

**ESTUDIO PETROGRÁFICO Y MINERALÓGICO DE GRANITOIDES Y ROCAS
AFINES UTILIZADOS COMO AGREGADOS PÉTREOS EN LA CANTERA DE
EXPLOTACIÓN “MANUEL PERTUZ” DEL MUNICIPIO DE SANTA MARTA
(MAGDALENA).**

**NANCY PAOLA FIGUEROA MADERO
SANDRA PAOLA MENDOZA ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2012**

**ESTUDIO PETROGRÁFICO Y MINERALÓGICO DE GRANITOIDES Y ROCAS
AFINES UTILIZADOS COMO AGREGADOS PÉTREOS EN LA CANTERA DE
EXPLOTACIÓN “MANUEL PERTUZ” DEL MUNICIPIO DE SANTA MARTA
(MAGDALENA).**

**NANCY PAOLA FIGUEROA MADERO
SANDRA PAOLA MENDOZA ORTIZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de
GEÓLOGA**

**DIRECTOR
OSCAR MAURICIO CASTELLANOS ALARCÓN
MSc. Geólogo**

**CODIRECTOR
CARLOS ALBERTO RÍOS REYES
Geólogo PhD en Ciencias Aplicadas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a las personas que a lo largo de mi vida me han dado la formación de ser persona.

Con mucho cariño para mis padres seres de guía y sabiduría, mis hermanos constructores de frutos nuevos, a mis nuevos amores Carmen Eliza y Giovanni por ser mi motivación.

Nancy Paola Figueroa Madero

A mis padres y hermanos, por su valioso apoyo en todo momento, por el optimismo que me impulsó a seguir adelante. Por todo lo que vale la confianza depositada en mi, porque me siento orgullosa de tenerlos como los seres más cercanos e incondicionales.

Sandra Mendoza

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su amor, cariño, comprensión, por ser capaces de cargar conmigo sea cual sea mi estado de ánimo. En todo momento los llevo conmigo.

Agradezco a mis hermanos que siendo tan distintos me entendieron tanto, gracias infinitas por sus mimos, compañía, y apoyo incondicional.

A mi compañera de proyecto Paola quien me dejó compartir con ella esta última fase del proceso.

A Rafael que significa para mí más de lo que las palabras pudieran explicar, porque de forma incondicional me entendió y acompañó como un hermano en mis malos momentos.

A mis amigos, que desde un principio hasta el día de hoy siguen dándome ánimo para terminar este proceso, en especial a Karen por su capacidad de hacerme sonreír y su complicidad casi de hermana, MariaCarolina, Rocío, Silvia y Carolina C. por abrir sus brazos y brindarme su confianza, por escuchar pacientemente mis problemas y aconsejarme, Alexander por ser un motor de energía y sonrisas, Maria Isabel, Judy, Beto y Vanessa por su gran comprensión, motivación y compañía.

Agradezco infinitamente a ti mi sol, por las tantas veces que fuiste bueno conmigo, por ser siempre el motivo de mi lucha, a pesar de la dificultad de respirar el aire en que ya no estás. Eres divinamente ángel, eres luz, eres la compañía con que suelo hablar a solas.

Sandra Paola.

Agradezco a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones, por la oportunidad de compartir la existencia de Carmen Eliza.

A mis hermosos padres a quien agradezco con todo mi corazón que desde un principio hasta el día de hoy han estado acompañándome de forma incondicional, dándome todo su apoyo y aconsejándome con su sabiduría, también brindándome su amor, cariño y paciencia.

Gracias a mis hermanos, la negrita, el negrito y mi parcerito que me apoyaron en todo este proceso, sé que sin sus momentos de felicidad, confianza y lealtad este proceso no se culminaría.

Gracias a mí querido Giovanni que me apoyo y me permitió entrar en su vida durante este tiempo.

Agradezco a Sandra por ser mi compañera de proyecto, por su disposición y dedicación en cada proceso.

Gracias a todas las tontis que me acompañaron en esta aventura que significó el proyecto; Vane, Cata, Eli, Diana y karoll; y a los tontis, de malvaro, Gabis y Dani que a pesar de la distancia siempre estuvieron atentos para saber cómo iba mi proceso.

Gracias a mi angelito por todos los momentos compartidos, por ser parte de mi sangre, Dios no te quiso aquí en la tierra pero sé que te llevo para al cielo para ser mi guía y mi protección.

Gracias a todos.

Nancy Paola Figueroa Madero

Este Proyecto de Grado, si bien ha requerido de esfuerzo y dedicación por parte de las autoras, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citaremos y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte, incluso en momentos complicados.

Agradecemos a nuestros Directores El geólogo Msc. Oscar Mauricio Castellanos y el Geólogo PhD. Carlos Alberto Ríos, por habernos guiado e instruido pacientemente durante todo el proceso de elaboración del Proyecto.

A la empresa Construcciones y Agregados EL SOL, y al Geólogo Heriberto Cotes Brito, por su colaboración y aprovisionamiento del material y valiosa información para la realización de ésta investigación.

A las Directivas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, por el soporte institucional dado para éste trabajo.

Al laboratorio de Química de la Universidad Industrial de Santander por su colaboración y aporte a ésta investigación.

Agradecemos a todo el personal del Laboratorio de Caracterización de Materiales de la Escuela de Ingeniería civil, de la Universidad Industrial de Santander, ya que dentro de los ámbitos que a cada uno le competen nos colaboraron sin ningún impedimento.

Un agradecimiento muy especial al Señor Jairo Hernández, quien nos ofreció su ayuda y asesoramiento incondicional en la elaboración de los ensayos y siempre logró sacarnos una sonrisa.

A los laboratorios de Preparación de Muestras de Geología de la Universidad Industrial de Santander en especial de la Universidad de Pamplona, por su colaboración en la premisa de las muestras.

A nuestro Compañero Henry Galvis, por sus observaciones y conocimientos aportados a esta investigación.

A nuestros compañeros que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de nuestro proyecto, especialmente a Karen Vega, Catalina Niño, Vanessa Spinosi, Henry Mayorga, Humberto León, Carolina Rueda, Beto Colmenares, Alexander Villa, Eliana Jaramillo.

Paola F. y Sandra M.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	28
1. OBJETIVOS	30
1.1 OBJETIVO GENERAL	30
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
2. MARCO TEORICO	40
2.1 LOS AGREGADOS PÉTREOS	40
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS	41
2.2.1 Clasificación por tamaño	42
2.2.2 Clasificación por origen	43
2.2.3 Clasificación por densidad	43
2.3 LOS AGREGADOS MINERALES NATURALES	44
2.3.1 Descripción y clasificación de las rocas	44
2.4 DESCRIPCIÓN DE LOS MINERALES PRINCIPALES EN ROCAS PARA AGREGADOS PÉTREOS.	50
2.5 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	52
2.6 INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.	55
2.6.1 Manejabilidad	55
2.6.2 Segregación	56
2.6.3 Exudación	56
2.6.4 Temperatura	56
2.6.5 Resistencia mecánica	57
2.6.6 Permeabilidad	58

2.6.7 Durabilidad	58
2.6.8 Apariencia	58
2.7 REACCIONES QUÍMICAS DE LOS AGREGADOS	59
2.7.1 Reacción álcali-sílice	59
2.7.2 Reacción álcali-carbonato	60
2.7.3 Normativa aplicable	60
3. METODOLOGIA	62
3.1 FASE DE REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	62
3.2 FASE DE CAMPO.	62
3.3 FASE DE PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	64
3.4 FASE DE CARACTERIZACIÓN	71
3.4.1 Método de ensayo para determinar de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos hasta de 37,5 mm, utilizando la máquina de los ángeles, NTC 98.	72
3.4.2 Materia orgánica: determinación de la materia orgánica por medio del valor azul de metileno en agregados, NTC 127.	75
3.4.3 Método químico para determinar la reactividad potencial de los agregados, NTC 175.	77
3.4.4 Método para determinar la masa unitaria de los agregados, NTC 92.	79
3.4.5 Método de ensayo para determinar la densidad y absorción de agregados gruesos, NTC 176.	81
3.4.6 Método para determinar la resistencia de los agregados a los ataques con sulfato de sodio o sulfato de magnesio, NTC 126.	84
3.4.7 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, NTC 673.	87
3.4.8 Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios), NTC 2871.	90
3.4.9 Método químico de fluorescencia de rayos x para la identificación cuantitativa de elementos de la muestra.	93

3.5 FASE DE INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	94
3.6 FASE DE ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL.	94
4. ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION	95
4.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA CANTERA MANUEL PERTUZ	95
4.1.1 Localización geográfica	95
4.1.2 Localización geológica	95
4.2 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA GEOLOGÍA REGIONAL REQUERIDA PARA EL PROYECTO	97
4.2.1 Tectónica Regional	99
4.3 BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO	99
4.3.1 Geología Local	99
4.3.2 Litología	99
4.3.3 Granodiorita del Batolito de Santa Marta (Esmb)	99
4.3.3.1 Saprolito Arenoso (SA).	101
4.4 MINERALES PRIMARIOS Y PRODUCTOS DE LA METEORIZACIÓN	103
4.5 ESTRUCTURAL.	106
4.6 RESERVAS EXPLORADAS	107
4.7 SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA MANUEL PERTUZ	107
4.7.1 Tipo de Explotación	107
4.7.2 Sistema de Explotación	107
4.8 FACTORES TENIDOS EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.	113
4.8.1 Factores Geológicos:	113
4.9 LABORES DE EXPLOTACIÓN	114
4.9.1 Etapa I. Extracción de Material en Bruto	114
5. ANALISIS PETROGRAFICO	116
5.1 DESCRIPCIÓN EN MUESTRA DE MANO	117

5.2 DESCRIPCIÓN EN SECCIÓN DELGADA.	118
5.2.1 Sección SMA-1	118
5.2.2 Sección SMA-2	120
5.2.3 Sección SMA-3	123
5.2.4 Sección SMA-4	126
5.2.5 Sección SMA-5	129
5.2.6 Sección SMA-6	133
5.2.7 Sección SMA-7	136
5.2.8 Sección SMA-8	140
5.2.9 Sección SMA-9	143
5.3 DETERMINACIÓN DE ÓXIDOS Y MICROFRACTURAS EN SECCIÓN DELGADA.	146
5.4 MÉTODO QUÍMICO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA LA IDENTIFICACIÓN CUANTITATIVA DE ELEMENTOS DE LA MUESTRA.	147
6. ENSAYOS TECNOLOGICOS	150
6.1 TAMIZADO DE MATERIALES GRANULADOS, NTC 177	150
6.2 MÉTODO PARA DETERMINAR LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS, NTC 92.	152
6.3 MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS HASTA DE 37,5 MM, UTILIZANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES, NTC 98.	154
6.4 MÉTODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS A LOS ATAQUES CON SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO, NTC 126.	155
6.5 MÉTODO QUÍMICO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD POTENCIAL A AGREGADOS, NTC 175.	156
6.6 MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS, NTC 176.	157

6.7 DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA POR MEDIO DEL VALOR AZUL DE METILENO EN AGREGADOS, NTC 127.	158
6.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO, NTC 673.	159
6.9 MÉTODO SUGERIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES ROCOSOS SOMETIDOS A FLEXIÓN MEDIANTE EL ENSAYO DE LA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA SOMETIDA A CARGA PUNTAL EN EL CENTRO.	161
7. CONCLUSIONES	164
8. RECOMENDACIONES	167
BIBLIOGRAFIA	168
ANEXOS	176

LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Caracterización física y mecánica de rocas. Esquemático.	61
Figura 2. (a) Proceso de perforación para la obtención de núcleos. (b) detalle de (a). (c)-(d) Núcleos de perforación de las muestras SM1 y SM2.	65
Figura 3. Muestras cortadas según las dimensiones requeridas (5*5*12 cm).	66
Figura 4. Proceso de trituración para ensayos tecnológicos.(a) Material en la cantera – Sobre tamaños. (b) Bloque de roca según las dimensiones 50 cm X 30 cm X 40 cm. (c) Material picado con el martillo. (d) Trituradora de Mandíbulas BB 200 RETSCH. (e) Bandeja de la Trituradora con el material según el tamaño 3,8 cm. Muestras trituradas: (f) SM1. (g) SM2. (h) SM3.	67
Figura 5. Determinación del material a tamizar. (a) Material pesado en la báscula marca Ohaus. (b) Material a tamizar.	69
Figura6. Peso inicial de las muestras antes de tamizar 15000 gr. (a)-(b) Muestra SM1. (c)-(d) Muestra SM2. (e)-(f) Muestra SM3.	69
Figura 7. Proceso de tamizado manual(a) Tamices 1 ½, 1, ¾, ½, 3/8. (b) Proceso de tamizado.	70
Figura 8. Muestra retenida en cada tamiz. (a). 1 ½. (b) 1. (c)¾. (d)½. (e)3/8. (f) # 4	70
Figura 10. (a)-(b) Máquina de los Ángeles. (b). 12 bolas de acero.	74
Figura 11.Determinación de la muestra inicial antes de introducirla a la máquina de los ángeles (a)-(b) Muestra SM1 peso inicial: 10000 gr.	74
Figura 12. Material de la muestra SM1 extraído de la máquina de os ángeles.(a) Material retirado del cilindro de la Máquina de los Ángeles. (b) Tamiz N° 120. (c), (d) Material pesado valor obtenido 6218 gr.	75
Figura 13. Muestras pulverizadas para analizar materia orgánica.(a). Muestra SM1. (b) Muestra SM2. (c) Muestra SM3. Pulverizadas.	76

- Figura 14. Proceso para determinar el contenido de materia orgánica. (a) Solución de hidróxido de sodio. (b) Mezcla entre cada muestra y la solución. (c) Resultado después de 24 horas. (d) Tabla HELLIGE TESTER N° 815 por la norma A.S.T.M. C-40. 77
- Figura 15. Preparación de la muestra SM1 para análisis gravimétrico. (a) Tamiz N° 200. (b), (c) Muestra enfrascada. (d) Peso de la muestra 30,4 gr. Se utilizó la balanza Marca Shimadzu modelo BW22KH. 78
- Figura 16. Muestra SM2. (a) Agregado depositado con pala en el recipiente metálico. (b) Agregado pesado en la báscula. Pesos en gr: (c) 6514 gr. (d) 6558 gr. (e) 6634 gr. 79
- Figura 17. Muestra SM1. (a) Agregado es apisonado con la varilla en el recipiente metálico. (b) El agregado es golpeado en los extremos exteriores del recipiente (c) Agregado pesado en la báscula. Pesos en gr: (d) 6884 gr. (e) 6890 gr. (f) 6784 gr. 80
- Figura 18. (a)-(b) Balde metálico sobre la báscula y valor 2526 gr. (c)-(d) Balde + vidrio sobre la báscula y valor 3012 gr. (e)-(f) Balde + agua + vidrio sobre la báscula y valor 5834 gr. 81
- Figura 19. Procedimiento de la norma NTC 176 para la Muestra SM1 (a) sumergida en el balde con agua por 24 h. (b) Se expulsa el agua del balde. (c) Muestra extendida para secado. (d) Muestra secada con la toalla. (e) Muestra total seca. (f)-(g) Platón en la balanza y valor 340 gr. (h)-(i) Muestra SM1 en la báscula marca Ohaus y valor 5340 gr. 83
- Figura 20. (a). Montaje para la prueba. (b) Balde con agua + canastilla. (c) Canastilla metálica. (d) Muestra depositada en la canastilla de metal. (e) Muestra SM1 pesada en la balanza Marca Shimadzu modelo BW22KH valor 5285 gr. 84
- Figura 21. (a) Muestra SM1 determinada. (b) Recipiente con agua. (c) Determinación del sulfato de anhídrido 3500 gr. (d) Solución preparada. (e) Muestras empacadas en bolsas de tela. (f). Muestras sumergidas en la solución. (g) Muestras introducidas en el horno. Después de 5 ciclos. (h) Resultado

