59	
	1035.8	1105.9	-6.77	
TIGRE(T)	1009.7	1101.4	-9.08	-6.71
	1015.8	1072.2	-5.55	
	1041.5	1098.8	-5.50	
MASKUTAN(K)	1001.5	1120.5	-11.88	-12.33
	1010	1135.1	-12.39	
	1043	1175.8	-12.73	
MELÓN(M)	1014.9	1108.9	-9.26	-11.87
	956.1	1067.8	-11.68	
	980.2	1124	-14.67	
AGC(G)	995.2	965	3.03	1.75
	998.6	986.1	1.25	
	987.2	977.8	0.95	
EL COLEGIO (S)	1039.3	1023.9	1.48	0.63
	1011.8	1005.7	0.60	
	975.5	977.3	-0.18	

10.10.- Pruebas no destructivas**10.10.1.- Resistividad eléctrica**

Tabla 36. Resultados resistividad eléctrica realizada a los diferentes especímenes de roca en forma de núcleos, cubos de roca y pilas de tres cubos unidos con mortero.

	CORAZONES DE ROCA	CUBOS DE ROCA	PILAS
NOMBRE	$\rho(\text{ohm-m})$	$\rho(\text{ohm-m})$	$\rho(\text{ohm-m})$
CERRITOS (C)	8078.58	6005.51	2500.03
HURAMBA(H)	1672.71	1220.50	2540.75
JOYITAS (J)	4240.71	3794.65	4810.15
COMANJA (CO)	10569.47	5874.45	4890.22
CUENEMBO(CU)	2098.47	1845.72	1552.10
TIGRE(T)	10753.05	12088.92	6043.73
MASKUTAN(K)	1692.23	1478.29	2562.98
MELÓN(M)	5993.50	7205.70	2356.36
AGC(G)	190.19	538.49	118.36
EL COLEGIO (S)	250.86	858.21	375.50

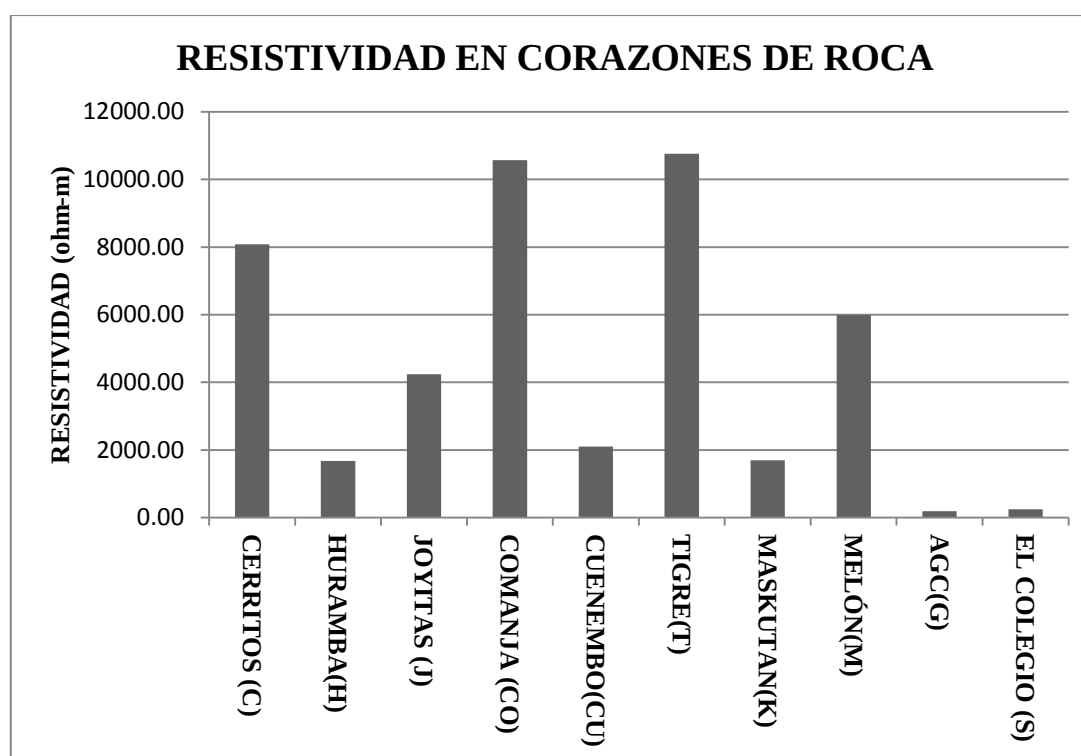


Figura N° 91. Gráfica de resultados de resistividad en corazones de roca

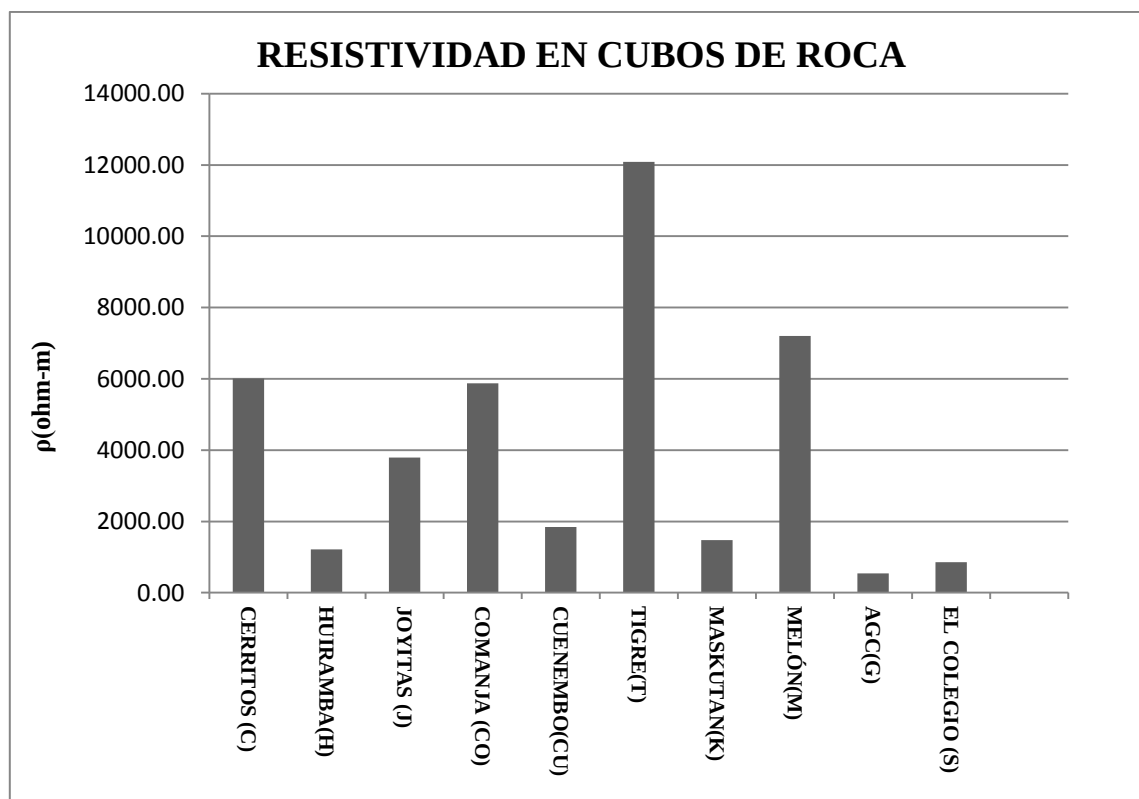


Figura N° 92. Gráfica de resultados de resistividad en cubos de roca.