<p>cualitativo de la muestra SM1 Seca 5358 gr. (i) Detalle cualitativo de la muestra SM1.</p>	86
<p>Figura 22. (a) Maquina Alfred J. Amsler y CIA. Modelo 79/191, prensa hidráulica. (b) Medidor (c) Muestra comprimida. (d) Resultado de la resistencia de la muestra comprimida en kg.</p>	87
<p>Figura 23. Esquema de los modelos de fractura típicos.</p>	88
<p>Figura 24. Ensayo de resistencia a la compresión de cada muestra antes de ser sometidas a esfuerzo: (a) SM1.1. (c) SM2.1. (e) SM3.1. Núcleos fallados resultantes del ensayo: (b) SM1.1. (d) SM2.1. (f) SM3.1.</p>	89
<p>Figura 25. Tabletas con dimensiones de 5 cm X 5 cm X 12 cm.</p>	90
<p>Figura 26. (a) Maquina de flexión Universal, MTS 810 Material Test System, modelo 31850. (b) Punto de aplicador de carga y puntos de apoyo en acero. (c) Prueba a la resistencia de flexión. (d) Registro de resultados.</p>	91
<p>Figura 27. Resultado a la resistencia de flexión. (a) SM1. (c) SM2. (e) SM3. Muestras Fracturas (b) SM1. (d) SM2. (f) SM3.</p>	92
<p>Figura 28. Análisis a cada muestra con el espectrómetro.</p>	93
<p>Figura 29. Localización del título Minero HKN-1591. Cantera “Manuel Pertuz” en el contexto Costa Caribe de Colombia. (Modificado de: Google Earth2012).</p>	96
<p>Figura 30. Microlocalizacion de la Cantera “Manuel Pertuz” en el Distrito de Santa Marta. (Imagen Satelital oblicua adaptada de Google Earth, 2012).</p>	97
<p>Figura 31. Marco geológico regional del yacimiento de Materiales de Construcción de Cantera “Manuel Pertuz”.</p>	98
<p>Figura 32. Marco Geológico local del Título Minero N° HKN-15091. (Adaptado de Ingeominas, 1998).</p>	100
<p>Figura 33. Acercamiento de la Roca Granodiorita del Batolito de Santa Marta (Tcd), aflorante en la Cantera “Manuel Pertuz”.</p>	101
<p>Figura 34. Capas de perfil de meteorización de la Granodiorita del Batolito de Santa Marta (Esmb), en Cantera “Manuel Pertuz”, Santa Marta, Colombia.</p>	102
<p>Figura 35. Escala de Goldich de alterabilidad de las rocas según su composición mineralógica. (Adaptado de Suarez, 1992).</p>	104

Figura 36. Evolución del paisaje granítico (modificado de Brook, 1978).	104
Figura 37. Perfil generalizado de la meteorización de un macizo rocoso compuesto por rocas graníticas, similares a las aflorantes en el área de estudio. Nótese la variación del espesor del saprolito dependiendo del fracturamiento de la roca parental o “bed rock”.	105
Figura 38. Detalle del saprolito arenoso. Santa Marta, Magd. Nótese la coloración parda rojiza, y que todavía se retiene la textura de la roca fresca e intacta.	106
Figura 39. Esquema del proceso de explotación en Cantera “MANUEL PERTUZ” (Tít. Minero No. HKN-15091) - (A. Perfil original; B. Descapote; C. Explotación en Bancos; D. Relleno; E. Reconstitución del Suelo; F. Re vegetación. (Adaptado de Gobierno de la Rioja, 2006).	108
Figura 40. (a) Entrada a la cantera. (b) vías dentro de la cantera. (c), (d) zonas de depósitos de los materiales pétreos.	109
Figura 41. (a)-(c) Rocas en tamaños llamado “Sobretamaños”. (b)-(d) Tamaños adecuados para introducir el material a las maquinas trituradoras.	110
Figura 42. Máquinas de trituración en la cantera.	111
Figura 43. Material triturado.	112
Figura 44. Los números 1, 2, 3, 4 corresponden a la variedad de texturas y composición de las rocas ígneas existentes en la cantera “Manuel Pertuz” que van desde Máficas a Félsicas.	112
Figura 45. (a). Esquistos del Gaira. (b) Marmoleta.	113
Figura 46. Extracción de Material en bruto.	114
Figura 47. Maquinaria utilizada en la Cantera “Manuel Pertuz”.	115
Figura 48. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (d), (e) y (f): (a) Biotita oxidándose con inclusiones de ortoclasa (Aumento 5x). (d) en el centro de la fotografía encontramos Esfena presentando pequeño rellenos de Biotita oxidada (Aumento 10x). (e) microcuarzos euhedrales rodeados de hornblenda (Aumento 5x). (f) Plagioclasas tipo Albita algunos cristales con fracturas (Aumento 5x). Microfotografías tomadas en PPL (b), (c).	120

- Figura 49. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (c), y (e): (a) Plagioclasas tipo albita- Ca superpuestas. Hornblenda variedad de birrefringencia. (c) Plagioclasa alterando a sericita intruyendo a la hornblenda así mismo la biotita cloritizada. (e) Biotita alterando a clorita, en otros cristales oxidándose, Mientras la ortoclasa presenta alteración. Microfotografías tomadas en PPL; (b) y (d). (Aumento 5x). 123
- Figura 50. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (b), (c), (f): (a) Hornblenda euedral con cristales inequigranulares. (b) Plagioclasa tipo albita. (c) Textura alotriomórfica. (f) Biotita oxida con cristales alargados de esfena. Microfotografías tomadas en PPL; (d)-(e). (Aumento 5x). 126
- Figura 51. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (c), (e): (a) Microclina con macla tipo tartán, hornblenda fracturada (Aumento 5x). (c) Hornblenda con birrefringencia azulosa verdosa, la ortoclasa con extinción ondulante (Aumento 10x). (e) Textura panidiomórfica. Microfotografías tomadas en PPL; (b), (d), (f). 129
- Figura 52. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (c), (e): (a) Biotita oxidada en contacto irregular con la esfena mientras la plagioclasa la entrelaza. (c) Biotita en diferentes direcciones entre cruzadas, plagioclasa tipo polisintética mientras otros cristales se encuentra alterando a sericita. (e) Plagioclasa con dos maclas en un mismo cristal, tipo albita. Microfotografías tomadas en PPL; (b)-(d). (Aumento 5x). 132
- Figura 53. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (b), (c), (e), (g): (a) Plagioclasa tipo polisintética con maclas entre cruzadas (Aumento 5x). (b) Plagioclasas superpuestas (Aumento 5x). (c) Cristal esfena rodea mineral opaco, hornblenda con birrefringencia amarilla (Aumento 5x). (e) Ortoclasa alterada mientras las plagioclasa con extinción ondulosa (Aumento 10x). (g) Biotita cloritizada rodeada de ortoclasa altamente alterada. Microfotografías tomadas en PPL; (d), (f), (h). 135
- Figura 54. Microfotografías tomadas en XLP; (a) (b) (c) (d) (Aumento 5x). (e)-(f) (Aumento 10x): (a) Plagioclasa con macla tipo Tartán aparentemente. (b) Plagioclasa con maclas tipo Carlsbad con presencia de zonación ondulosa.

Textura mirmequitica en la plagioclasa: (c)-(f) Levemente alterada con textura mirmequitica en los bordes del cristal. (). (d) Todo el cristal, otros cristales con zonación continua homogénea. (e) en diferentes cristales presentes con la textura. 138

Figura 55. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (b), (c), (d), (e): (a) Microclina con macla tipo Tartán (Aumento 5x). (b) Cuarzos alargados irregulares mostrando extinción (Aumento 5x). (c) Biotita intruída por una plagioclasa deformada mientras se va entrelazando con la esfena (Aumento 10x). (d) Clinozoicita rodeada por minerales de hornblenda, cuarzo con zonación y plagioclasa tipo albita (Aumento 5x). (e) Hornblenda con intrusiones en una dirección de biotita oxidada y cristales de ortoclasa (Aumento 5x).

Microfotografías tomadas en PPL; (f) 139

Figura 56. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (c), (e), (g): (a) zircón aislado. (c) Esfena euhedral. (e) Plagioclasa rodeada por cristales alargados de biotita. (g) Plagioclasa con maclas entrelazadas con un ángulo mayor a 90°.

Microfotografías tomadas en PPL; (b), (d), (f), (h): (h) Biotita cloritizada con inclusiones de cristales de esfena bien formados. (Aumento 10x). 142

Figura 57. Microfotografías tomadas en XLP; (b), (c), (e), (f): (b) Biotita cloritizada altamente fracturada (Aumento 5x). (c) Hornblenda fracturada (Aumento 10x). (e)-(f) Plagioclasa deformadas (Aumento 5x). Microfotografías tomadas en PPL; (a), (d). 145

LISTAS DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Representación de la concentración porcentual de elementos determinada por fluorescencia de rayos X para las muestras SM1, SM2 y SM3.	148
Gráfica 2. Gradación granulométrica para las muestras SM1, SM2 y SM3.	151
Grafica 3. Resultado resistencia a la compresión total muestras.	160
Gráfica 4. Curva fuerza-desplazamiento de las tabletas sometidas al ensayo de flexión.	162

LISTAS DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de algunas rocas para concreto.	45
Tabla 2. Composición Mineral en las rocas y algunas características como agregados pétreos..	46
Tabla 3. Tamaño de muestra en ensayo.	68
Tabla 4. Datos de gradación, carga abrasiva y revoluciones.	73
Tabla 5. Masa requerida por tamaño de partículas.	85
Tabla 6. Análisis macroscópicas de las muestra objeto de estudio.	117
Tabla 7. Datos de concentración de elementos determinada por fluorescencia de rayos X de las muestras SM1, SM2 y SM3.	147
Tabla 8. Gradación granulométrica de las muestras SM1, SM2, y SM3.	150
Tabla 9. Valores del peso unitario suelto a 3 repeticiones.	152
Tabla 10. Valores del peso unitario compactado a 3 repeticiones.	152
Tabla 11. Valores de peso unitario y porcentaje de vacíos.	153
Tabla 12. Resistencia al desgaste según la máquina de Los Ángeles.	154
Tabla 13. Resistencia al desgaste - ataque Sulfato de anhídrido.	155
Tabla 14. Calculo gravedades específicas para agregados gruesos.	157
Tabla 15. Calculo de densidades.	158
Tabla 16. Datos ensayo de compresión y resistencia a la compresión de cada muestra.	159
Tabla 17. Resultado módulo de ruptura de las tabletas correspondientes a cada muestra.	162

RESUMEN

TITULO: “ESTUDIO PETROGRÁFICO Y MINERALÓGICO DE GRANITOIDES Y ROCAS AFINES UTILIZADOS COMO AGREGADOS PÉTREOS EN LA CANTERA DE EXPLOTACIÓN “MANUEL PERTUZ” DEL MUNICIPIO DE SANTA MARTA (MAGDALENA).”

AUTORES: NANCY PAOLA FIGUEROA MADERO
SANDRA PAOLA MENDOZA ORTIZ**

Palabras Claves: Agregados pétreos, geomateriales, Granitoides,

DESCRIPCIÓN

El proyecto de investigación que se presenta a continuación, contiene la evaluación de las características físicas, químicas, petrográficas y mineralógicas de los agregados que se extraen en la cantera “Manuel Pertuz” en jurisdicción de la vereda Bureche al sureste del casco urbano del Distrito de Santa Marta (Magdalena) y se tiene como finalidad determinar si los agregados que se emplean en esta región son apropiados como agregados pétreos.

Para analizar las propiedades de las muestras de agregado se utilizó la Normativa Técnica Colombiana NTC que especifica los requisitos generales que debe llenar un agregado.

Dentro del desarrollo experimental se realiza la descripción teórica y metodología de las normas empleadas para determinar las características físicas (granulometría, densidad y peso unitario), las propiedades químicas y mineralógicas (composición, contenido de sílice, minerales de alteración) y las propiedades mecánicas (resistencia al desgaste, resistencia a la compresión, y a la flexión).

Se presentan los resultados, tablas y gráficas realizados con los análisis de los resultados y principales hallazgos obtenidos, por último, se incluyen las conclusiones y recomendaciones producto del estudio.

Con el proyecto se establecieron bases firmes para la interpretación de experiencias en lugares en los cuales se identifiquen formaciones petrográficamente semejantes o iguales a aquellas en que se tenga la experiencia previa. Se aportaron datos cualitativos y cuantitativos de las propiedades de los granitoides del Batolito de Santa Marta aflorantes en la cantera Manuel Pertuz.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, DIRECTOR OSCAR MAURICIO CASTELLANOS ALARCÓN CODIRECTOR CARLOS ALBERTO RÍOS REYES

ABSTRACT

TITLE: " GRANITOIDES's PETROGRAPHIC AND MINERALOGICAL STUDY AND RELATED ROCKS USED AS ATTACHÉS PÉTREOS IN THE QUARRY OF EXPLOITATION " MANUEL PERTUZ " OF THE MUNICIPALITY OF HOLY MARTEN (SPONGE-CAKE) "

AUTHORS: NANCY PAOLA FIGUEROA MADERO
SANDRA PAOLA MENDOZA ORTIZ**

Key Words: stony Attachés, geomateriales, Granitoides

The research project presented below contains the evaluation of physical, chemical, petrographic and mineralogical characteristics of the aggregates that are mined in the quarry "Manuel Pertuz" at the jurisdiction of village Bureche town southeast of the Santa Marta District (Magdalena). And seeks to determine whether the aggregates used in this region are suitable as rock aggregates or not.

To analyze the properties of the aggregates were used the Colombian Technical Standards NTC witch specifies the general requirements that an aggregate must fulfill.

Within the development is carried out experimental and theoretical description of the standard methodology used to determine the physical characteristics (grain size, density and unit weight), chemical, mineralogical properties (composition, silica, mineral alteration) and mechanical properties (wear resistance, resistance to compression and bending).

It is presented the results, tables and graphics made with the analysis of results and main findings obtained. Finally, the conclusions and recommendations of the product under study are shown.