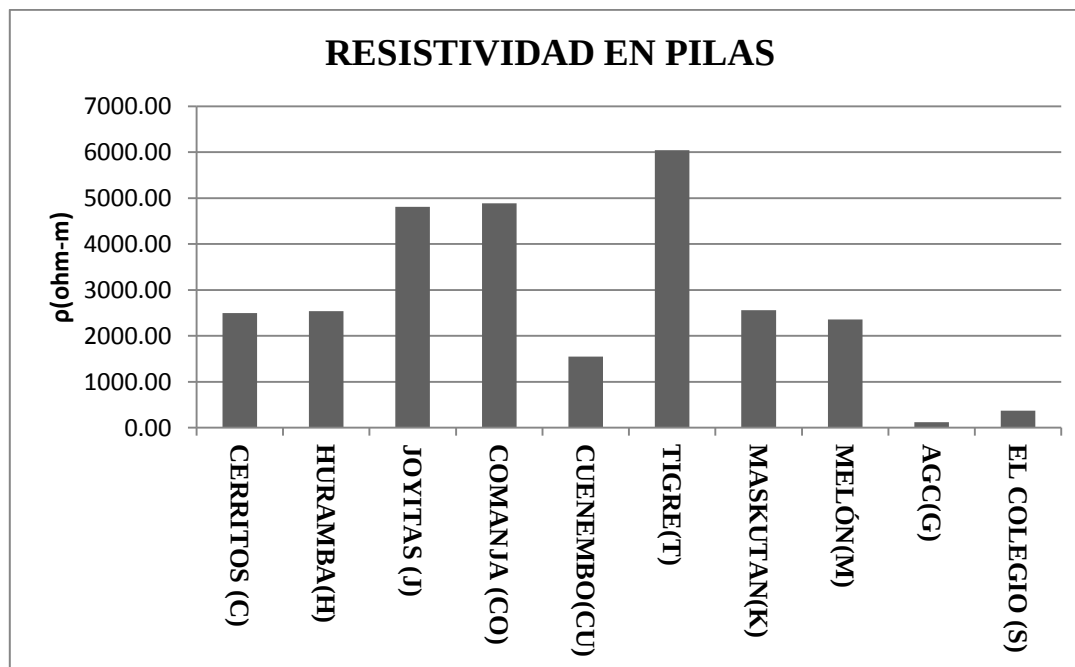
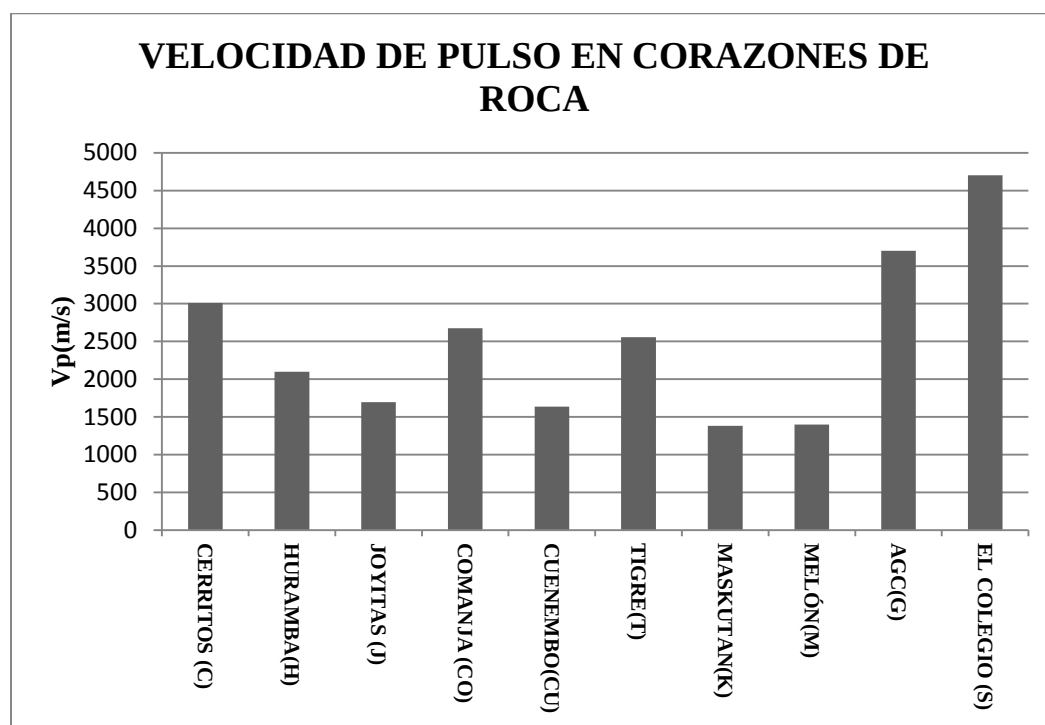


Figura N° 93. Gráfica de resultados de resistividad en pilas de roca.

10.10.2. Velocidad de pulso ultrasónico (ASTM c597-02).*Tabla 37. Resultados velocidad de pulso realizada a los diferentes especímenes de roca en forma de núcleos, cubos de roca y pilas de tres cubos unidos con mortero.*

	CORAZONES DE ROCA	CUBOS DE ROCA	PILAS
NOMBRE	Vp (m/s)	Vp (m/s)	Vp (m/s)
CERRITOS (C)	3009	1441.10	3258.82
HURAMBA(H)	2096	1475.28	3273.58
JOYITAS (J)	1696	1305.59	3501.46
COMANJA (CO)	2673	1450.85	3721.86
CUENEMBO(CU)	1637	991.96	3596.38
TIGRE(T)	2556	1484.33	3604.13
MASKUTAN(K)	1381.5	1792.27	3185.11
MELÓN(M)	1399	1207.78	3558.34
AGC(G)	3701	3172.85	3377.19
EL COLEGIO (S)	4701	2877.18	2734.78

*Figura N°94. Gráfica de resultados de velocidad de pulso en corazones de roca.*

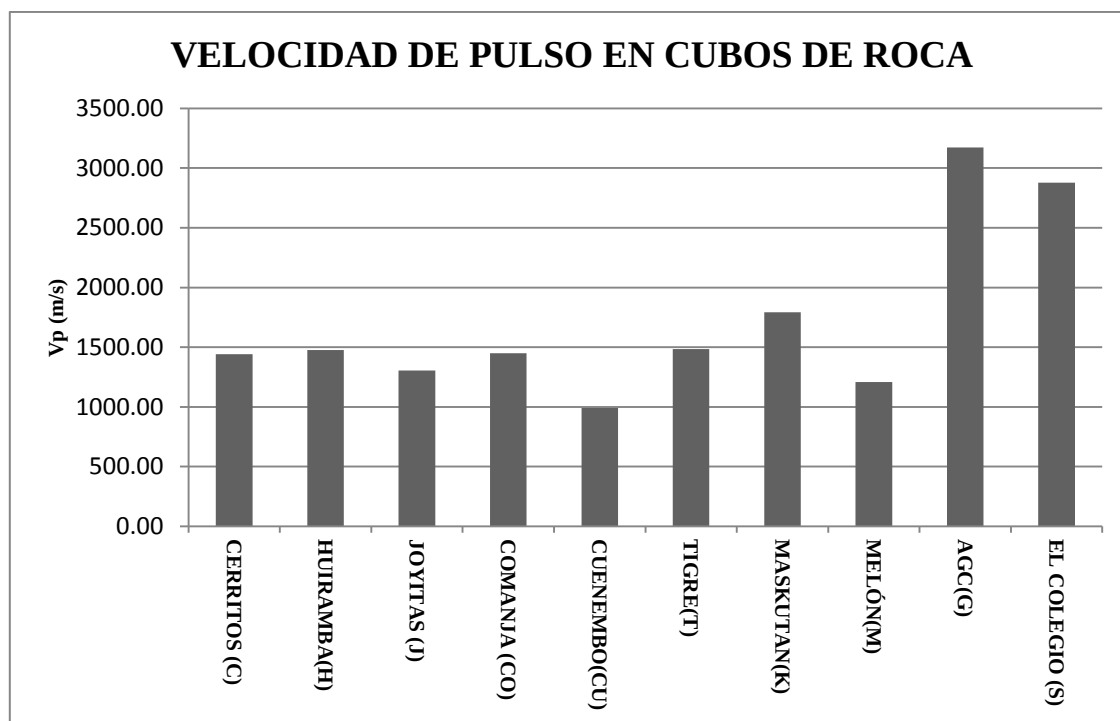


Figura N° 95. Gráfica de resultados de velocidad de pulso en cubos de roca.

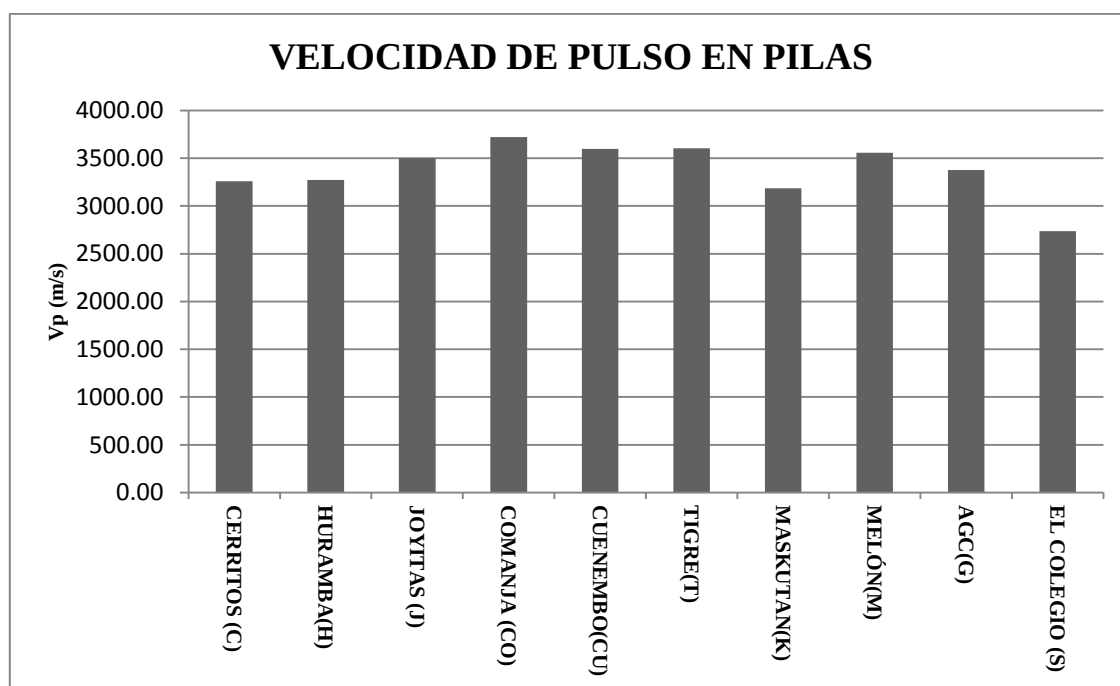


Figura N° 96. Gráfica de resultados de velocidad de pulso en pilas de roca.

10.10.3.- Frecuencias de resonancia (ASTM C215 -02).

Tabla 38. Resultados frecuencia longitudinal realizada a los diferentes especímenes de roca en forma de núcleos, cubos de roca y pilas de tres cubos unidos con mortero.

	CORAZONES DE ROCA	CUBOS DE ROCA	PILAS
NOMBRE	(Hz)	(Hz)	(Hz)
CERRITOS (C)	2252.67	1564.14	1278.67
HURAMBA(H)	1805.67	1446.33	1278.56
JOYITAS (J)	2209.67	1469.00	1215.78
COMANJA (CO)	2411.67	1627.39	1230.78
CUENEMBO(CU)	2131.67	1545.06	1246.22
TIGRE(T)	2289.50	1719.50	1209.83
MASKUTAN(K)	1786.00	1454.12	1254.33
MELÓN(M)	1957.67	1514.31	1382.67
AGC(G)	1468.33	1734.64	1265.56
COLEGIO (S)	1465.00	1549.59	1930.33

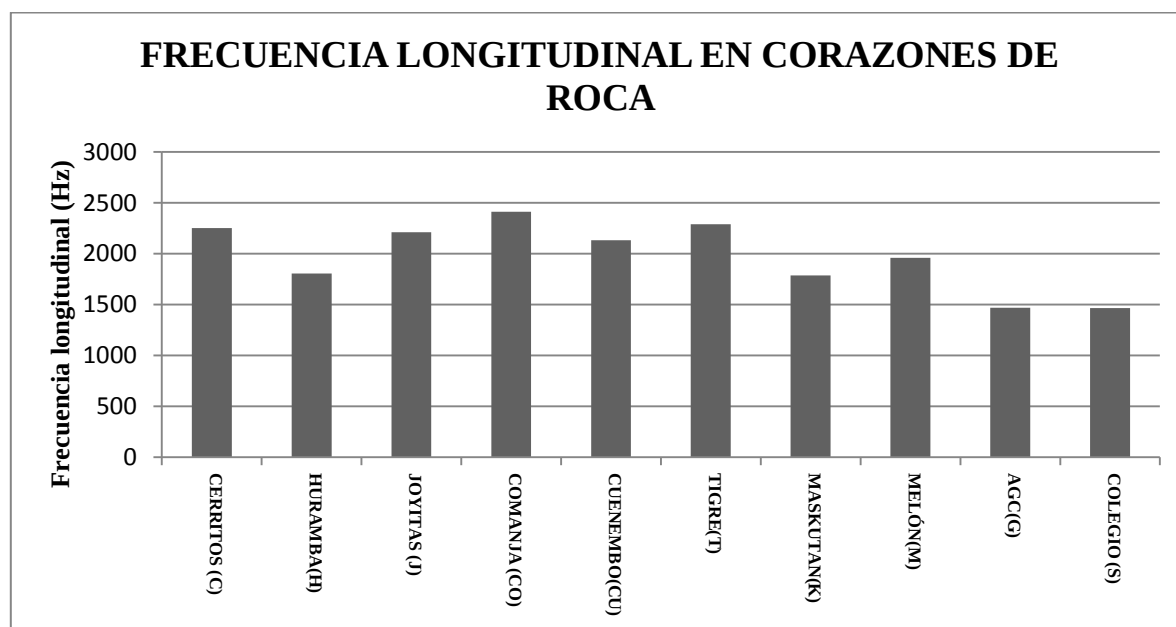


Figura N°97. Gráfica de resultados de frecuencia longitudinal en corazones de roca.

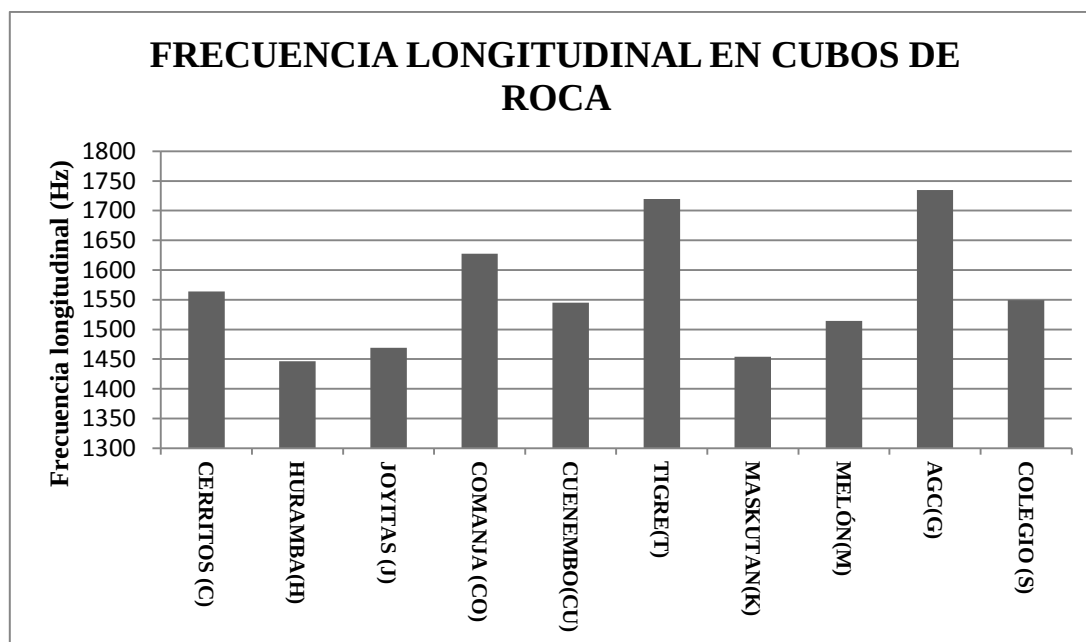


Figura N° 98. Gráfica de resultados de frecuencia longitudinal en cubos de roca.

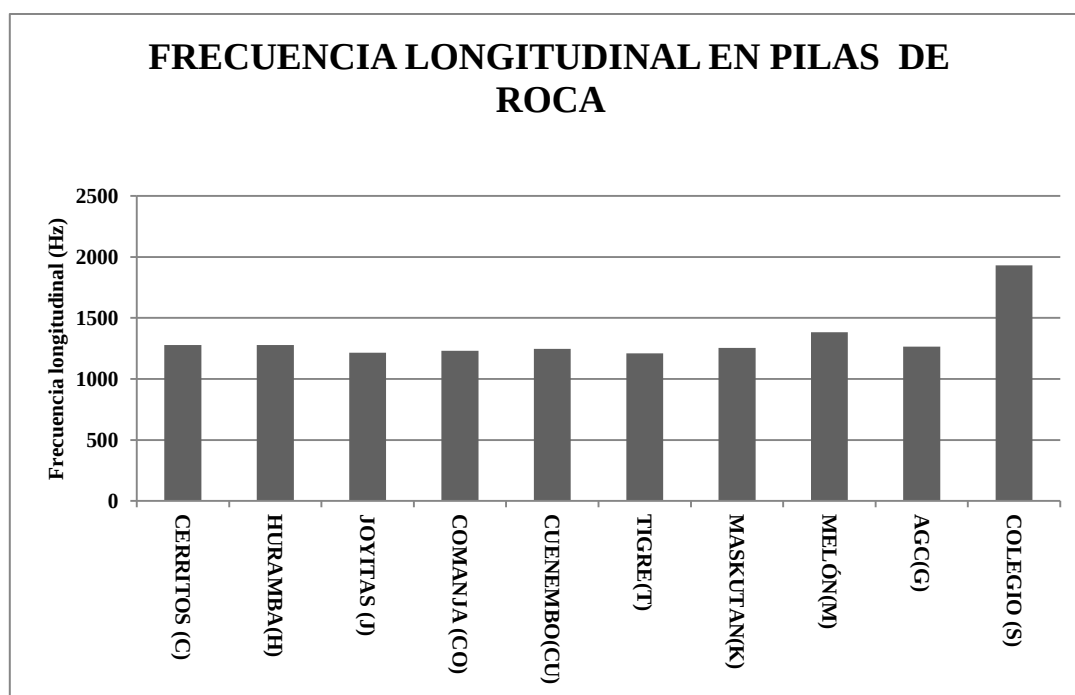


Figura N° 99. Gráfica de resultados de frecuencia longitudinal en pilas de roca.

11.- DISCUSIONES

En la presente investigación se generaron graficas del índice de carga puntual contra las pruebas no destructivas y también con las propiedades físicas de las muestras de 35 fragmentos irregulares, 12 fragmentos irregulares y 12 cubos de 5cm.

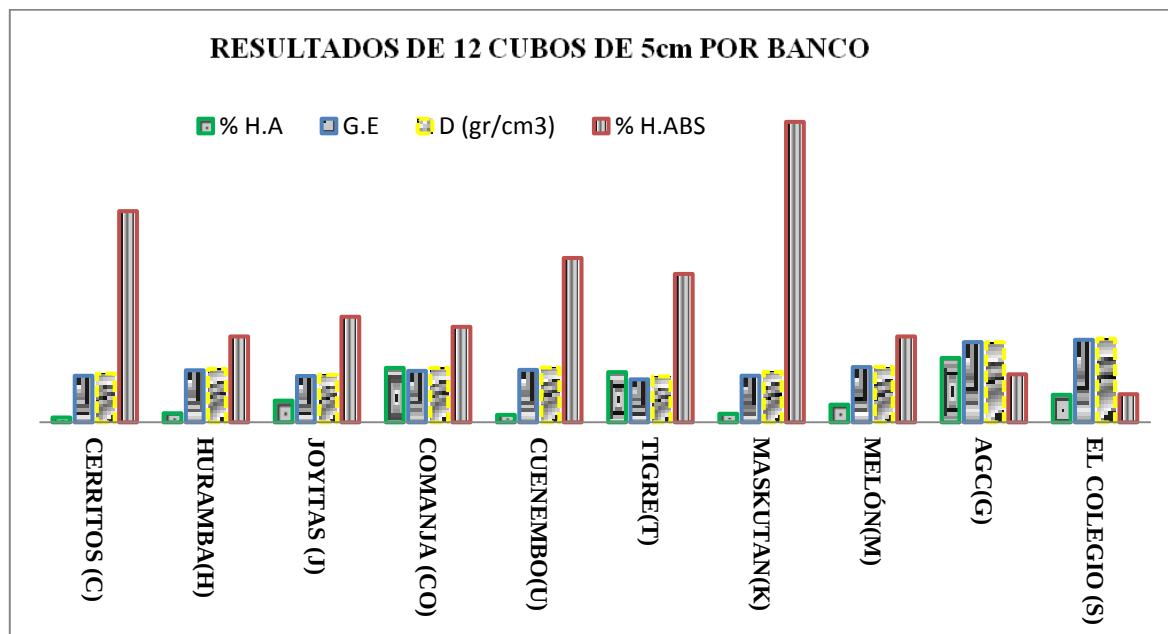


Figura N° 100. Gráfica de resultados de las propiedades físicas del promedio de 12 cubos de 5cm por banco.