The project established a firm foundation for the interpretation of experiences in places where formations are identified petrographically similar or identical to those in which they have previous experience. Data were provided qualitative and quantitative properties of the granitoides in The Batolito de Santa Marta outcropping in Manuel Pertuz quarry.

* Thesis of grade

** Faculty of Physicochemical Engineerings, School of Geology, DIRECTOR OSCAR MAURICIO CASTELLANOS ALARCÓN CODIRECTOR CARLOS ALBERTO RÍOS REYES

INTRODUCCION

La roca natural es un material tradicionalmente utilizado en construcción por sus propiedades: dureza, resistencia y durabilidad, a las que hay que sumar el valor estético es por tal razón que sus características son apreciadas como signo de calidad, especialmente en edificaciones notables, concebidas para perdurar durante generaciones.

El incremento de la construcción en Colombia ha aumentado la demanda de rocas que tengan un adecuado desempeño, ya que no todas son aptas para este fin.

Se hace común el uso de agregados pétreos como componentes fundamentales del concreto y de las bases granulares. Sus características afectan no solo las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido sino también el costo del mismo. Los agregados conforman entre el 70% y el 80% del volumen del concreto, razón por la cual es importante conocer sus propiedades y la influencia de las mismas en las propiedades del concreto para optimizar no solo su uso y explotación, sino también el diseño de mezclas del mismo.

Definitivamente las propiedades físicas, químicas, petrográficas y mecánicas de los agregados, tienen una influencia importante. Sin embargo, uno de los problemas que generalmente encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el concreto, es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados.

El objetivo general de este proyecto es la caracterización de los Granitoides y rocas afines presentes en el área de trabajo correspondiente a la cantera "Manuel

Pertuz” determinando sus rasgos petrográficos, mineralógicos, físicos, mecánicos, y químicos como agregados pétreos gruesos en la industria de la construcción.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una caracterización de los Granitoides y rocas afines presentes en el área de trabajo correspondiente a la cantera “Manuel Pertuz” determinando sus rasgos petrográficos, mineralógicos, petrofísicos, mecánicos, y químicos como agregados pétreos gruesos en la industria de la construcción, adquiriendo conocimientos y experiencias significativas en la aplicabilidad de estos agregados.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio petrográfico macroscópico y microscópico de los Granitoides con el propósito de identificar y reconocer sus características tanto mineralógicas como texturales.
- Determinar las características químicas y petrográficas de los materiales, para su buen uso en el diseño de mezclas de concreto, para evitar efectos dañinos por la reactividad potencial de los agregados a largo plazo.
- Realizar la contextualización Geológica regional de la Cantera “Manuel Pertuz”.
- Obtener resultados de los ensayos, analizar el comportamiento físico-mecánico y concluir sobre la calidad de los materiales.
- Realizar un cuadro comparativo de las muestras según sus propiedades industriales estudiadas en el proyecto.

- Aportar información sobre la influencia e importancia de las características de los agregados en las propiedades del concreto.

2. ANTECEDENTES

Existen varias investigaciones a nivel mundial y nacional, donde se han efectuado intentos para evaluar la calidad de los agregados, ya sea para efectos de caracterización o para establecer relaciones entre rasgos estructurales y comportamientos.

La petrografía es una parte fundamental de la Geología desde 1850 cuando Henry Clifton Sorby, geólogo inglés promocionó el uso de secciones delgadas en microscopios, para el estudio de rocas y minerales.

Cañavera J (1988), menciona que los métodos de la petrografía de las muestras de agregados se han extendido satisfactoriamente al estudio del clínker, cemento portland, pasta, mortero y concreto ya que se permite describir propiedades físicas tales como permeabilidad, densidad, absorción, porosidad, durabilidad, constitución del acabado superficial.

En 1904 la American Standard For Testing Materials (ASTM), publica por primera vez sus estándares de calidad para el cemento Portland, incluyendo los agregados pétreos.

En 1954, la norma ASTM C-295 de la petrografía de los agregados para concreto fue publicada, seguida por las normas C-856 de 1977 sobre el análisis petrográfico de concreto y C-1324 del año 2002 sobre petrografía del mortero.

Durante el SIMPOSIO SOBRE INGENIERIA GEOLOGICA del año 1968, Botero et al, mencionan algunas aplicaciones de la petrografía a la ingeniería civil. Inicialmente los autores hacen un recuento del desarrollo de la Petrografía a

través del tiempo, se mencionan los problemas específicos donde el petrógrafo explica al ingeniero civil, y seguidamente se dan las propiedades generales de los tres grupos de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas) grupos de rocas con respecto a su aplicación en la ingeniería práctica. Finalmente realizan una caracterización del batolito antioqueño (cuerpo intrusivo) y sus rocas encajantes además de referir los usos de las mismas en obras de ingeniería.

Bellido et al. (1987) propone una clasificación científica y comercial según propiedades mecánicas, morfológicas y composicionales de los granitoideshercínicos de Galicia basada en su nivel de emplazamiento (profundo, somero) y en su relación con la deformación (sincinemáticos, postcinemáticos).

Monismith (1992) concluyó que la estructura interna del concreto asfáltico, juega un papel significativo en el desempeño de la mezcla colocada en obra, en cuanto a su resistencia y eventuales patologías como ahuellamiento, fracturas por fatiga y por temperatura.

Uribe(1991), elabora una tabla donde se presenta información sobre el origen, características físicas distintivas y su influencia en el concreto (cuando se utilizan como agregados), de las 3 familias de rocas conocidas, que son: ígneas, sedimentarias yMetamórficas.

Matín (1994), en su tesis Doctoral, recopila, analiza y sistematiza los distintos materiales litológicos autóctonos que se han empleado en Madrid. Aborda diversos puntos de vista: arqueológico, histórico, geológico, petrográfico, técnico y económico. Agrupa los materiales aflorantes canterables en 4 grandes grupos describiendo sus características.

Gaitán (1996),efectúa un estudio de los componentes minerales de tres bancos de agregado que alimentan a la ciudad de Guatemala, en base a lo dictaminado por

las normas ASTM C-33 y C-295 con esto se definieron propiedades físicas y también los componentes geológicos de cada muestra y se realizó una comparación de las muestras de agregados de diferentes fuentes.

Cerón (1996), confirma que la necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Sin embargo, uno de los problemas que generalmente encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el concreto, es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados.

Janoo & Korhonen (1999), logró determinar propiedades físicas de agregados, como angulosidad, forma, y rugosidad, (2001) realizó caracterización morfológica. Ambos utilizaron microscopios electrónicos.

Neville (1999), indica que los agregados se pueden calificar por su forma, en base a su grado de redondez y esfericidad, obteniéndose una medida relativa de carácter comparativo y descriptivo. Hace una clasificación desde el punto de vista de su tamaño, dividiéndolos en dos grupos: los agregados finos y los agregados gruesos. Los primeros consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que van desde 5 mm hasta mayores de 60 μm ; los segundos son aquellos cuyas partículas son mayores a 5 mm y hasta 125 mm.

El Instituto mexicano del concreto y del cemento (2000) en la Revista "Construcción y Tecnología" artículo: "Evaluación física de agregados gruesos para pisos y pavimentos de concreto": Hacen una propuesta de evaluación de los agregados gruesos basada en sus características mecánicas, que involucra su litología y resistencia a la abrasión y al impacto. Consta

depruebas realizadas a materiales obtenidos de 25 lugares distribuidos en la república mexicana, se indica que tales propiedades de los agregados tienen su fundamento en el origen y tipo litológico de los mismos. Para evaluar la resistencia del agregado grueso a los procesos abrasivos, aplicaron como métodos de calificación la prueba de “Los ángeles” y la prueba de resistencia al impacto.

Luna., Salguero (2000), analizan la calidad de agregados para la fabricación de concreto, en varias ciudades importantes de la república de Guatemala. Para determinar las propiedades físicas se aplicó la norma ASTM C-33, que brinda los requisitos generales que debe llenar un agregado que se pretende utilizar para fabricar concreto. Las propiedades mecánicas se determinaron con la norma “Ensayo de desgaste por abrasión” ASTM C-131, un tercer ensayo “Reactividad Potencial” ASTM C-289 y por último para conocer las propiedades químicas y mineralógicas se utilizó el examen petrográfico según la norma ASTM C-295.

Langer(1998), presenta un documento compilatorio del estado del arte para los factores geológicos que afectan las propiedades de la roca, en el desarrollo de pruebas empíricas, establecimiento de los límites de especificación de los resultados de las pruebas para la selección de los agregados y su uso en determinadas condiciones de servicio.

En Bogotá, Colombia, en el marco del Convenio IDU-Universidad Nacional para el seguimiento a vías con pólizas de estabilidad vigente, en el año 2003 se utilizaron técnicas petrográficas para el análisis de mezclas asfálticas colocadas en una de las vías troncales del sistema de transporte público de pasajeros “Transmilenio”. Se estableció la mineralogía de los agregados, e identificaron problemas que pudiesen afectar la durabilidad y estabilidad de las mezclas; así mismo se identificaron deficiencias en la adherencia asfalto-agregado originados por la presencia de materiales de origen aluvial, con formas redondeadas y con poca rugosidad; vacíos en las mezclas, asociados con deficiencias en los procesos de

compactación; micro-fisuración de agregados (areniscas arcillosas, liditas y Shales), que manifiestan zonas de debilidad. Este es uno de los casos típicos donde los análisis petrográficos resultan de utilidad para complementar la evaluación de concretos asfálticos de vías en servicio.

Chan J., et al. (2003), publican el artículo compilatorio: “Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto” donde presentan clasificaciones según origen, sus componentes mineralógicos y características texturales, estructurales y químicas. Hacen insistencia en la absorción y densidad como propiedades del agregado que más influye en la consistencia del concreto, y de menor importancia mencionan la forma, tamaño y graduación del material pétreo. Y finalmente hacen una caracterización de las propiedades de la caliza según los criterios mencionados principalmente en el artículo.

Salguero (2004), presenta el análisis de calidad para agregados pétreos para concreto en la ciudad de Quetzaltenango, Guatemala según las normas ASTM. Los bancos analizados constan de roca volcánica con moderado y alto contenido de sílice como andesitas, riolitas y pómez correspondientes a restos de antiguas avalanchas de escombros volcánicos.

Sarrionandia F., et al. (2004). presentan en su artículo “El Potencial Ornamental Del Plutón De Sierra Bermeja (Badajoz)”. Describen las tres facies del Plutón y hacen una clasificación según su potencial de canterabilidad.

Dipayan (2005) expone en el décimo seminario de Microscopía aplicada a materiales de construcción el estado del arte, los alcances y avances de 25 años de la petrografía del concreto,

Sierra (2006), presenta en su tesis “Sustancias reactivas Nocivas en los Agregados para Concreto” la importancia de la determinación de estos

compuestos en la evaluación de la calidad de los agregados. Realiza el estudio en 10 muestras provenientes de arenas de ríos y canteras del área metropolitana de Guatemala, empleando las normas ASTM, AASHTO, UNE y EN, determina materia orgánica, sílice, reactividad álcali-sílice, reactividad álcali-carbonato, análisis petrográfico, sulfatos y cloruros solubles en ácido y agua respectivamente entre otras, con el fin de determinar el grado del daño a la durabilidad del concreto al utilizar los agregados analizados.

Maya et al. (2006), presenta por medio del INGEOMINAS la elaboración de la cartografía sistemática de materiales de construcción, comprende el análisis de las unidades de roca respecto a la caracterización litológica, localización y comportamiento fisicoquímico para ser utilizadas como fuentes de agregados naturales. Se hace una síntesis de la normatividad existente en Colombia sobre estas materias primas.

Ramírez (2008), en la publicación “Sostenibilidad De La Explotación Minera De Construcción En El Valle De Aburrá” se refiere en generala que los agregados pétreos se clasifican en 3 grandes grupos: Depósitos aluviales, materiales de arrastre, las calizas, los ígneos y metamórficos. Expone las características industriales de cada grupo.

Leslie., Edén (2008), en nombre del Grupo de Petrografía Aplicada, publican un código de prácticas para el examen petrográfico de morteros, probetas de concreto, hormigón y materiales relacionados.

Se presenta una discusión de las dos técnicas de análisis petrográfico: Microscópico y Macroscópico, proponen análisis químicos para complementar la información (difracción y fluorescencia de R-X), en el artículo se presentan las pautas a seguir para la realización de los análisis y sus aportes en la petrografía del mortero.

Kerstin et al. (2003) realizan una investigación del comportamiento físico de los diferentes tipos de composiciones de materiales de construcción y su durabilidad bajo el ataque de sulfatos, cristalización, congelación y atmosfera contaminada, se hace un análisis petrográfico y pruebas químicas para determinar la calidad de los materiales.

Conasfaltos (2009), realizan una clasificación de los agregados en tres grupos que son: naturales, artificiales y reciclados, los naturales son el grupo más abundante usados comúnmente en la fabricación de morteros, concretos, rellenos, prefabricados, balasto para vías férreas, sub-bases y bases para estructuras de pavimento para carreteras, mezclas asfálticas, escolleras para puertos, lechos filtrantes, revestimientos aislantes, entre otros. Entre los agregados artificiales se tienen los agregados ligeros son aquellos que tienen una densidad menor de 2000 Kg/m³, se utilizan en la fabricación de cerámicas, prefabricados ligeros y concretos ligeros, vale la pena resaltar que es una de las tecnologías del concreto con más desarrollo en la última década en los países industrializados. Los agregados artificiales se obtienen como subproductos de diferentes procesos industriales, como son los estériles mineros, cenizas del carbón, etc. Por último, los agregados reciclados corresponden a materia prima formada básicamente, por los materiales de demolición de edificaciones y otras obras civiles, y constituye, en las cercanías de cualquier ciudad de mediana importancia en una fuente inagotable de agregados, tanto para su empleo directo, como de material de relleno, como para su uso en agregados de trituración.

Ahsan et al. (2009) publican un estudio de los agregados del Río Allai y sus afluentes. El material corresponde a rocas ígneas y metamórficas de la cordillera del Himalaya Menor, Himalaya de Tetis, y parte de la zona de sutura de la India y arco de islas Kohistan, donde analizan la reactividad potencial Álcalis-sílice a los agregados del sistema fluvial de Allai que constan de milonitas, pizarras y filitas muy ricas en cuarzo potencialmente reactivas.

León., Ramírez (2010), en la caracterización de agregados según su morfología mediante el análisis de imágenes, se determinan las características morfológicas de diferentes agregados usando métodos tradicionales y de análisis de imágenes con los descriptores de Fourier, se explican las técnicas de captura y análisis de imágenes en la detección y análisis de esfuerzos de tensión, condiciones estructurales, análisis de forma de partículas, reconstrucción y simulación de estructuras granulares. La caracterización morfológica de los agregados se realizó usando el método de medición manual de índices de alargamiento y aplanamiento y caras fracturadas, y por medio de análisis de imágenes.