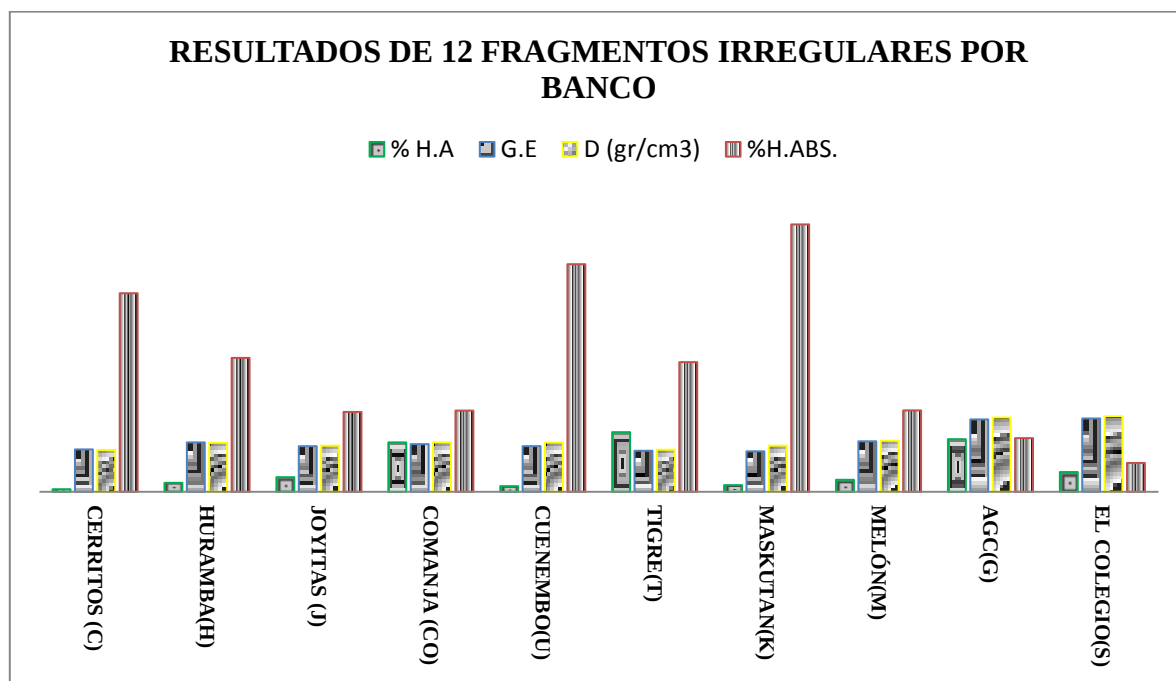


Figura N°101. Gráfica de resultados de las propiedades físicas del promedio de 12 fragmentos irregulares por banco.

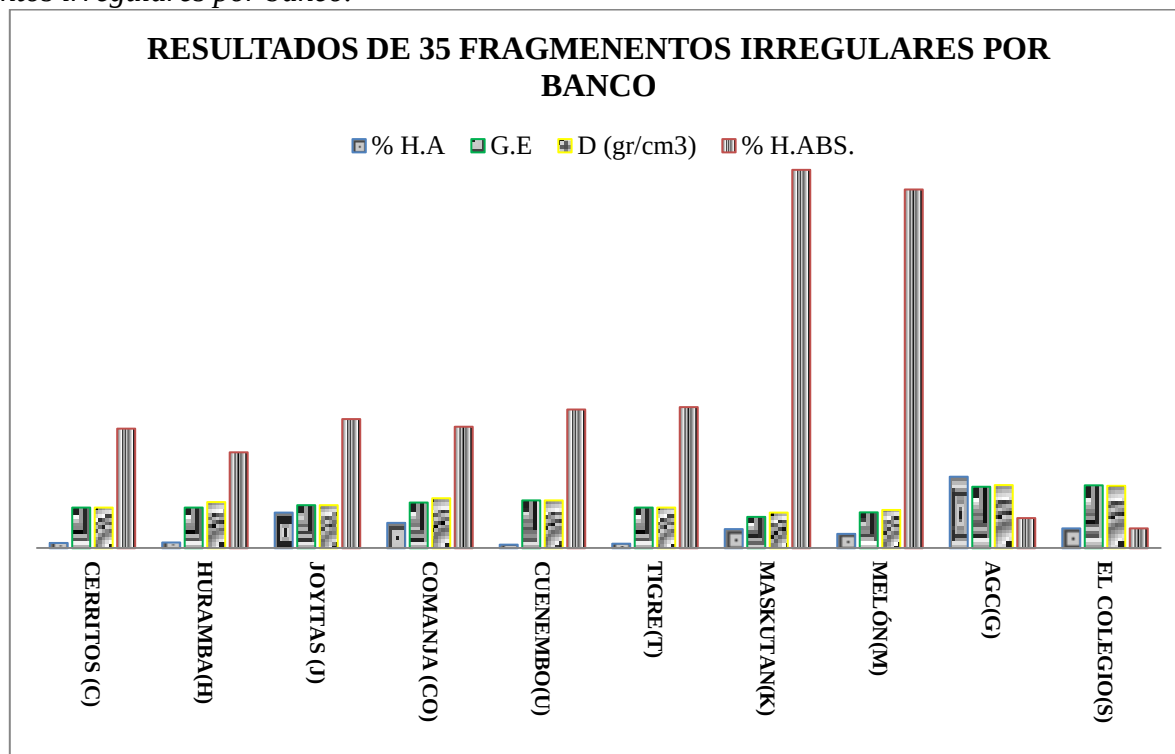


Figura N° 102. Gráfica de resultados de las propiedades físicas del promedio de 35 fragmentos irregulares por banco.

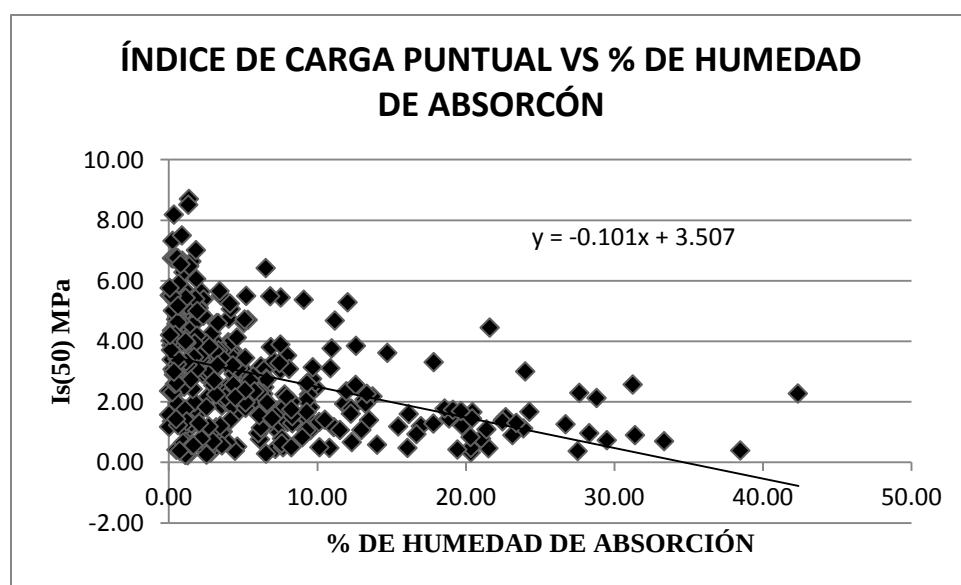


Figura N° 103. Índice de carga puntual vs % de humedad de absorción de 35 fragmentos irregulares por banco.

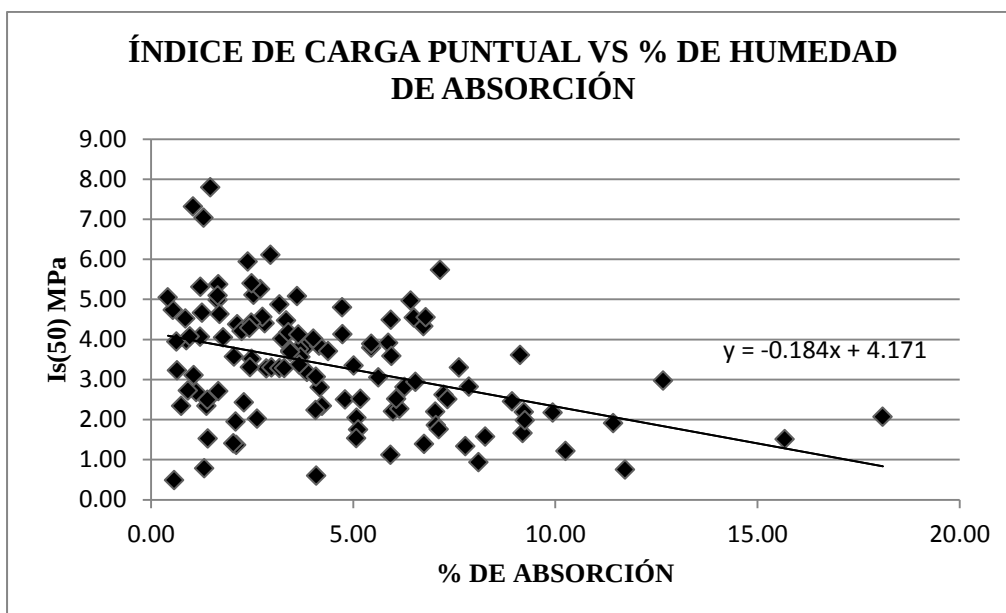


Figura N°104 . Índice de carga puntual vs % de humedad de absorción 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.

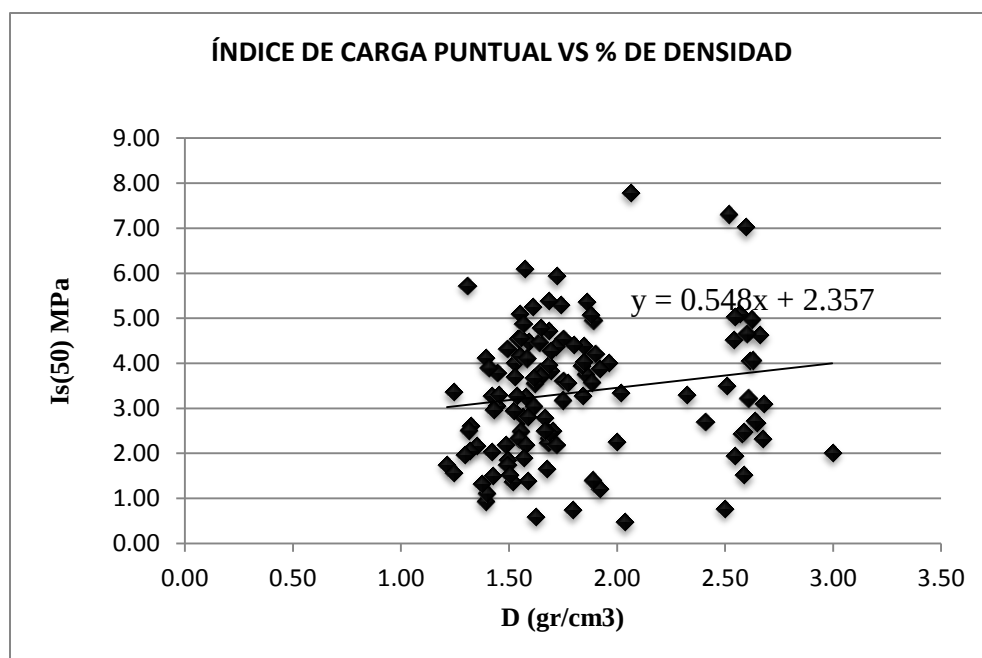


Figura N°105. Índice de carga puntual vs densidad 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.

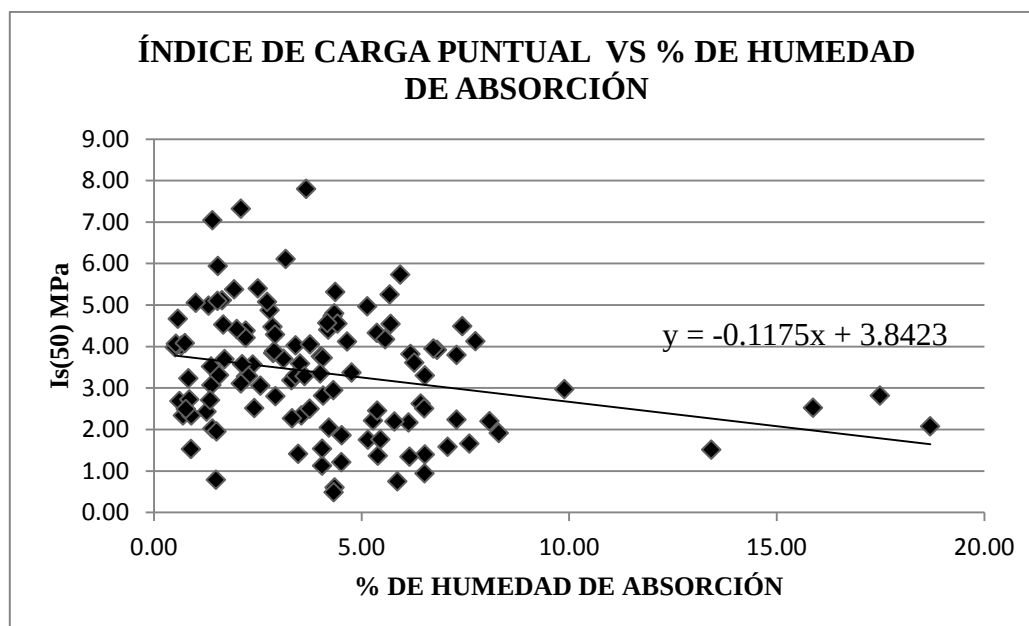


Figura N° 106. Índice de carga puntual vs % de humedad de absorción de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.

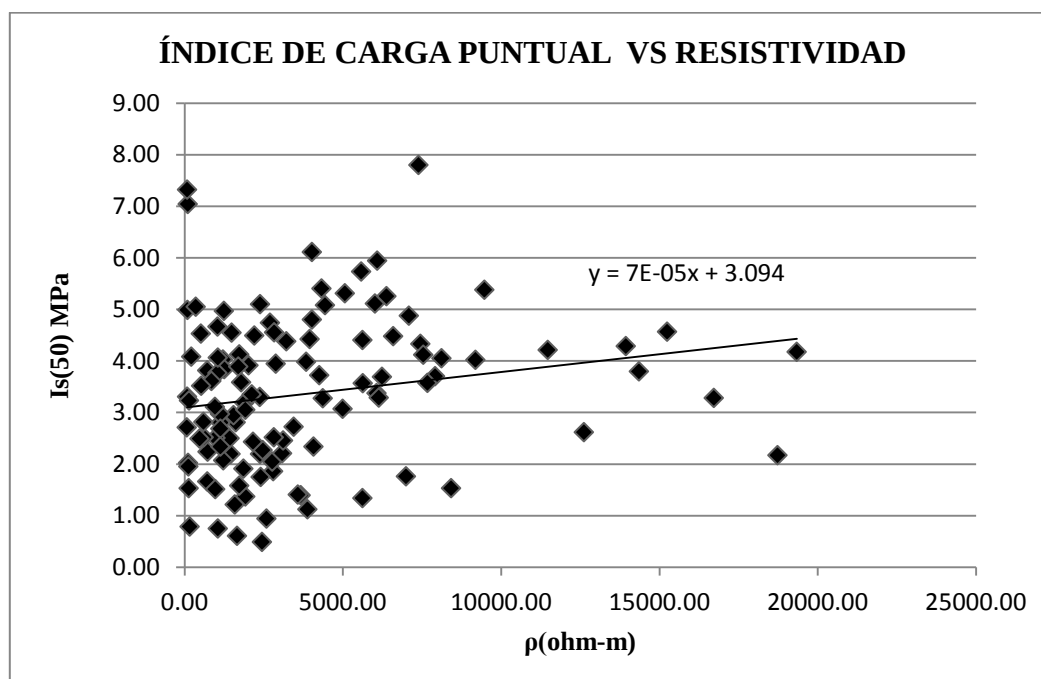


Figura N°107. Índice de carga puntual vs resistividad de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.

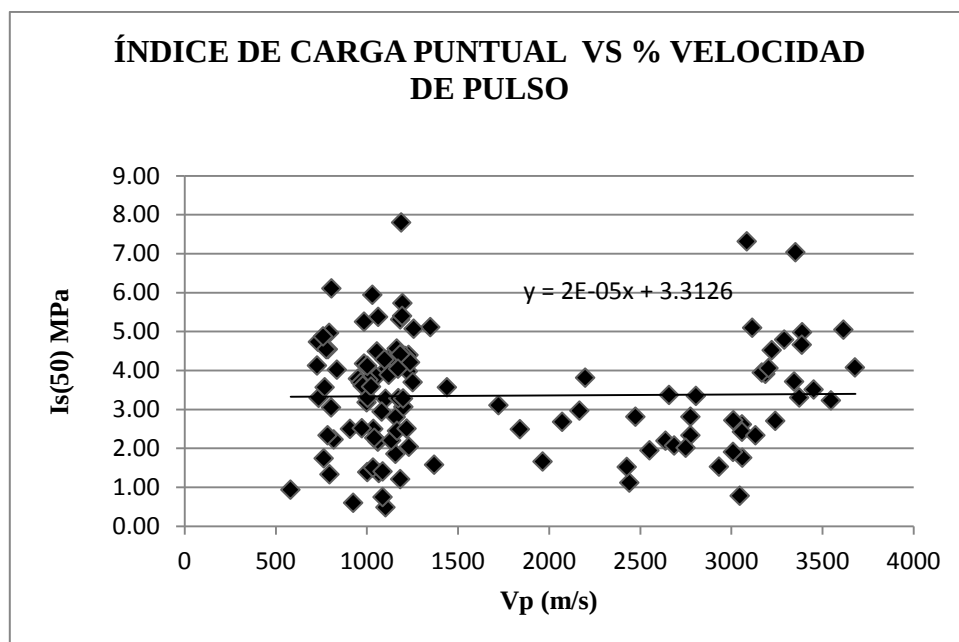


Figura N° 108. Índice de carga puntual vs velocidad de pulso de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.