Landaverde (2011) estudia la calidad de los agregados en las cuatro canteras y cuatro bancos de explotación más importantes del El salvador, utilizados para concreto hidráulico. Realiza pruebas de laboratorio a cada pedrera y arenara, el estudio comprendió de un muestreo quincenal a partir de julio de 1997, finalizando en el mes de junio de 1998 analiza la calidad de las mismas sobre la base del cumplimiento o no de las normas ASTM, aplicando la estadística para determinar el comportamiento de los resultados en el tiempo, aporta conclusiones y recomendaciones para cada fuente de explotación.

Calvacante et al. (2011), se realiza un Análisis de métodos de prevención de la reacción álcali-agregado, se hace una comparación entre el resultado del método petrográfico y los límites de expansión de tres normas del método acelerado para barras de mortero.

2. MARCO TEORICO

2.1 LOS AGREGADOS PÉTREOS

Según diversas fuentes, los agregados pétreos se pueden definir de la forma siguiente:

Según Chan (1993), los agregados son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus características puede ocurrir también durante los Procesos de explotación, manejo y transporte. Y puesto que forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el concreto y tienen un efecto significativo en el Comportamiento de las estructuras.

El Instituto colombiano del Concreto (1997), expone que los agregados son el mayor constituyente del concreto, generalmente componen más del 70 por ciento del material en un metro cúbico de concreto y son los que hacen que éste sea un material económico de construcción. Son cualquier sustancia sólida o partículas añadidas intencionalmente al concreto que ocupan un espacio rodeado por pasta de cemento, de tal forma que en combinación con ésta proporcionan resistencia mecánica al mortero o concreto en estado endurecido y controlan los cambios volumétricos que normalmente tienen lugar durante el fraguado del cemento así como los que se producen por las variaciones en el contenido de humedad de las estructuras.

Asogras (2007), se refiere a cualquier combinación de arena, grava o roca triturada en su estado natural o procesado. Son generalmente encontrados en ríos y valles, donde han sido depositados por las corrientes de agua o yacimientos de rocas ígneas o metamórficas con condiciones especiales de calidad. Los

agregados son productos minerales imprescindibles para la sociedad, en general son materiales de bajo costo, abundantes en la naturaleza, por lo que deben estar situados cerca a los centros de consumo, teniendo en cuenta su alta sensibilidad a los costos de transporte.

En la Ley 685 del código de minas Colombiano (2003), se establece el Glosario técnico Minero donde se definen a los agregados pétreos como materiales granulares que se utilizan como materia prima en la industria de la construcción principalmente, muchos de los sedimentos y rocas de diverso tipo presentes en la superficie terrestre proporcionan materiales susceptibles de ser utilizados como agregados. Sin embargo, esta amplia disponibilidad no asegura que los requerimientos exigidos sean siempre cumplidos por el material disponible, por esta razón es importante contar con las competencias apropiadas para determinar cuál material es adecuado para su uso como agregados, aquí confluyen el conocimiento geológico para la ubicación precisa de yacimientos potenciales, los de respuesta de las características y propiedades de los agregados ante los requerimientos que tendrán tras su puesta en obra, pasando por los diseños de ingeniería más eficientes a la hora de extraer el agregado o de prepararlo para su comercialización.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

Según la Norma Técnica Colombia, y varios autores (Neville, 1999., ASOGRAVAS, 2007., Uribe, 1991., Soto 2008., Chan, 2003., Ortiz, 2006) los agregados pueden clasificarse de acuerdo a su tamaño, por su densidad, o por su forma, y origen.

2.2.1 Clasificación por tamaño

Según las dimensiones, algunos autores clasifican a los agregados como:

-Bolones	mayores de 80 mm	(sobre 3")
-Grava gruesa	de 80 a 40 mm	(de 3" a 1 ½")
-Grava Fina	de 40 a 20 mm	(1 ½" a ¾")
-Gravilla	de 20 a 10 mm	(¾" a 3/8")
-Grava arena	de 10 a 5 mm	(3/8" a N° 4)
-Arena gruesa	de 5 a 2 mm	(N° 4 a N° 10)
-Arena media	de 2 a 0,50 mm	(N° 10 a N° 40)
-Arena fina	de 0,50 a 0,080	(N° 40 a N° 200)
-Limo o polvo	de 0,05 a 0,005mm	
-Arcilla	0,005 a 0,001 mm	
-Coloides	Menores que 0,001 mm.	

Según Neville (1999), desde el punto de vista de su tamaño, los agregados se dividen en dos grupos: los agregados finos y los agregados gruesos. Los primeros consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que van desde 5 mm hasta mayores de 60 μm ; los segundos son aquellos cuyas partículas son mayores a 5 mm y hasta 125 mm. En normas se cita esta clasificación de la siguiente forma:

- Agregado fino (Arena): Material que pasa en un 95% de sus partículas por el tamiz No. 4 (tamiz según norma estadounidense) de 4.76mm (3/16") de abertura entre hilos.
- Agregado grueso (Grava o Piedra): Es el material que queda retenido en el tamiz de 150 mm (6"), cuyas partículas son en un 95% mayores de 4.75 mm.

2.2.2 Clasificación por origen

Diversos autores presentan una clasificación de los agregados pétreos por su origen; éstos pueden ser naturales, artificiales o mixtos.

- Naturales (canto rodado): Provenientes de cauces de ríos. En general estos agregados tradicionales (arena y grava), producen concreto de buena calidad, debido a su redondez y bajo costo de obtención.
- Artificiales: Provenientes de trituración de piedra de cantera, tiene ventajas por su composición mineralógica más uniforme, las partículas son cantos angulosos y debido a sus aristas genera un concreto menos trabajable y de mayor consumo de cemento, además de ser de costo de explotación más alto que el canto rodado. Dentro de este grupo también se mencionan los agregados producto del aprovechamiento de residuos industriales, por fenómenos de licuefacción y pulverización.
- Mixtos (naturales y artificiales): Son agregados cuyas partículas son una mezcla de cantos triturados con cantos rodados.

2.2.3 Clasificación por densidad

Según su densidad los agregados pueden constituirse en ligeros, normales o pesados.

La normativa ASTM presenta dicha clasificación con los siguientes rangos:

- Agregados ligeros: Son aquellos cuya densidad oscila entre 500 y 1000 kg/m³, son utilizados en concreto de relleno o en mampostería estructural.

- Agregados normales: Son aquellos cuya densidad se encuentra comprendida entre 1300 y 1600 kg/m³, se utilizan en concretos de uso general.
- Agregados pesados: Son aquellos cuya densidad está entre 3000 y 7000 kg/m³, se utilizan en hormigones pesados, tales como los utilizados en centrales nucleares o usos especiales.

2.3 LOS AGREGADOS MINERALES NATURALES

Este material forma la clase más importante de los agregados para producir concreto.

Un mineral es definido por un sólido inorgánico de origen natural, que presenta composición química definida, y con una estructura cristalina.

Un agregado natural, y multigranular de uno o más minerales es una roca, los agregados pétreos son en su mayoría fragmentos de rocas.

Las características y ambientes de formación de las rocas son esenciales para entender muchas de las propiedades buscadas en un agregado de calidad.

2.3.1 Descripción y clasificación de las rocas

Los tres grupos principales en los que se clasifican las rocas están fundados en su origen; estos grupos se subdividen a su vez de acuerdo con variaciones en la composición mineral y química, en la textura o tamaño de granos y estructura de los cristales.

En la tabla 1 se presenta información sobre el origen, características físicas distintivas y su influencia en el concreto (cuando se utilizan como agregados), de las rocas ígneas. Sedimentarias y metamórficas.

Tabla 1. Características de algunas rocas para concreto.

FAMILIA DE ROCAS

	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto
Ígneas	Plutónicas	Granito	Cuarzo, feldespatos, mica y plagioclase	Fanerítica	Batolitos cuerpos intrusivos	Fácilmente intemperizable en clima tropical, intemperismo esferoidal
		Diorita	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	
		Gabro	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	Alto peso específico
	Volcánicas piroclásticas	Riolita	Cuarzo, feldespato, plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Domos flujos de lava	Altamente reactiva con los álcalis del cemento
		Andesita	Plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Derrames de lava	

Chan J., et. al. 2003

Fuente: Chan et al. (2003).

• **Rocas Ígneas:**

Son el resultado del enfriamiento y solidificación del magma, éste proceso puede darse sobre la superficie terrestre ó en zonas mas profundas según su emplazamiento las rocas ígneas pueden ser extrusivas o plutónicas, y su grado de cristalinidad y el tamaño de grano varían según la rapidez a la cual es enfriado el magma al momento de la formación de la roca.

La mayor parte son duras, fuertes, densas y resistentes a los agentes meteorizantes, sin embargo, en ciertos casos pueden presentarse muy fracturadas por razones diversas. De acuerdo con Uribe (1991), son muy buenas como materiales de construcción, pero se debe tener en cuenta que sus propiedades son afectadas cuando han sufrido un proceso erosivo y se encuentran en

aluviones a lo largo de los lechos de los ríos y en las terrazas, de tal manera que ya no sean útiles para ciertos fines.

Se debe prestar especial atención a la estructura cristalina y contenido de sílice de este tipo de rocas puesto que el grado de acidez y textura determinan si un agregado es reactivo al ataque de álcalis en el concreto.

La alta porosidad y baja densidad de las tobas y lavas son empleadas solo como agregados livianos, este tipo de rocas volcánicas contienen sílice coloidal y vidrio volcánico lo cual las hace mucho mas vulnerables a la reacción con los álcalis del cemento.

En general se presenta la descripción de los tipos de rocas ígneas más comunes, los principales minerales presentes y características de las mismas como agregados pétreos (ver tabla 2).

Tabla 2. Composición Mineral en las rocas y algunas características como agregados pétreos..

TIPO DE ROCA	NOMBRE COMUN	PRINCIPALES MINERALES PRESENTES	CARACTERISTICAS DEL AGREGADO
Intrusiva y plutónica	Granito	Cuarzo, Feldespato, plagioclasa, ortoclasa, mica.	Las rocas de este grupo generalmente hacen agregados excelentes debido a que 1). Tienen granos de medio a grueso, son resistentes y producen fragmentos equidimensionales al triturarse. 2). Tienen muy baja porosidad y absorción de humedad. 3). No reaccionan con
	Sienita	Feldespato, Plagioclasa, ortoclasa, Hornblenda, biotita.	
	Diorita	Feldespato, Plagioclasa, Hornblenda, biotita.	
	Gabro	Hornblenda, augita, feldespato,	

TIPO DE ROCA	NOMBRE COMUN	PRINCIPALES MINERALES PRESENTES	CARACTERISTICAS DEL AGREGADO
		plagioclasa.	los álcalis en el concreto de Cemento Portland.
	Diabasa o Dolerita	Los mismos minerales del Gabro pero de grano medio a fino.	
	Roca Pardusca	Gabro, diabasa y basalto.	
Intrusiva superficialhipabisal	Grupo de la felsita, riolita, traquita, andesita	La composición mineral de las rocas del grupo felsita, riolita, traquita y andesita, es equivalente del granito, sienita y diorita respectivamente.	Las rocas de este grupo tienen grano fino y duro y hacen un buen agregado excepto que las felsitas, cuando son microcristalinas o contiene vidrio natural, son reactivadas con los álcalis del concreto de cemento Portland, Sin embargo en el caso del basalto, aun cuando contiene vidrio natural, éste es generalmente básico y por lo tanto no reacciona con los álcalis del concreto.
	Basalto	Esta roca es el equivalente extrusivo del Gabro y la Diabasa.	
Extrusiva o volcánica	Obsidiana	Vidrio denso, oscuro, natural con alto contenido de sílice	Son densos y duros pero no se encuentran comúnmente.
	Vidrio volcánico	Vidrio natural contiene hasta el 10% de agua.	
	Perlita	Vidrio con alto contenido de sílice con textura de cebolla y lustre perlado, contiene	Es usada generalmente para hacer concretos aislantes después de que su estructura es alterada a una

TIPO DE ROCA	NOMBRE COMUN	PRINCIPALES MINERALES PRESENTES	CARACTERISTICAS DEL AGREGADO
		del 2 al 5% de agua.	estructura vesicular como la pómez, por tratamiento en caliente.
	Pómez	Vidrio poroso con huecos alargados	La pómez, la escoria y las tobas son porosas y débiles, útiles para producir concreto de peso ligero y aislante.
	Escoria	Vidrio poroso con huecos esféricos.	
	Toba	Vidrio poroso formado por la consolidación de la ceniza volcánica.	

Fuente: Ortiz E. 2006.

- **Rocas sedimentarias:**

Las rocas expuestas a la acción del agua, viento y/o acción glacial sufren meteorización, transporte y depositación.

Las rocas sedimentarias son rocas que se forman por la acumulación de sedimentos que sufren diagénesis.

Las partículas características de las rocas sedimentarias son la Grava, Arena, Arcilla y limo su diferenciación se basa en el tamaño de grano.

La mayoría de las rocas sedimentarias son utilizadas para la elaboración del concreto, las más comunes son la arenisca y la caliza siendo ésta última la más abundante de las rocas de carbonato.

Los agregados que constan de rocas sedimentarias presentan variación en las características tales como textura, resistencia, peso, porosidad entre otras, en comparación con los agregados de rocas ígneas

Según el Instituto del Concreto (1997), algunas rocas caliza y areniscas pueden tener menos de 100 MPa de resistencia a la trituración y son por lo tanto inadecuadas para su uso en concreto de alta resistencia. Igualmente, comparadas con las rocas ígneas, las rocas sedimentarias frecuentemente contienen impurezas que a veces obstaculizan su uso como agregado. Por ejemplo, la roca caliza, la dolomita y la roca arenisca pueden contener ópalo o minerales arcillosos que afectan adversamente el comportamiento del agregado bajo ciertas condiciones de exposición.

- **Rocas metamórficas:**

Las rocas ígneas y metamórficas de la corteza terrestre experimentan modificaciones en la textura original, estructura y la composición como respuesta a una variación de presión o temperatura que prevalecieron en el momento de su formación. Los factores principales son el aumento de profundidad, el rozamiento de una falla, la proximidad de una intrusión plutónica, la presencia de fluidos calientes, el aumento de presión por esfuerzos tectónicos entre otros.

La clasificación de las rocas metamórficas se basa según propiedades fisicoquímicas (composición mineral y textura)

Las rocas más comunes que pertenecen a este grupo son: mármol, esquisto, filita, pizarra, gneis.

Es importante hacer una revisión en la textura de estas rocas si lo que se planea es emplearla como agregado pétreo, pues son densas pero frecuentemente foliadas y con alto índice de alargamiento y partículas deleznable. Algunas filitas son reactivas con los álcalis del Cemento.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LOS MINERALES PRINCIPALES EN ROCAS PARA AGREGADOS PÉTREOS.

- **Minerales de sílice:**

EL cuarzo es el mineral compuesto de dióxido de silicio (SiO_2), se caracteriza por ser muy común y con una estructura Si-O bastante fuerte que le proporciona dureza.

El cuarzo es el componente fundamental de muchos tipos de rocas, especialmente de las rocas ígneas ácidas > 65% como el granito y la riolita, también en rocas sedimentarias y metamórficas por ser al mismo tiempo muy resistente.

- **Minerales de silicatos:**

Es el grupo de minerales de mayor abundancia, todos los minerales que conforman este grupo están compuestos de silicio y oxígeno y su estructura puede contener aluminio, hierro, magnesio o calcio.

Los feldespatos, micas y arcillas corresponden a esta categoría, los primeros son muy abundantes y al igual que el cuarzo son muy importantes por ser petrogénicos.

Casi tan duros como el cuarzo, los distintos elementos de este grupo se diferencian por su composición química y sus propiedades cristalográficas.

- **Feldespato:**

Los feldespatos son aluminosilicatos, silicatos de calcio, sodio o potasio. Dentro de este grupo los más principales son la ortoclasa, la sanidina y la microclina. Los minerales de este grupo son: Ortosa (potásica), plagioclasa (cálcica-anortita o sódica-albita).

Los feldespatos alcalinos que contienen potasio o sodio aparecen generalmente en rocas ígneas de alto contenido de sílice, a su vez un bajo contenido de sílice en la roca, va a presentar más alto contenido de feldespatos ricos en calcio.

- **Los minerales ferromagnesianos:**

Son minerales que su composición química consiste en silicatos de hierro y/o de magnesio. Se presentan de manera importante en rocas ígneas y metamórficas, cuando éstas contienen bajas proporciones de cuarzo.

El olivino es un mineral común de esta clase, junto con la hornblenda y la augita también están presentes en este grupo la moscovita, la biotita, la clorita que forman el grupo de minerales micáceos. En la industria se debe tener cuidado con el contenido de micas ya que la meteorización puede transformarlas en arcillas parcialmente expansibles (illita, vermiculita), y conforme al su contenido de hierro también sufren oxidación.

- **Los minerales de la Arcilla:**

Estos minerales son filosilicatos de aluminio hidratados con algunos contenidos de metales alcalinos, hierro y magnesio; según Soto (2008), son minerales con estructura laminar menor de 2 μm (0.002 mm) de tamaño.

Estos minerales son productos de la meteorización y componen principalmente a lutitas, arcillas, pizarras y filitas, incluso pueden estar presentes como contaminantes de otro tipo de roca alterada.

Son suaves y laminadas similares a las micas, y se desintegran al mojarse o incluso pueden sufrir expansión, éste es el motivo por el cual rocas como arcillolitas o pizarras no son utilizadas como agregados del concreto.

- **Minerales de carbonato:**

Estos minerales por definición presentan como base química el grupo CO_3^{2-} dentro de esta clase están presentes tres grupos principales: el de la calcita, el de la dolomita y el del aragonito.

Según Soto R (2008), el mineral de carbonato más común es la calcita o el carbonato de calcio, CaCO_3 . El otro mineral más común es la dolomita, que tiene proporciones equimoleculares de carbonato de calcio y carbonato de magnesio (que corresponde a 54.27 y 45.73 por ciento en peso de CaCO_3 y MgCO_3 respectivamente). Ambos minerales de carbonato son más suaves que el cuarzo y que el feldespato.

- **Minerales de sulfatos y sulfuros:**

De acuerdo con Soto (2008), los sulfuros de hierro como la pirita, la marcasita y la pirrotita, se hallan frecuentemente en agregados naturales. La marcasita, que se encuentra principalmente en las rocas sedimentarias, se oxida rápidamente para formar ácido sulfúrico e hidróxidos de hierro. La formación de ácidos es indeseable, especialmente desde el punto de vista de la corrosión potencial del acero en concretos reforzados. La marcasita y ciertas formas de pirita y pirrotita se piensa que pueden ser las responsables de los cambios expansivos de volumen en el concreto, causándole grietas.

2.5 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Existe una gran variabilidad en las características de los agregados pétreos que componen el concreto. Siendo éstas de carácter físico y químico que producen diferentes efectos, tanto en la trabajabilidad del concreto como en su comportamiento en estado endurecido, el cual regirá su vida de servicio.

Por lo tanto se requiere conocer características del agregado, tal como la densidad, granulometría y estado de humedad que son requeridas para la proporción de las mezclas de concreto, al igual que la porosidad, densidad, granulometría, forma y textura de la superficie para determinar propiedades de mezclas de concreto fresco. La composición mineral del agregado, al igual que la porosidad afecta la resistencia a la trituración, su dureza, su módulo de elasticidad y su sanidad, que influyen a su vez en propiedades del concreto endurecido que contenga dicho agregado.

Las propiedades físicas de los agregados influyen en:

Tipo de obra que se va a construir

- Resistencia
- Durabilidad
- Economía

Tipo de concreto a fabricar

- Dureza
- Resistencia
- Graduación
- Durabilidad
- Limpieza
- Tenacidad

De acuerdo a su peso específico, los agregados se dividen en ligero, normales y pesados; estas diferencias los hacen aptos para producir concreto con cierta variedad en el peso unitario, el cual es una característica básica del material

Algunas otras importantes propiedades físicas de los agregados son: la forma y textura de las partículas, la porosidad, la absorción, la densidad, la adherencia,

etc. También es de suma importancia la granulometría de los agregados, y el tamaño máximo del agregado (para la grava), tanto en el comportamiento del concreto en estado plástico, como en su estado endurecido.

Según Ezeldin&Aitcin (1991), la resistencia del agregado no es usualmente el principal factor que perjudica la resistencia del concreto normal, porque la partícula del agregado suele ser mucho más fuerte que la matriz y la zona de transición. Sin embargo, en estudios realizados por Solís & Moreno (2006) en especímenes de concreto preparados con agregados calizos de la Península de Yucatán, es común observar que la falla se presenta principalmente en los agregados, especialmente para relaciones agua/cemento relativamente bajas (menores a 0.5).

Otras características del agregado, distintas a la resistencia, tales como tamaño, forma, textura de superficie y mineralogía también pueden afectar la resistencia del concreto en grados distintos.

Los agregados naturales son porosos y sus valores de porosidad de hasta 2 por ciento son comunes para las rocas ígneas intrusivas; hasta 5 por ciento para rocas sedimentarias densas y de 10 a 40 por ciento para piedras areniscas y piedras calizas muy porosas. Para el diseño mezcla, es necesario conocer el espacio ocupado por las partículas del agregado, inclusive de los poros existentes dentro de las partículas. La densidad aparente relativa para las rocas utilizadas más comúnmente, está entre 2.6 y 2.7; siendo los valores comunes para granito, roca arenisca y roca caliza densa, son 2.69, 2.65 y 2.60 respectivamente. (Benavente et al., 2002)

2.6 INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.

2.6.1 Manejabilidad

Es aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente, para ser terminado sin segregación dañina alguna.

- La manejabilidad de un concreto esta íntimamente relacionada con la distribución granulométrica de los agregados, se busca disminuir los vacíos ya que éstos son rellenos por pasta de cemento. Se debe evitar el uso de arenas muy finas o muy gruesas, ya que con la primera el requerimiento de agua es muy alto y fácilmente se segregan, con las segundas se obtienen mezclas muy ásperas y poco cohesivas. Según Sánchez (2001), se recomienda un valor del módulo de finura entre 2.2-3.0.
- La forma y textura también influyen en la manejabilidad, los concretos elaborados con agregados gruesos y con partículas alargadas o aplanadas y textura rugosa requieren una mayor cantidad de arena, agua y pasta en una mezcla, comparados con los agregados de esfericidad buena y textura lisa, debido a la fricción generada entre las partículas.
- Si la relación pasta-agregados tiene un valor alto, la movilidad de los agregados dentro de la masa será más fácil, en el caso contrario se producirá una mezcla granulosa y áspera.
- La relación arena-agregados también es tenida en cuenta para la elaboración de concretos; un bajo contenido de arena dificulta la manejabilidad, y se obtendría una mezcla poco cohesiva, con un exceso de agregado grueso. Por

el contrario si el contenido de la arena es elevado, hay necesidad de añadir más agua o pasta en exceso para que la mezcla sea manejable, presentándose tendencia a la segregación y exudación.

2.6.2 Segregación

La separación de los materiales que constituyen una mezcla heterogénea (como el concreto), indica que la distribución de la mezcla deja de ser uniforme por falta de cohesión. Las causas que generan segregación son: la granulometría de los agregados ya que se puede presentar una estratificación granulométrica por causa de la gravedad; generalmente tiene lugar en mezclas secas y poco cohesivas.

2.6.3 Exudación

Cuando el concreto es colocado o durante el fraguado, parte del agua de la mezcla tiende a elevarse hacia la superficie a medida que el agua asciende, se crea una serie de caminos capilares que aumentan la porosidad del concreto. Cuando el agua queda atrapada entre las partículas más gruesas o del acero de refuerzo se genera zonas de baja adherencia.

2.6.4 Temperatura

Aunque no parezca el descuido del control en la temperatura del concreto fresco puede tener efectos negativos sobre su calidad entre los resultados no deseables se tiene: porosidad más elevada, mayor tendencia a la formación de fisuras por contracción, mayor necesidad de agua entre otros.

Cada componente tiene características propias y el calor específico es una de ellas, es decir que el calor específico del concreto es un aporte que cada material

hace. El valor aproximado del calor específico de los ingredientes (cemento y agregados) secos según Sánchez (2001), es de 0.2 Kcal/kg/°C.

2.6.5 Resistencia mecánica

Hasta el momento no se ha encontrado una regla general válida que permita describir el comportamiento del concreto bajo todos los estados de esfuerzos, a que es sometido en una estructura. Las propiedades de los agregados que más influyen en la resistencia del concreto según varios autores Ortiz (2006), Centeno et al. (1994) son las siguientes:

- Una granulometría continua permite la máxima compactación del concreto en estado fresco y por lo tanto, la máxima densidad en estado endurecido, con la consecuente máxima resistencia.
- La forma y textura de los agregados también influyen, debido a que los de forma cúbica y rugosa permiten una mejor adherencia de la interface matriz-agregado, aumentando la resistencia respecto a los agregados de canto rodado y lisos para una misma relación agua-cemento.
- La resistencia y rigidez de las partículas del agregado también inciden en la resistencia del concreto, ya que es muy diferente la resistencia y módulo de elasticidad de uno de baja densidad y poroso, a la de un agregado de baja porosidad y muy denso.
- El tamaño máximo del agregado también tiene una incidencia en la resistencia del concreto, debido a que la cantidad de cemento requerida para producir una resistencia a la compresión máxima, a una edad determinada con un agregado particular, varía según sea el tamaño máximo del agregado grueso utilizado.

2.6.6 Permeabilidad

Es la propiedad que permite que pueda ser atravesado por un fluido (agua, aire, vapor de agua) a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies opuestas del material. Depende de la porosidad de la pasta y de la porosidad de los agregados.

2.6.7 Durabilidad

El deterioro se da en tres tipos: químico, físico o electroquímico, éste último se refiere a la corrosión del acero de refuerzo. Las rocas generalmente presentan mayor porosidad que la pasta del cemento endurecida, Dipayan J (2005), encontró que las rocas expelen agua durante la congelación, y concluyó que en este caso el daño se debe a la presión hidráulica que se genera en los poros debido al movimiento del agua.

La humedad en el concreto puede involucrar un material con propiedades diferentes, un soluto favorable para solutos e iones, un medio de transporte, o de expansión o bien como se mencionó anteriormente un líquido con presión de agua en los poros.

2.6.8 Apariencia

El acabado con los agregados a la vista, o la coloración del concreto es cada día más empleado en la construcción, debido a la necesidad de hacer muy agradables a la vista las obras arquitectónicas, en estos casos el agregado grueso se deja expuesto, bien retirando el mortero de la superficie o colocando cuidadosamente el agregado en la superficie. En el caso de requerir un concreto coloreado se debe pulverizar el aditivo e ingresarlo a la mezcla según los requerimientos técnicos.

2.7 REACCIONES QUÍMICAS DE LOS AGREGADOS

Un ataque químico involucra la disolución de sustancias o reacciones químicas entre sustancias y componentes del concreto, se deben realizar estudios a los agregados para ver si éstos no tienen ni tendrán un efecto nocivo con los demás elementos que forman parte del concreto.

2.7.1 Reacción álcali-sílice

Según Alaejos & Fernández (1996), es una de las causas por las cuales se deterioran las estructuras de concreto, se le conoce como reacción álcali-agregado, necesita de la presencia de humedad para que se dé, ocurre entre los hidróxidos de álcali producidos por el cemento al hidratarse y ciertas rocas y minerales silicios, presentes en los agregados utilizados para fabricar concreto, lo que causa presiones de expansión e hidráulicas suficientes para fracturarlo. Si esta continúa puede dejar al concreto vulnerable a la corrosión del acero de refuerzo o al ataque de los sulfatos, se presenta entre los 5 y 15 años después de colocado el concreto, los factores que contribuyen a su origen son:

- Agregados reactivos.
- Cementos con alto contenido de álcalis.
- Fuentes de álcalis externas.
- Medios marinos.
- Condiciones climáticas (hielo/deshielo, ciclos de humedecimiento/secado
- Agentes causantes de corrosión como sales de deshielo y cloruros.
- Cargas de tráfico.

2.7.2 Reacción álcali-carbonato

Alaejos & Fernández (1996), es una reacción de carácter expansivo, se produce por medio de un proceso de dolomitización que lleva a la formación de brucita y a la regeneración del álcali, generalmente ocurre con los agregados calizos, particularmente los dolomíticos.

2.7.3 Normativa aplicable

Los agregados pétreos han sido utilizados como materiales naturales de construcción, por ellos requieren de un control de calidad adecuado para lograr materiales resistentes y durables en el ambiente. Por lo que es importante y necesario efectuar los ensayos respectivos, que logren determinar los aspectos físicos, mecánicos y químicos de estos geomateriales.