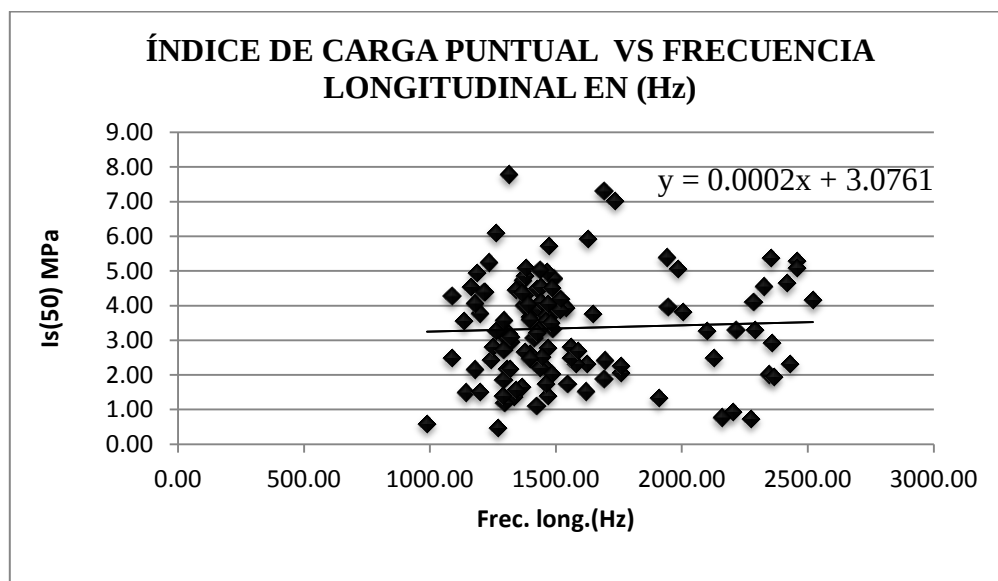


Figura N°109. Índice de carga puntual vs frecuencia longitudinal de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.

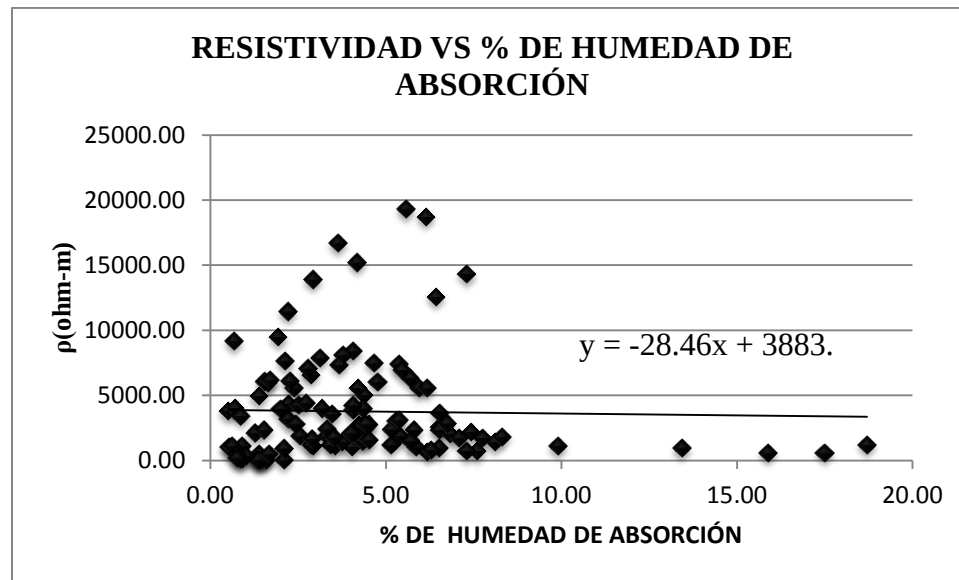


Figura N° 110. Índice de carga puntual vs % de humedad de absorción de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.

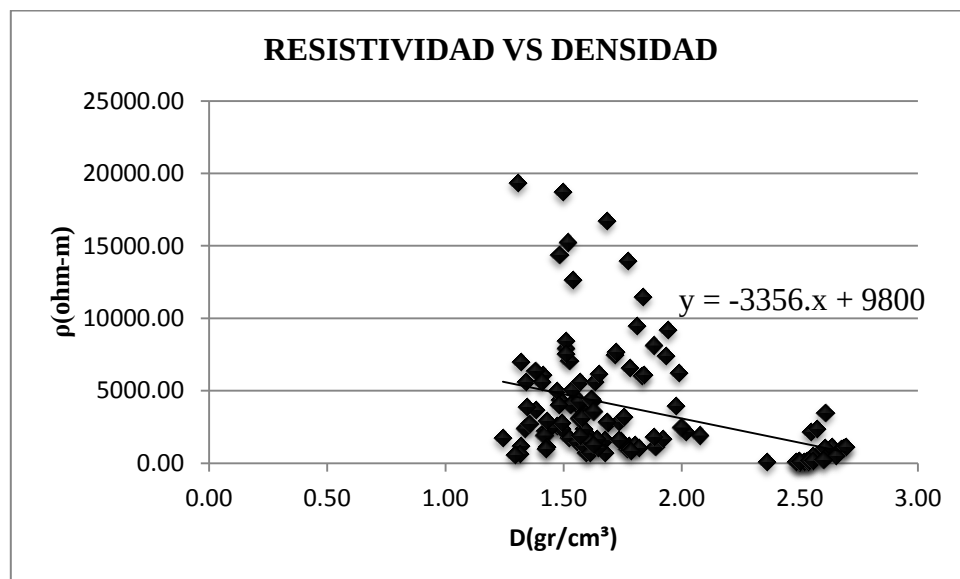


Figura N° 111. Índice de carga puntual vs densidad de 12 cubos y 12 fragmentos irregulares por banco de materiales pétreos.

Las correlaciones de las figuras anteriores se realizaron con fragmentos y cubos procedentes de rocas de cada banco, es decir, cada cubo y fragmento corresponde a una misma roca, por lo cual se correlacionan las pruebas físicas de los cubos e índice de carga puntual de los fragmentos irregulares.

Las correlaciones muestran cómo se comportan el índice de carga puntual frente a las pruebas físicas y las pruebas no destructivas, por lo cual cada gráfica muestra una línea

de tendencia la cual proporciona una idea más clara del comportamiento en general de las rocas en estudio, en este caso diez bancos de materiales pétreos.

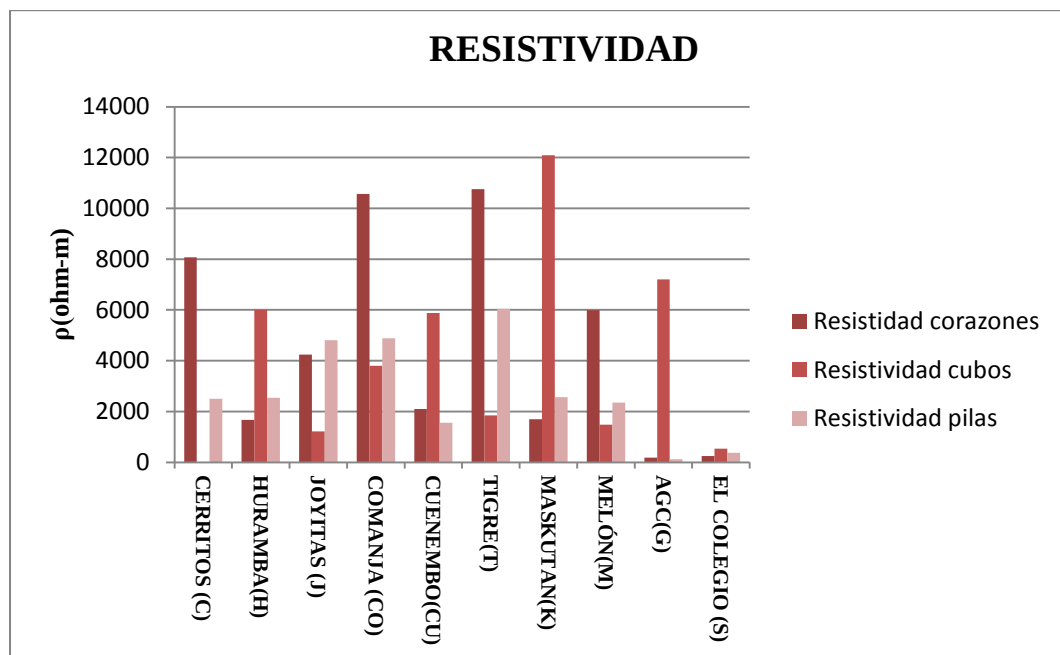


Figura N°112. Resistividad de corazones, cubos y pilas de roca.

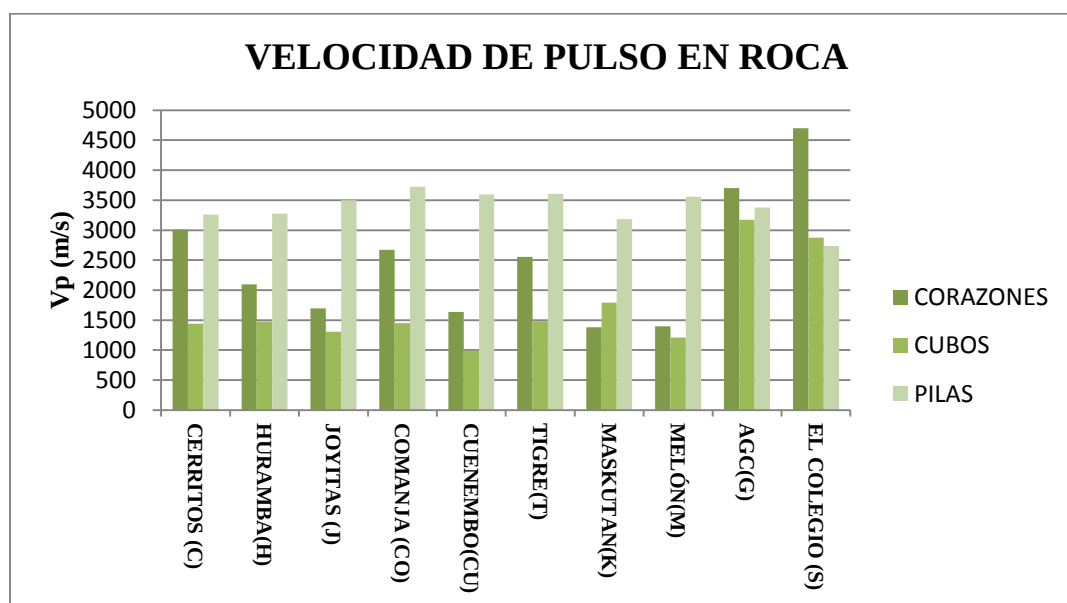


Figura N° 113. Velocidad de pulso de corazones, cubos y pilas de roca.