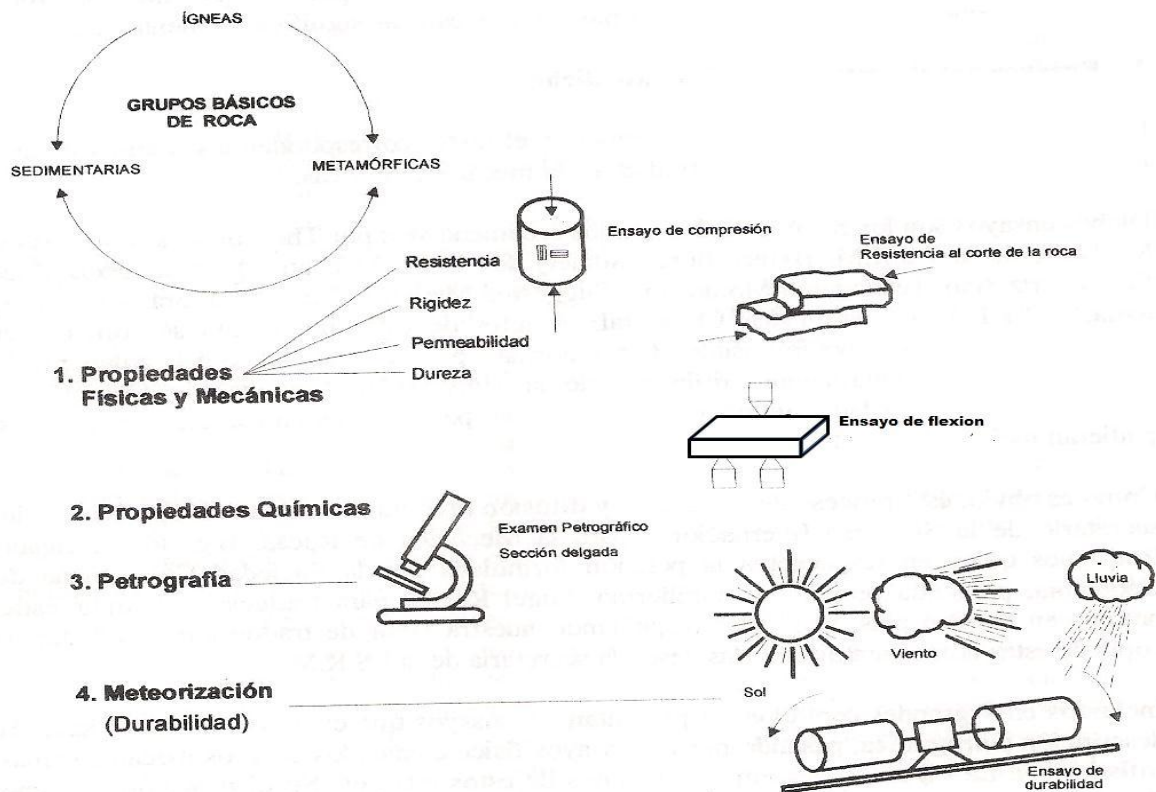
Los motivos de la elección de las rocas como agregado pétreos van dados, no sólo por razones de tipo estético, sino que también su aspecto de consistencia y dureza, permiten que sean considerados como un material eterno, sin destrucción.

Por consiguiente las nuevas condiciones a las que se someten a estos geomateriales, hacen que se aceleren los procesos de deterioro. No todas estas rocas tienen la misma calidad para ser utilizadas como material de construcción, e incluso su uso queda restringido en función de sus características propias. Por eso en este capítulo se tendrán en cuenta las Normas Icontec, para la realización de los ensayos respectivos, los cuales se demostraran las propiedades de los materiales y así mismo sus características texturales como composicionales, junto con sus propiedades petrofísicas que inciden muy directamente en su capacidad de resistencia a los procesos de deterioro y por lo tanto afectan directamente a la vida útil del elemento.

De la cantera “Manuel Pertuz” se extrajeron 9 rocas de las cuales solo a 3 se le practicaron todos los ensayos, iniciando con la descripción petrográfica, pasando por los ensayos físicos y químicos, finalizando con los ensayos mecánicos más sofisticados. La Figura se esquematiza algunos de los ensayos. Su distribución es como sigue:

- Ensayo petrográfico.
- Ensayos físicos
- Ensayos químicos.
- Ensayos mecánicos.

Figura 1. Caracterización física y mecánica de rocas. Esquemático.



Fuente: Correa (2000).

3. METODOLOGIA

Para explicar el comportamiento físico, mecánico y químico de los agregados pétreos, inicialmente se plasmaron objetivos claros que conllevaron a la elaboración correcta del proyecto propuesto. A continuación se explica el procedimiento seguido en cada fase.

3.1 FASE DE REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

La recopilación bibliográfica jugó un papel muy importante en este proyecto ya que es la base en la cual se sustentan todos los análisis y proceso que se llevan a cabo para la realización de esta tesis. Las fuentes de información de documentos es realizada por medio de la internet, unos de los acopios la suministro la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, proporcionando libros, proyectos de grado y revistas especializadas, también incluyendo material certificado de circulación libre en internet. Estas bibliografías no solo proporcionan procedimientos metodológicos en la elaboración de la caracterización de cada ensayo si no en la contextualización de aspectos geológicos en el marco del área estudiada.

3.2 FASE DE CAMPO.

La fase de campo se realizó en la cantera “Manuel Pertuz” del municipio de Santa Marta, Magdalena, las cuales se efectuó una visita técnica para ejecutar la extracción del agregado pétreo a estudiar, mientras tanto observar toda la parte

técnica de la cantera en el proceso de extracción, trituración y fabricación del material.

En el trabajo en campo se seleccionó las muestras a trabajar, de las cuales para su elección se tuvo en cuenta la textura y composición de los granitoides, ya que en la cantera se encuentra una variación de 9 texturas que van desde máficas a félsicas. Las muestras que se obtuvieron para el proyecto fueron 3.

También en campo se recopiló toda la información geológica del frente de explotación, coordenadas, vías de acceso a la cantera “Manuel Pertuz”, tipos de agregados pétreos existentes en la cantera, técnicas de utilización en la extracción y producción del material, campo de acción en la industria de la construcción, etc. El objetivo de profundizar en estos tipos de texturas es lograr todo el aprovechamiento industrial a estos agregados pétreos y que se incorporen en el campo de la construcción como otros geomateriales, ofreciendo características muy viables en el campo de la construcción, como su calidad, durabilidad y resistencia.

La recolección de muestras de la cantera “Manuel Pertuz” incluyó tres bloques de 50 cm x 30 cm x 40 cm con el fin de tener suficiente material para la realización de todos los ensayos, así como fragmentos de rocas de diferente textura y composición mineral para la realización de secciones delgadas. Las muestras recolectadas fueron trasladadas desde la cantera de explotación “Manuel Pertuz” del municipio de Santa Marta (Magdalena) hasta la ciudad de Bucaramanga (Santander) llevándolas a los laboratorios respectivos.

3.3 FASE DE PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se siguió la NTC 192 para agregados pétreos; extracción y preparación de muestras. En este apartado se resumen todos los ensayos realizados a los agregados pétreos correspondientes a este proyecto, con el fin de analizar su calidad en cada procedimiento a realizar; empezando con la obtención del material en campo, hasta la explicación paso por paso de cada ensayo realizado según las NTC. También la correcta utilización de la metodología de cada norma para así obtener resultados claros y poder realizar un patrón de comparación con los geomateriales a analizar. El estudio de agregados pétreos requiere unas condiciones fabricación explícita para cada ensayo. Los procesos involucrados para esta fase son: extracción de núcleos, corte de tabletas, trituración, tamizado y preparación de secciones delgadas.

Núcleos de perforación: Cada bloque de roca fue perforado con el equipo de extracción de núcleos en el edificio Laboratorio de Caracterización de Materiales de Construcción “Álvaro Beltrán” de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander con el objetivo de obtener núcleos para la elaboración del ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, según la NTC 673.

Figura 2. (a) Proceso de perforación para la obtención de núcleos. (b) detalle de (a). (c)-(d) Núcleos de perforación de las muestras SM1 y SM2.



Fuente: Autores.

Tabletas: Todo el material sobrante después de las perforaciones fue trasladado a al Laboratorio de Preparación de Muestras Geológicas de la Universidad de Pamplona, cada tableta debe cumplir con las dimensiones de 5 cm x 5cm x 12 cm para la realización del ensayo NTC 2871. Los cortes se realizaron con La Cortadora Geológica Marca BUEHLER, modelo Delta Petrocut.

Figura 3. Muestras cortadas según las dimensiones requeridas (5*5*12 cm).



Fuente: Autores.

Triturados: Todo el material sobrante después de la extracción de núcleos de perforación y cortes de las tabletas fue trasladado al Laboratorio de Trituración, Molienda y Pulverización de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. El proceso de trituración se llevó a cabo en una Trituradora de Mandíbulas BB 200 RETSCH. El material triturado resultante era de 3,8 cm en promedio.

Figura 4. Proceso de trituración para ensayos tecnológicos.(a) Material en la cantera – Sobre tamaños. (b) Bloque de roca según las dimensiones 50 cm X 30 cm X 40 cm. (c) Material picado con el martillo. (d) Trituradora de Mandíbulas BB 200 RETSCH. (e) Bandeja de la Trituradora con el material según el tamaño 3,8 cm. Muestras trituradas: (f) SM1. (g) SM2. (h) SM3.



Fuente: Autores.

Materiales granulados: El tamizado de materiales granulados se llevó a cabo en el Laboratorio de Acondicionamiento y Fabricación de Probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, según la NTC 177. Las muestras trituradas pasan a ser tamizadas por unas malla de tamices de 1 ½, 1, ¾, ½, 3/8. Según la norma cada muestra debe tener una masa según el tamaño de las partículas las cuales correspondería según la tabla 3. Este método fue

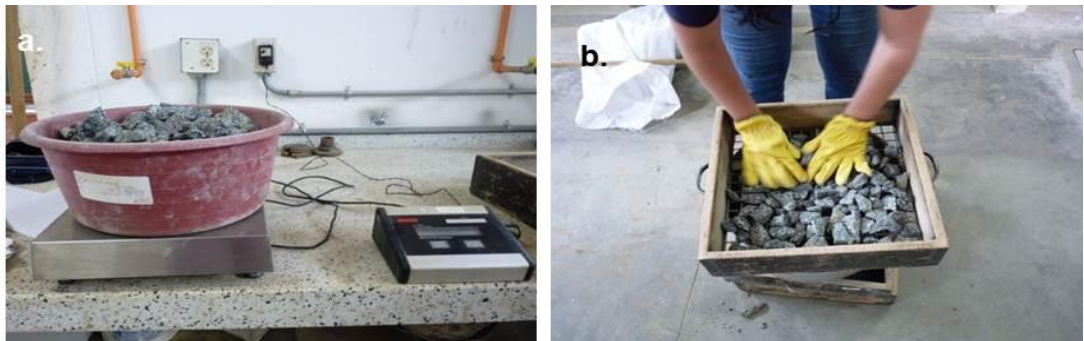
Tabla 3. Tamaño de muestra en ensayo.

Tamaño máximo de las partículas (mm)	Masa de la muestras (Kg)
2,38 o menor	0,1
4,76	0,5
9,51	2
13,5	4
19	7
26,9	11
38,1	15
53,8	20
64	25
76,1	45
90,5	65

Fuente: Norma Icontec, NTC 177

El tamaño de cada partícula de las muestras es de 3,8 cm por lo tanto la masa requerida a pesar es de 15000 gr. Después de tamizar cada muestra, estas son separadas según el material retenido por cada tamiz (Figura 8).

Figura 5. Determinación del material a tamizar. (a) Material pesado en la báscula marca Ohaus. (b) Material a tamizar.



Fuente: Autores.

Figura 6. Peso inicial de las muestras antes de tamizar 15000 gr. (a)-(b) Muestra SM1. (c)-(d) Muestra SM2. (e)-(f) Muestra SM3.



Fuente: Autores.

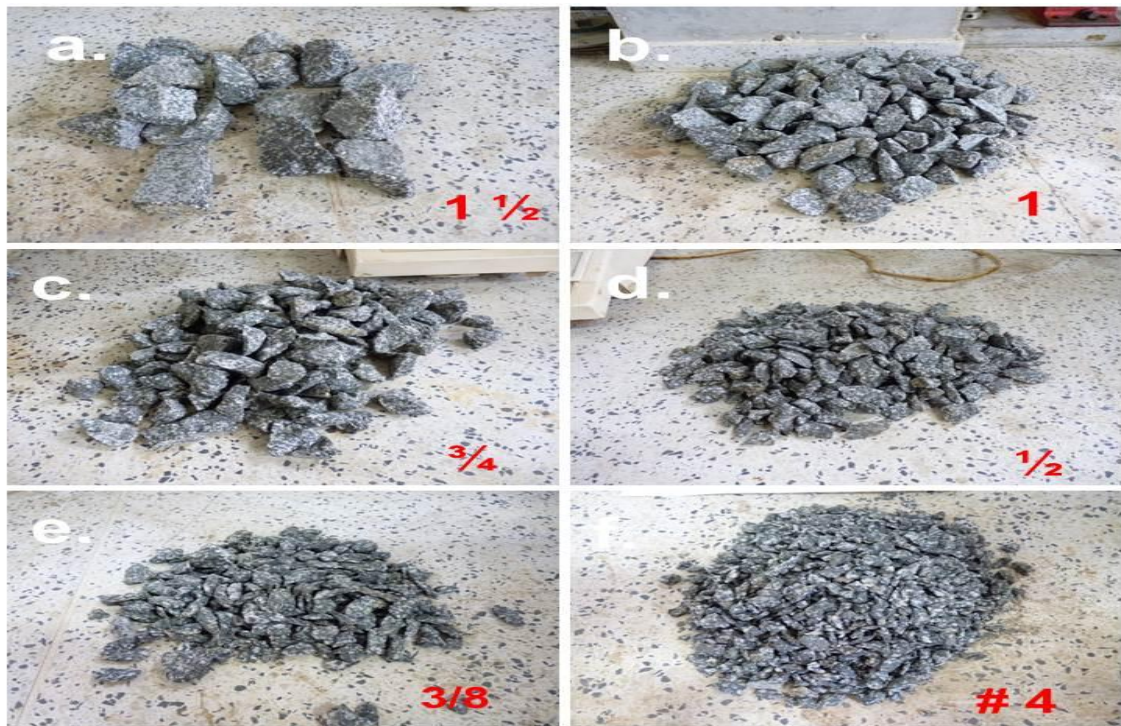
Figura 7. Proceso de tamizado manual(a) Tamices 1 1/2, 1, 3/4, 1/2, 3/8. (b) Proceso de tamizado.



Fuente: Autores.

Figura 8. Muestra retenida en cada tamiz. (a). 1 1/2. (b) 1. (c) 3/4. (d) 1/2. (e) 3/8. (f) #

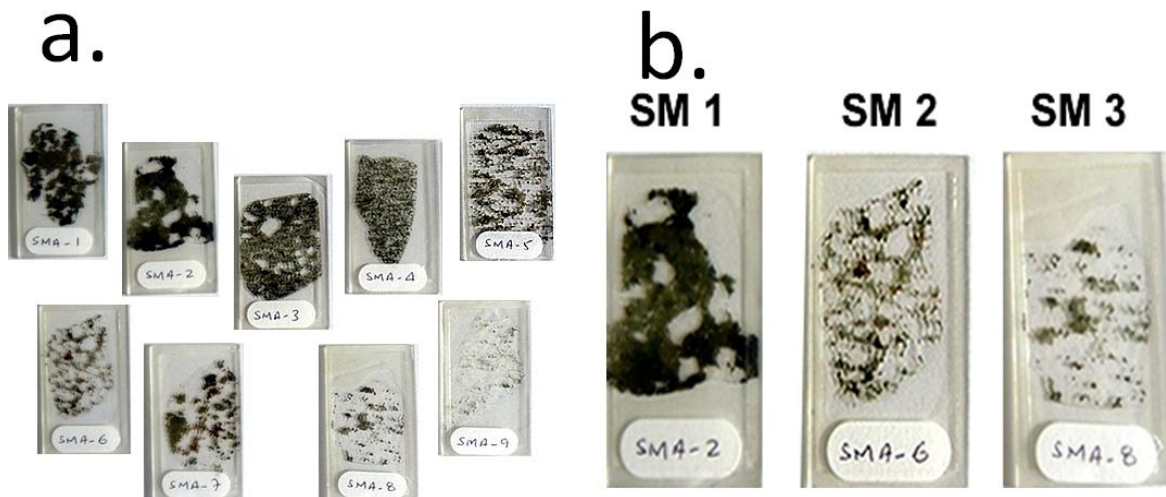
4



Fuente: Autores.

Secciones delgadas: La preparación de secciones delgadas se llevó a cabo en el Laboratorio de Preparación de Muestras Geológicas de la Universidad de Pamplona. Se utilizó la maquina Pulidora, Metaserv 2000, Marca Buehler. Estas secciones delgadas se utilizaron en la realización del Método sugerido para la descripción petrográfica de las rocas y determinación de óxidos y microfracturas en sección delgada.

Figura 9. a) secciones delgadas con variaciones texturales. b) Secciones delgadas correspondientes a las muestras destinadas para los ensayos.



Fuente: Autores.

3.4 FASE DE CARACTERIZACIÓN

Es necesario efectuar los ensayos respectivos para obtener la información precisa sobre los aspectos físicos, mecánicos, petrográficos y químicos de los materiales.

Los ensayos para determinar la calidad de los agregados pétreos, fueron efectuados en el edificio Laboratorio de Acondicionamiento y Fabricación de Probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander en donde fueron aplicadas las normas NTC 92 (Método para

determinar la masa unitaria de los agregados), NTC 98 (Método de ensayo para determinar de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos hasta de 37,5 mm, utilizando la máquina de los ángeles), NTC 126 (Método para determinar la resistencia de los agregados a los ataques con sulfato de sodio o sulfato de magnesio), NTC 176 (Método de ensayo para determinar la densidad y absorción de agregados gruesos), NTC 127 (Determinación de la materia orgánica por medio del valor azul de metileno en agregados) para las propiedades físicas, NTC 673 (Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto), normas generales, método sugerido para la determinación de la resistencia de los materiales rocosos sometidos a flexión mediante el ensayo de la viga simplemente apoyada sometida a carga puntal en el centro, para propiedades mecánicas, y NTC 175 (Método químico para determinar la reactividad potencial a agregados), para propiedades químicas estos métodos se realizaron en el edificio Camilo Torres Laboratorio 222 (laboratorio químico de consultas industriales) de la Escuela Química Pura de la Universidad Industrial de Santander, Método químico de fluorescencia de rayos X para la identificación cuantitativa de elementos de la muestra fue realizada en los laboratorios de las oficinas GEMS S.A ,Determinación de óxidos y microfracturas en sección delgada realizada en el laboratorio de microfracturas del Instituto Colombiano del Petróleo, Examen petrográfico de agregados, ASTM C-295-08,método sugerido para la descripción petrográfica de las rocas se llevó a cabo en el laboratorio microscopia de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. A continuación se describen en detalle los diferentes ensayos realizados.

3.4.1 Método de ensayo para determinar de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos hasta de 37,5 mm, utilizando la máquina de los ángeles, NTC 98.

En este ensayo luego de ser tamizado y separada cada muestra según el material retenido, se escoge la masa de los tres primeros tamices que corresponde al 1 ½

y 1, cada muestra debe pesar 10000 gr según la tabla 10. Para luego ser introducida en la Maquina de los Ángeles que se encuentra en el edificio Laboratorio de caracterización de materiales de construcción “Álvaro Beltrán” de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Tabla 4. Datos de gradación, carga abrasiva y revoluciones.

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PESO	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4			2500				
1/4	N° 4			2500				
N° 4	N° 8				5000			
N° de esferas		12	11	8	6	12	12	12

Fuente: Norma Icontec, NTC 98.

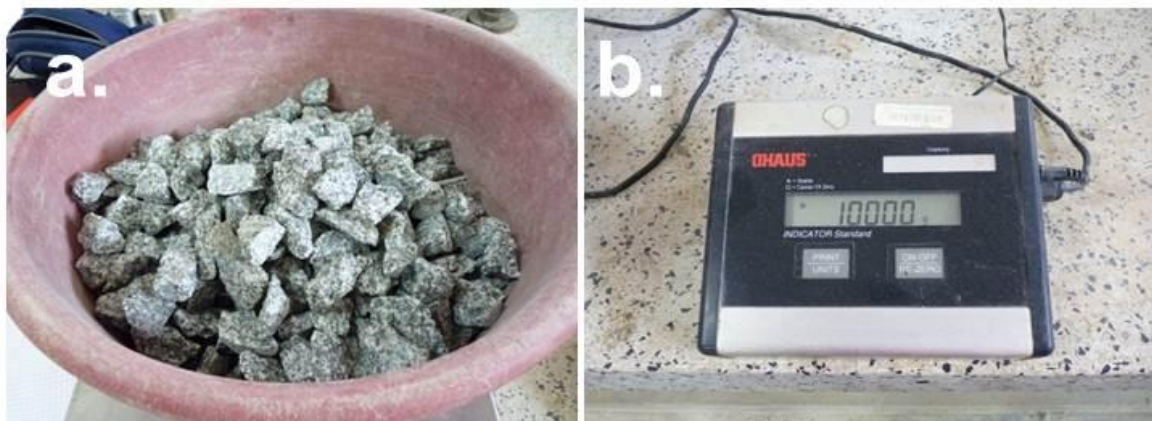
Cada muestra debe estar seca y preparada como lo indica la tabla 10, se introduce dentro del cilindro haciéndolo girar con una velocidad entre 30 y 33 rpm hasta completar 1000 vueltas. Se debe tener en cuenta que la velocidad angular debe ser constante.

Figura 10. (a)-(b) Máquina de los Ángeles. (b). 12 bolas de acero.



Fuente: Autores.

Figura 11. Determinación de la muestra inicial antes de introducirla a la máquina de los ángeles (a)-(b) Muestra SM1 peso inicial: 10000 gr.



Fuente: Autores.

Después de ser sometidas cada muestra a 1000 revoluciones en la Máquina de los Ángeles, se retira el material del cilindro y se hace pasar por un tamiz N° 120. El material retenido es pesado, luego lavado y secado en el Horno Digital de Precisión marca PINZUAR LTDA. Modelo PG 190. Que se encuentra en el Laboratorio de caracterización de materiales de construcción “Álvaro Beltrán” del

laboratorio de acondicionamiento y fabricación de probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, a una temperatura entre 105 °C y 110°C.

Figura 12. Material de la muestra SM1 extraído de la máquina de os ángeles.(a) Material retirado del cilindro de la Máquina de los Ángeles. (b) Tamiz N° 120. (c), (d) Material pesado valor obtenido 6218 gr.



Fuente: Autores.

3.4.2 Materia orgánica: determinación de la materia orgánica por medio del valor azul de metileno en agregados, NTC 127.

Después del método de ensayo para determinar de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos hasta de 37,5 mm, utilizando la máquina de los ángeles,

NTC 98, se recicla el material pulverizado que pasa por un tamiz n° 120. Método elaborado en el Laboratorio de caracterización de materiales de construcción “Álvaro Beltrán” del laboratorio de acondicionamiento y fabricación de probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 13. Muestras pulverizadas para analizar materia orgánica.(a). Muestra SM1. (b) Muestra SM2. (c) Muestra SM3. Pulverizadas.

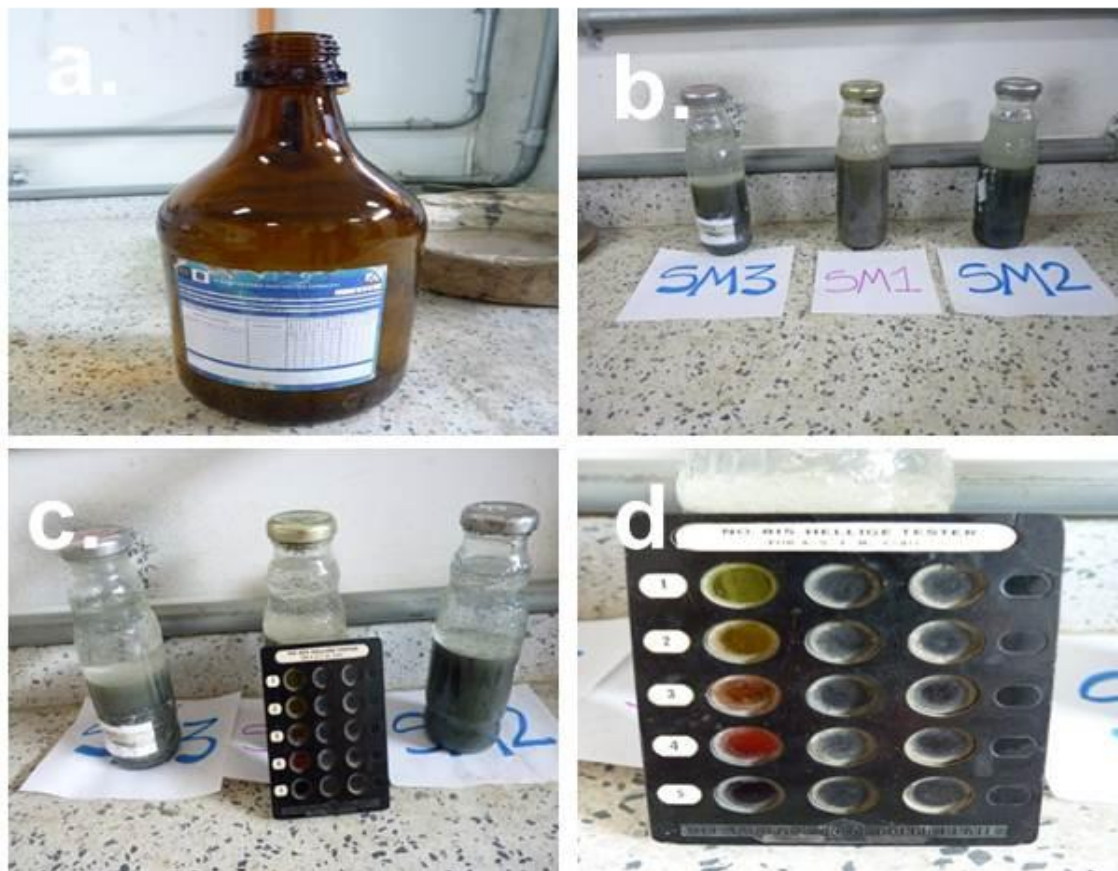


Fuente: Autores.

Se toma 500 gr de cada muestra por el método de cuarteo manual y se deposita en frasco de vidrio un volumen aproximado de 130 ml. Enseguida se añade la solución de hidróxido de sodio hasta el volumen total del frasco, después se agita y se deja en reposar por 24 horas.

Determinación del color: Al pasar 24 horas se observa la coloración deja el material en la solución de hidróxido de sodio, enseguida se compara con la tabla HELLIGE TESTER N° 815 por la norma A.S.T.M. C-40.

Figura 14. Proceso para determinar el contenido de materia orgánica.(a) Solución de hidróxido de sodio. (b) Mezcla entre cada muestra y la solución. (c) Resultado después de 24 horas. (d) Tabla HELLIGE TESTER N° 815 por la norma A.S.T.M. C-40.



Fuente: Autores.

3.4.3 Método químico para determinar la reactividad potencial de los agregados, NTC 175.

En este ensayo solo se manda a realizar el análisis del porcentaje en sílice en cada muestra. Este ensayo se realizó en el edificio Camilo Torres Laboratorio 222 (laboratorio químico de consultas industriales) de la Escuela Química Pura de la Universidad Industrial de Santander.

Cada muestra se pasa por un tamiz N° 200 y se deposita 30 gr en un frasco plástico.

Figura 15. Preparación de la muestra SM1 para análisis gravimétrico. (a) Tamiz N° 200. (b), (c) Muestra enfrascada. (d) Peso de la muestra 30,4 gr. Se utilizó la balanza Marca Shimadzu modelo BW22KH.



Fuente: Autores.

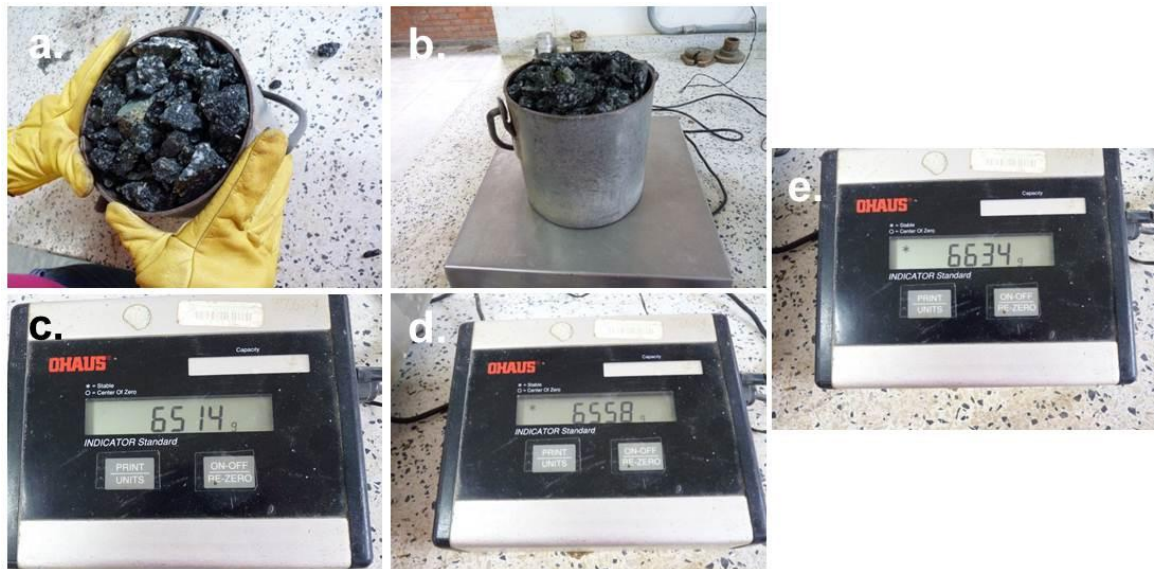
3.4.4 Método para determinar la masa unitaria de los agregados, NTC 92.

El tamiz a utilizar en este ensayo desde $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{8}$. Ensayo elaborado en el edificio Laboratorio de caracterización de materiales de construcción “Álvaro Beltrán” del laboratorio de acondicionamiento y fabricación de probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

- Masa unitaria del agregado suelto

El agregado de las muestras se deposita mediante una pala en un recipiente metálico hasta colmarlo en el borde, teniendo cuidado en no botar las partículas en el momento de pesarlo. Este procedimiento se realiza 3 veces por lo tanto al finalizar tendremos tres pesos de masas en kg de cada muestra.

Figura 16. Muestra SM2. (a) Agregado depositado con pala en el recipiente metálico. (b) Agregado pesado en la báscula. Pesos en gr: (c) 6514 gr. (d) 6558 gr. (e) 6634 gr.



Fuente: Autores.