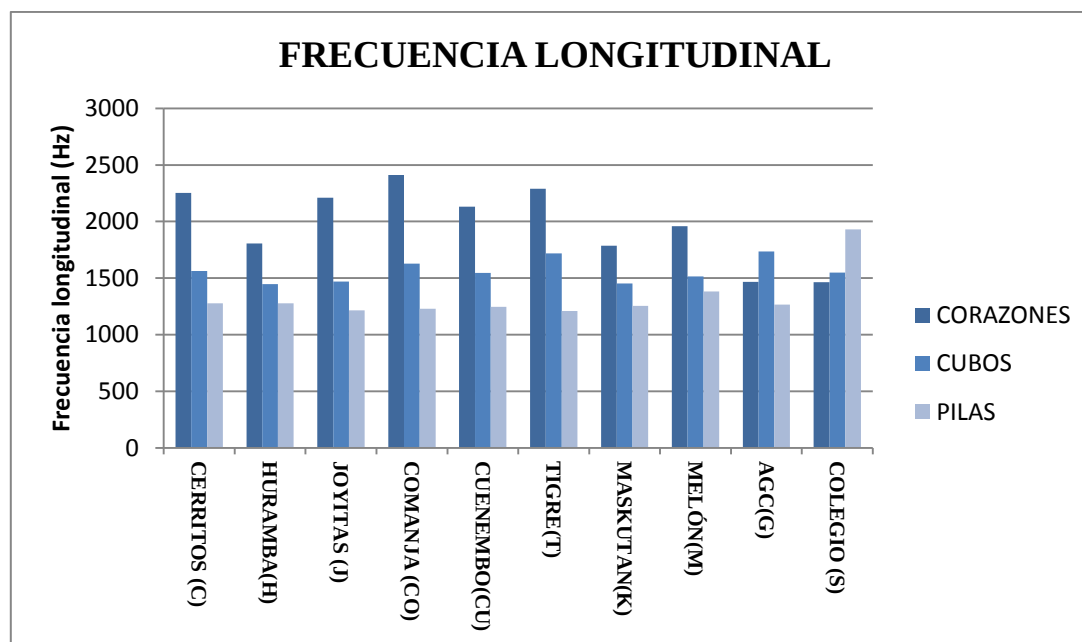


Figura N° 114. Velocidad de pulso de corazones, cubos y pilas de roca.

De las figuras 104 a la 106 se observa cómo cambia la resistividad, la velocidad de pulso y resistividad en corazones, cubos y pilas de roca, cabe mencionar que este último está unido con un mortero y lo constituyen tres cubos, por esta razón en las gráficas las pilas se comportan diferente en comparación con los corazones y cubos de roca los cuales tienen un comportamiento similar.

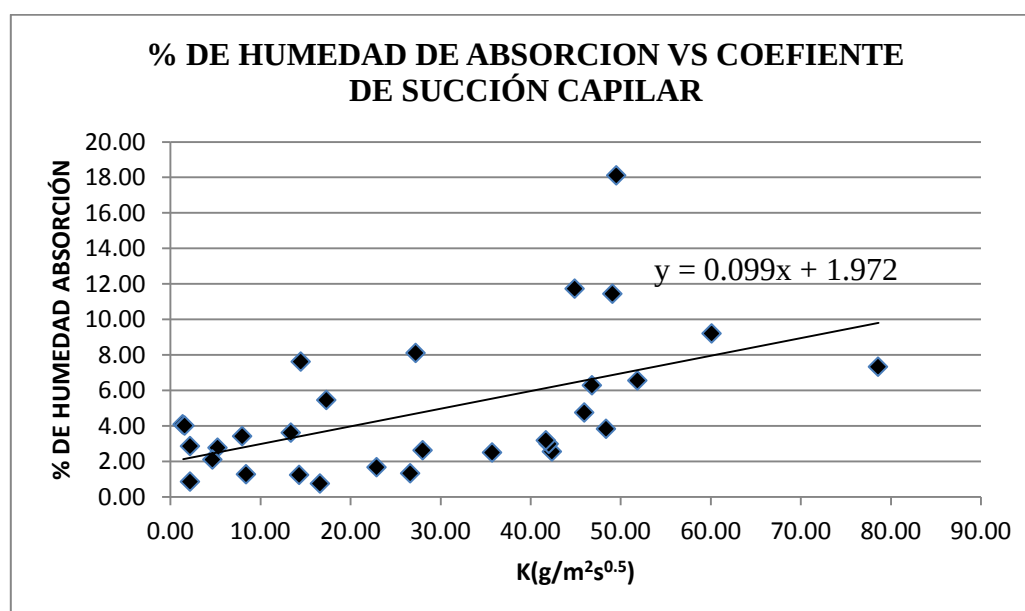


Figura N° 115. % De humedad de absorción vs coeficiente de succión capilar.

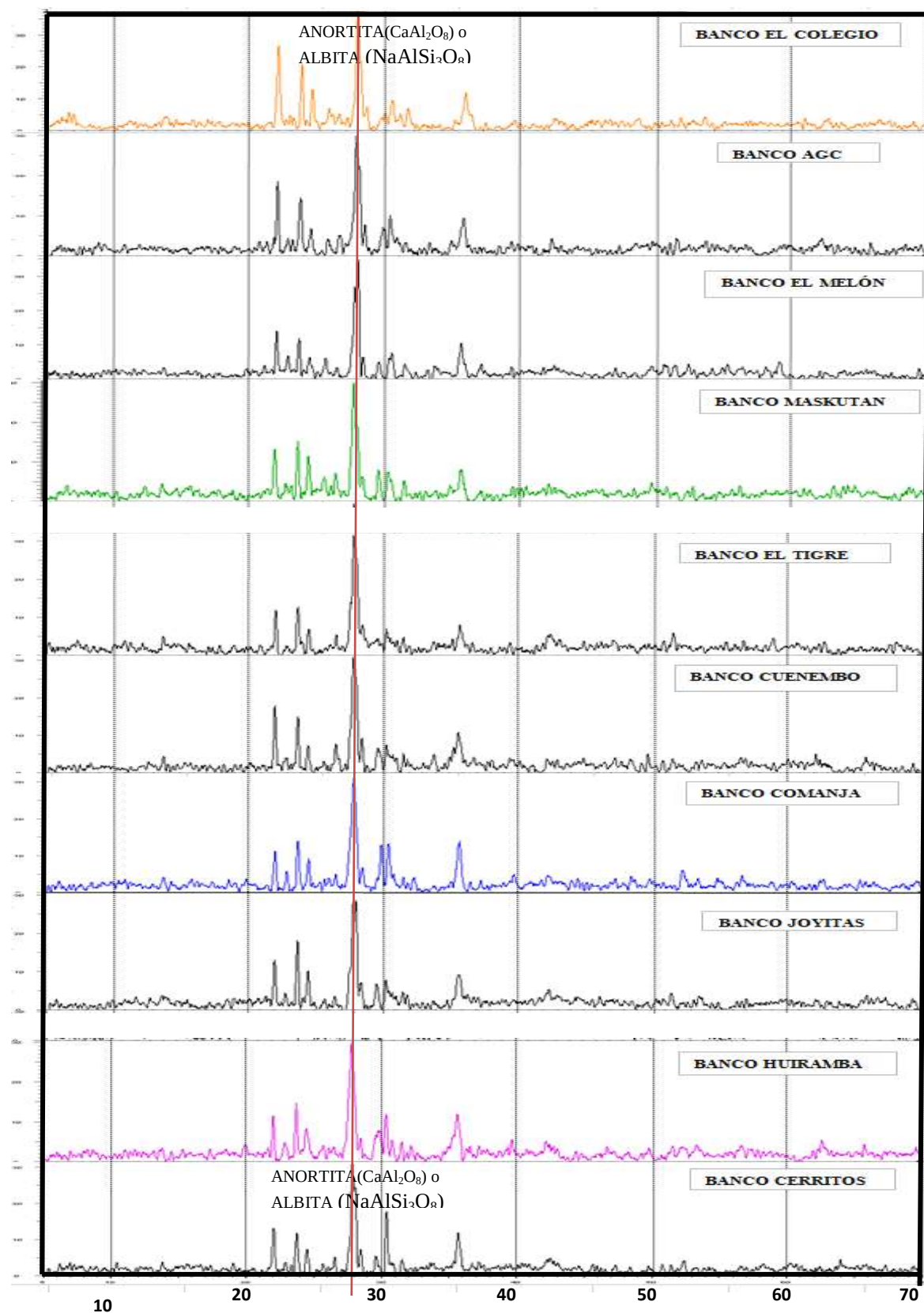


Figura N° 116. Difractogramas de los diez bancos de materiales pétreos.

12.- CONCLUSIONES

Como puede observarse las propiedades tales como densidad y gravedad específica son muy similares tienen una variación mínima.

Las propiedades en cubos de roca y fragmentos son muy similares debido a que tienen las mismas propiedades intrínsecas, lo cual nos permite con certeza conocer sus propiedades físicas en rocas labradas así como no labradas.

En cuanto a la prueba carga puntual (Point Load) se observa que el mayor índice de carga puntual se presenta en los bancos de AGC y El Colegio mismos que obtuvieron las mayores densidades y absorciones por lo tanto son materiales pétreos mas compactos y dan mayores resistencias, en contraste los bancos de materiales volcánicos son menos compactos y se observan mayores porosidades, en especial Maskutan que registra la mayor absorción por lo cual se deberán usar preferentemente los bancos antes mencionados, lo anterior se verifica observando el resultado de la Microscopía electrónica de barrido (MEB) de cada uno de los bancos en los cuales se puede ver que el banco AGC Y El Colegio no presentan mucha porosidad comparada con la microfotografía de Maskutan.

La prueba de durabilidad al desmoronamiento de rocas blandas (ASTM D 4644-87), se obtiene un índice de alterabilidad o tendencia de rotura de la estructura de la roca entre muy alta y alta, resulta que lo que se recomienda son las de alta y muy alta durabilidad porque esto estima la rotura de la estructura de la roca en el entorno de servicio, además de acuerdo a clasificación de la durabilidad en base al índice I_{D2} (González, 2002) las rocas se encuentran en los siguientes rangos: porcentaje de 95-98 (alta) y un porcentaje mayor de 98 (muy alta), con base en lo anterior los bancos de materiales en estudio cumplen con la prueba y predice el comportamiento de humedad y sequedad y su posible debilitamiento y desintegración.

La prueba de Intemperismo Acelerado, los porcentajes de la perdida son 1.75 (AGC) y 0.63 (El Colegio), de acuerdo a la norma N-CMT-2-01-003/02 materiales para mampostería (fragmentos de roca) y Reglamento de Construcción del estado de Michoacán los valores aceptados para estas rocas es de 10 porciento de pérdida de masa como máximo, para los

otros bancos de materiales se sugiere incrementar a mas de 5 ciclos y se recomienda verificar la prueba con solución de sulfato de magnesio.

Para rocas utilizadas en mampostería la Resistencia mínima es 15MPa (150 kg/cm^2) de acuerdo a la norma N-CMT-2-01-003/02 y Reglamento de Construcción del estado de Michoacán, por lo que para los bancos de triturados el Índice de Carga Puntual (I_{S50}) es 3.77 MPa AGC y 4.33 MPa El Colegio, pero de este valor podemos pasar a conocer la resistencia a la compresión simple tal como lo indica la Norma ASTM D5731-05 quedando de la siguiente manera 922.896 Kg/cm^2 AGC y 1059.98 Kg/cm^2 El Colegio, para el caso de los bancos de materiales volcánicos también superan la resistencia de 150 Kg/cm^2 .

De acuerdo a la norma N-CMT-2-01-003/02 y Reglamento de Construcción del estado de Michoacán, los valores aceptados para absorción no debe ser mayor al 4 porciento, por lo que las absorciones para los bancos AGC y El Colegio registraron los siguientes porcentajes 1.26 y 0.83, para los bancos de materiales volcánicos hubo porcentajes mayores a 4 por lo que solo se recomienda utilizar los que cumplen con la norma y el reglamento de construcción.

De acuerdo a la norma N-CMT-2-01-003/02 y Reglamento de Construcción del estado de Michoacán, la densidad aparente o gravedad especifica es de 2.3 mínima por lo cual los bancos de material triturado superan este valor y bancos de materiales volcánico están por debajo de de 2.3, se recomienda entonces utilizar las rocas de los bancos de triturados para mampostería.

Los bancos de materiales de triturados y volcánicos, en general siguen un comportamiento similar de acuerdo a su propiedades físico-mecánicas y por lo tanto influye directamente en la resistividad de la roca debido a que entre más homogénea es una roca se tiene menor resistividad, refiriéndose a homogeneidad en base a la observación macroscópica y microscópica de la porosidad de cada una de las rocas, por lo que al tener menor porosidad esto impide el paso de la corriente eléctrica obteniendo menores ohms, debido a que no tiene tanta absorción de agua factor que es importante para la resistividad, sin dejar de lado la estructura interna de las rocas ya que los poros pueden estar no interconectados lo que provoca cambios en la resistividad.

La velocidad de pulso muestra los resultados más altos para las rocas con mayores densidades y la frecuencia de resonancia tiene un comportamiento similar.

Se recomienda analizar los bancos por separado y correlacionar las pruebas con los datos de cada banco, no se deben englobar los datos de todos los bancos.

Mineralógicamente contienen los mismos minerales de acuerdo a los difractogramas pero cada banco de materiales tiene propiedades físico- mecánicas diferentes.

Con base en el conocimiento de las propiedades índice se tiende a economizar los la composición de mezclas asfálticas y de de concreto, debido a que se está aportando la información y las personas pueden diseñar de una manera más optima las mezclas.

De acuerdo a todo lo antes mencionado podemos concluir que los resultados podrán contribuir a economizar los proyectos de composición de mezclas de concreto, desde el punto de vista del consumo de cemento y de asfalto.

13.- BIBLIOGRAFÍA

- ✚ ASTM Standards, Standard: C 88-99^a. Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate.
- ✚ ASTM Standards, Standard: C 127-04. Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ✚ ASTM Standards, Standard: C215-02. Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens.
- ✚ ASTM Standards, Standard: C597-02. Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- ✚ ASTM Standards, Standard: D 2938-95. Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.
- ✚ ASTM Standards, Standard: D 5731-05. Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock.
- ✚ Bieniawski Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley and Sons Inc., United States of America, ISBN 0-471-60172-1.
- ✚ Contreras Quintero José, 2004, “Óptica mineral manual de laboratorio”, Universidad de los Andes- Ingeniería Geológica.
- ✚ CONTROLS, 58-E0049/A, 58-E0049/B Instrument for Ultrasonic Pulse Velocity and Rebound Hammer Tests, INSTRUCTION MANUAL.
- ✚ Curso de postgrado CSIC, 2011, LA CONSERVACIÓN DE LOS GEOMATERIALES UTILIZADOS EN EL PATRIMONIO, edita programa de geomateriales (comunidad de Madrid y Fondo Social Europeo, I.S.B.N. 978-84-615-7660-9, pp. 21-26.
- ✚ Demitri P. Krynine, y William R. Judd, 1961, “Principios de geología y geotecnia para ingenieros”, Editorial Omega, pp. 39-65.
- ✚ Duarte G. Carlos F., Preckwinkel Uwe, 2001, “Taller de Difracción de Rayos X por Polvos”, Sociedad Mexicana de Cristalografía, A. C., Tercer Congreso Nacional.
- ✚ EN 1052-3, Methods of test for masonry: part 3 - determination of initial shear strength.

- ✚ Esbert, R. M.; Ordaz, J.; Alonso, F. J. y Montoto, M.(1997). Manual de diagnosis y tratamiento de materiales cerámicos pétreos y cerámicos. col•legid'AparelladorsiArquitectes Tècnics de Barcelona, 139 pp.
- ✚ F. G. H. Blyth y M. H. de Freitas, 1997, "Geología para ingenieros", Compañía Editorial Continental, tercera reimpresión, ISBN 968-26-0814-7.
- ✚ FARMER I.W. 1968. Engineering properties of Rocks, Spon, London.
- ✚ Gieck Kurt, Gieck Reiner, 2003, Manual de fórmulas técnicas, Alfaomega grupo editor, ISBN 970-15-0840-8.
- ✚ JAMES INSTRUMENT INC. NON DESTRUCTIVE TESTING SYSTEMS, E-METER Resonant Frequency Tester MANUAL C-4959 MARK II.
- ✚ Jorge Luis Costafreda Mustelier, 2008, "Geología, caracterización y aplicaciones de las rocas zeolíticas del complejo volcánico de Cabo de Gata (Almería)". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- ✚ Juan José Carpio y miembros de la Red DURAR., 1998, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnostico de Corrosión En Estructuras de Hormigón Armado. Segunda Edición. Agosto, ISBN 980-296-541-3, pp. 117-119.
- ✚ Lugo-Hubp, J., 1990. El relieve de la República Mexicana. Instituto de Geología UNAM. Revista. V. 9.no. 1. P.82-111.
- ✚ Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo, 2002, Ingeniería Geológica, Editorial Pearson Educación, Madrid, ISBN84-205-3104-9.
- ✚ Microsoft ® Encarta ® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- ✚ MONTOTO, M., 1996, Técnicas no destructivas aplicadas a la Conservación del Patrimonio Histórico. En "Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos", Sebastián, E., Editor. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura, pp 85-94.
- ✚ Navarro L., Martínez W., Espinoza A., "ANÁLISIS DE MATERIALES", Manual de Análisis de Materiales, Resistencia de Materiales, FIC – UMSNH, 2000.
- ✚ Ostroumov, M. "FUNDAMENTOS DE CRISTALOGRAFÍA Y MINERALOGÍA PARA INGENIEROS", UMSNH, IIM, México, 2002.

- ✚ Ostroumov, M., 1999, “TÉCNICAS ANALÍTICAS EN LA INVESTIGACIÓN DE MINERALES”, UMSNH, IIM, México.
- ✚ Reed Wincander y James S. Monroe, 1999, “Fundamentos de geología”, Ed. International Thompson Editores, segunda edición, ISBN 970-686-024-X. Segunda Edición. Agosto, ISBN 980-296-541-3, pp. 117-119.
- ✚ Skoog Douglas A., Holler. F. James, Nieman Timothy A., 2001, “Principios de análisis instrumental”, McGRAW HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U., quinta edición, ISBN 84-481-2775-7.
- ✚ http://www2.etcg.upc.edu/asg/engeol/pdf_files/4.1_4.2roca_txt.pdf. consultada el 16 de octubre de 2012.
- ✚ http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200704/17/tierra_yuniverso/20070417klpcnatun_61.Ees.SCO.png. consultada el 1 de noviembre de 2012.
- ✚ <http://es.wikipedia.org/wiki/Volc%C3%A1n>. consultada el 20 de octubre de 2012.
- ✚ <http://docentes.educacion.navarra.es/~metayosa/1bach/masas%20%C3%ADgneas.JPG>. Consultada el 10 de noviembre de 2012.
- ✚ http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Placa_de_Cocos&oldid=56462134). Consultada el 11 de noviembre de 2012.