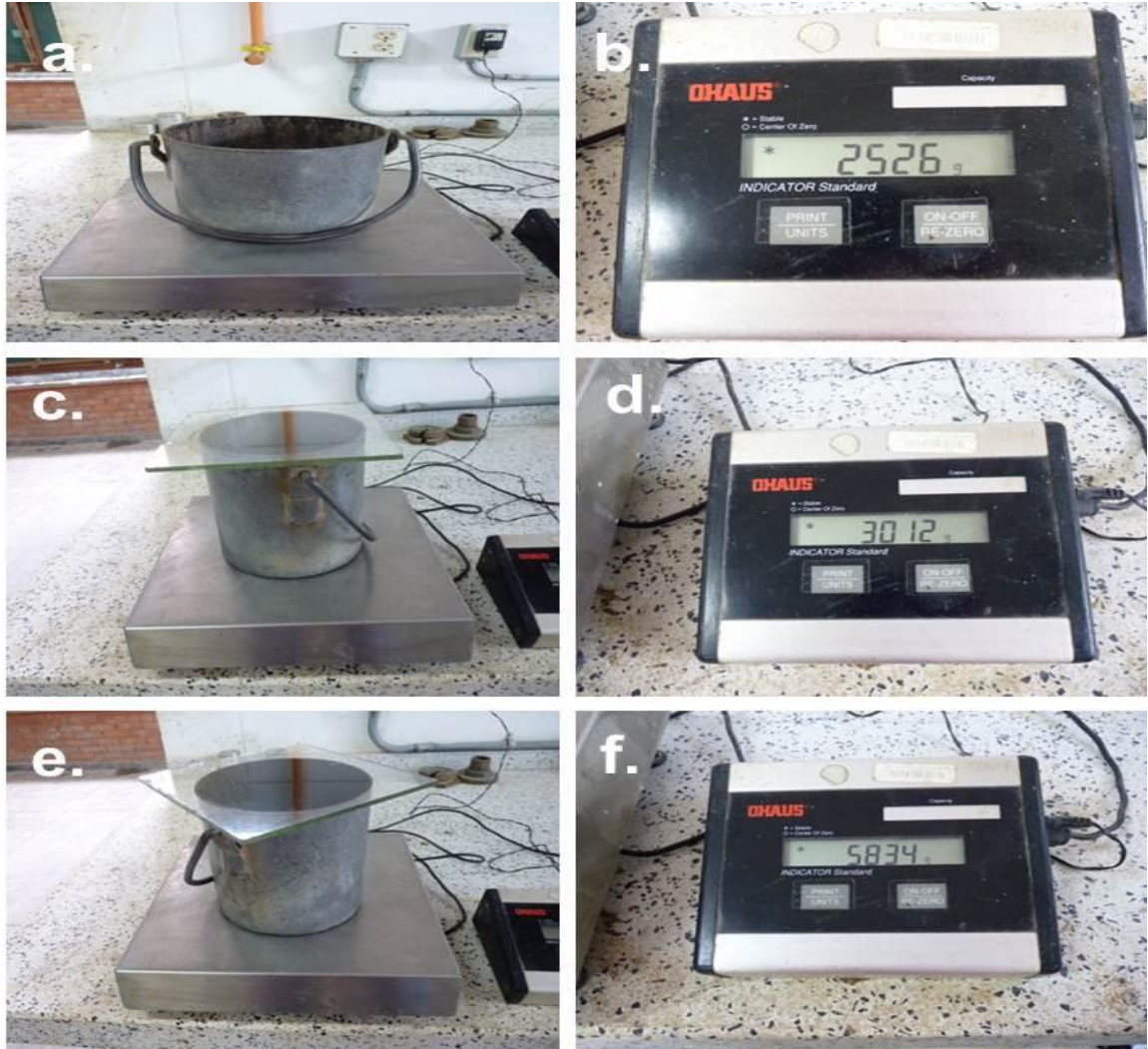
- Masa unitaria del agregado compactado
 - Método de apisonado: Ya teniendo el tamaño de las partículas en 38 mm el agregado de cada muestra se introduce en un recipiente metálico en tres capas. Cada capa se empareja con la mano y se apisona con 25 golpes de varilla distribuidos uniformemente en cada capa. Luego es pesada cada muestra en la báscula Ohaus obteniendo el peso en masa de cada una. Estos se repite en 3 ciclos. (figura 17).
 - Para obtener los cálculos es necesario pesar, el balde metálico, el balde metálico + un vidrio y el balde metálico + agua + el vidrio (figura 18).

Figura 17. Muestra SM1. (a) Agregado es apisonado con la varilla en el recipiente metálico. (b) El agregado es golpeado en los extremos exteriores del recipiente (c) Agregado pesado en la báscula. Pesos en gr: (d) 6884 gr. (e) 6890 gr. (f) 6784 gr.



Fuente: Autores.

Figura 18. (a)-(b) Balde metálico sobre la báscula y valor 2526 gr. (c)-(d) Balde + vidrio sobre la báscula y valor 3012 gr. (e)-(f) Balde + agua + vidrio sobre la báscula y valor 5834 gr.



Fuente: Autores.

3.4.5 Método de ensayo para determinar la densidad y absorción de agregados gruesos, NTC 176.

Para realizar este ensayo es necesario sumergir en agua durante 24 horas aproximadamente cada muestra con el fin de saturar los poros, para determinar la masa. Posteriormente seguimos con los siguientes pasos del ensayo. Siguiendo la

norma para las muestras de ensayo el tamaño debe tener un máximo nominal de 37,5 mm.

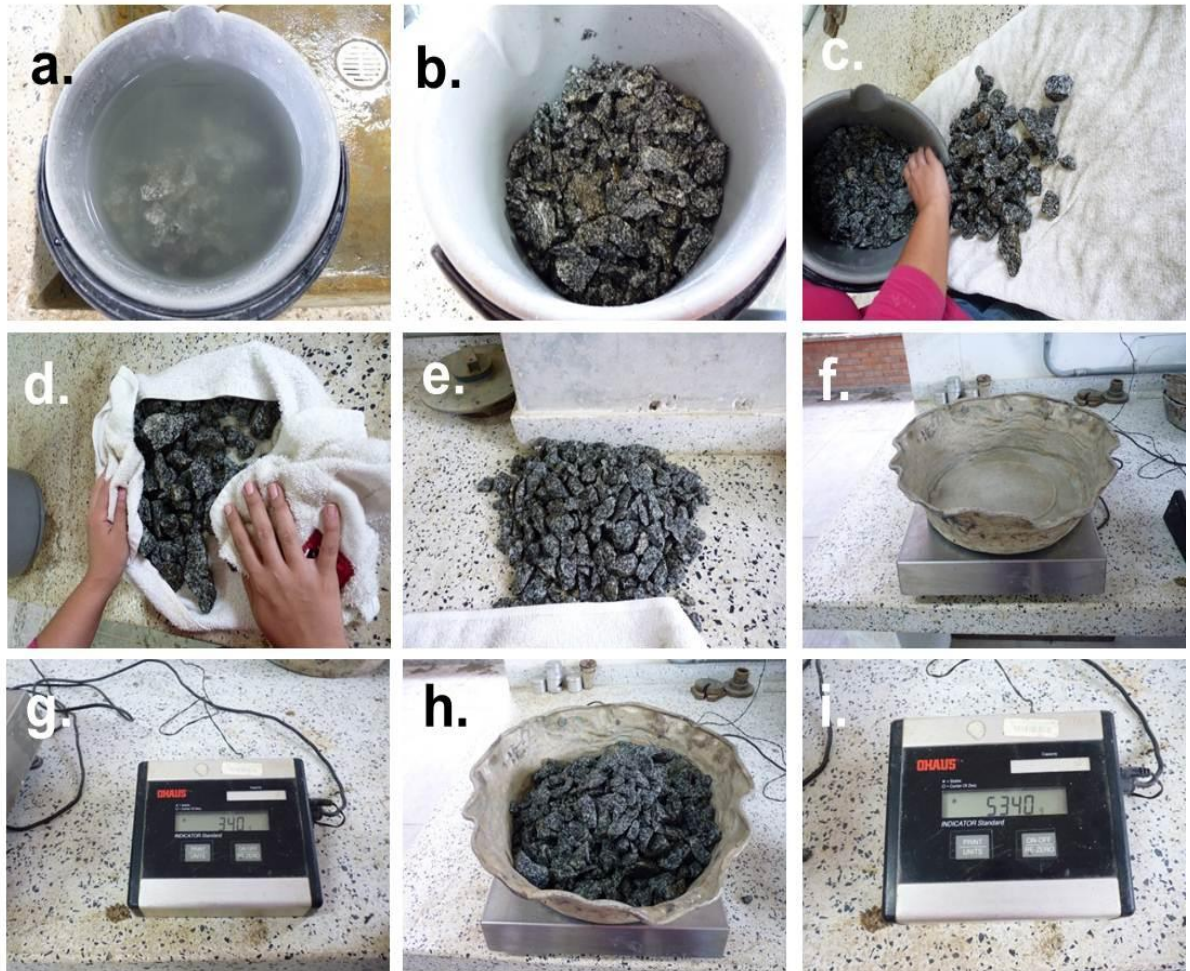
En seguida la masa de las muestras es determinada y sumergida en el agua nuevamente. Y finalmente, la muestra es seca al horno y se determina su masa una tercera vez más. Este ensayo se elaboró en el edificio Laboratorio de caracterización de materiales de construcción “Álvaro Beltrán” del laboratorio de acondicionamiento y fabricación de probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Se remueve las muestras de los baldes del agua y se envuelven en un paño absorbente hasta que el agua quede totalmente removida de las partículas. Enseguida se determina la masa de cada muestra seca (figura 19).

Después de determinar la masa, se coloca inmediatamente las muestras de ensayo en una canastilla de metal y es sumergida en un balde con agua, se procede a pesarla.

Enseguida se seca las muestras a una temperatura de 110 °C, y se determina la masa de cada muestra (figura 20).

Figura 19. Procedimiento de la norma NTC 176 para la Muestra SM1 (a) sumergida en el balde con agua por 24 h. (b) Se expulsa el agua del balde. (c) Muestra extendida para secado. (d) Muestra secada con la toalla. (e) Muestra total seca. (f)-(g) Platón en la balanza y valor 340 gr. (h)-(i) Muestra SM1 en la báscula marca Ohaus y valor 5340 gr.



Fuente: Autores.

Figura 20. (a). Montaje para la prueba. (b) Balde con agua + canastilla. (c) Canastilla metálica. (d) Muestra depositada en la canastilla de metal. (e) Muestra SM1 pesada en la balanza Marca Shimadzu modelo BW22KH valor 5285 gr.



Fuente: Autores.

3.4.6 Método para determinar la resistencia de los agregados a los ataques con sulfato de sodio o sulfato de magnesio, NTC 126.

En este ensayo la muestra retenida se encuentra en el tamiz 38 mm la cual según la tabla 10 requiere 5000 + 300 gr en cada muestra de agregado. Esta prueba se llevó a cabo en el edificio Laboratorio de caracterización de materiales de construcción “Álvaro Beltrán” del laboratorio de acondicionamiento y fabricación de probetas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

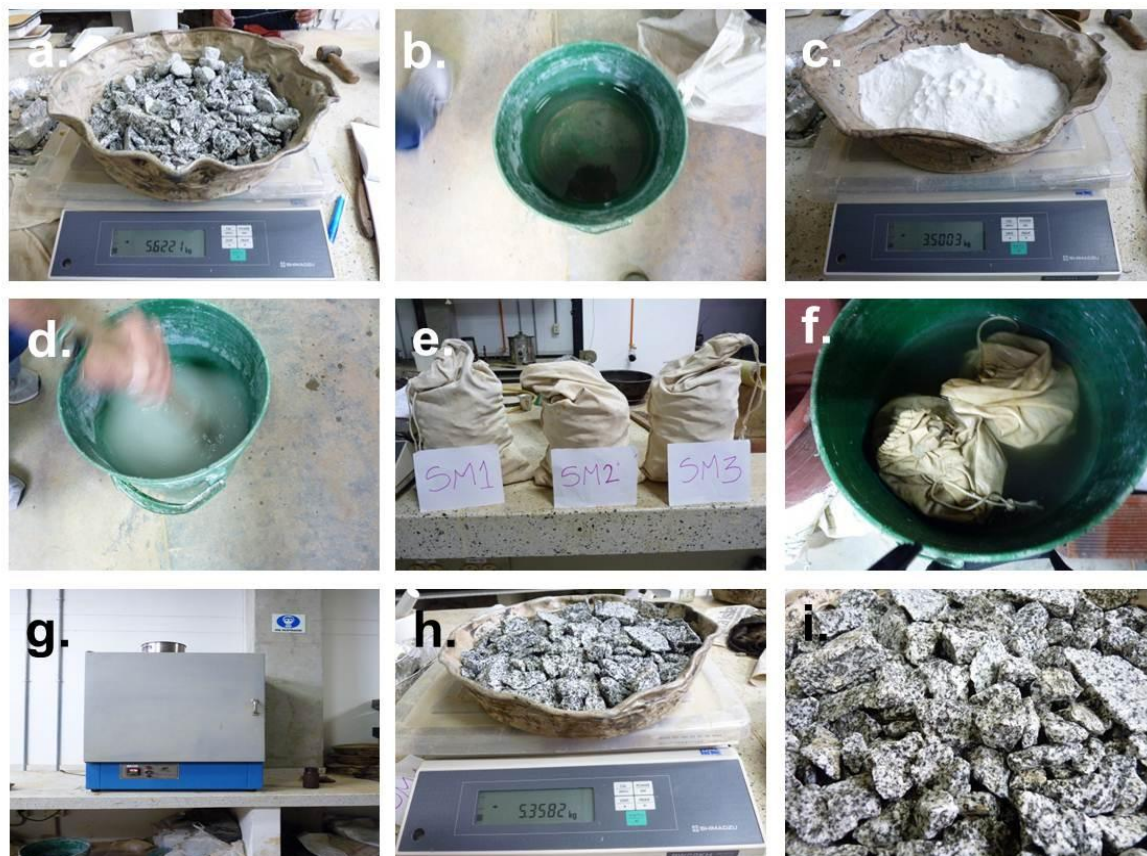
Tabla 5. Masa requerida por tamaño de partículas.

Tamaño (tamices de abertura cuadrada)	Masa (g)
9,5 mm a 4,75 mm	300 ± 5
19,0 mm a 9,5 mm	1 000 ± 10
consistente en: material de 12,5 mm a 9,5 mm	330 ± 5
material de 19,0 mm a 12,5 mm	670 ± 10
37,5 mm a 19,0 mm	1 500 ± 50
consistente en: material de 25,0 mm a 19,0 mm	500 ± 30
material de 37,5 mm a 25,0 mm	1 000 ± 50
63 mm a 37,5 mm	5 000 ± 300
consistente en: material de 50 mm a 37,5 mm	± 2 000 ± 200
material de 63 mm a 50 mm	3 000 ± 300
Para agregados de tamaño mayor a 63 mm se requieren fracciones espaciados cada 12,5 mm	7 000 ± 1 000

Fuente: Norma Icontec, NTC 126.

Enseguida se colocan las muestras en el recipiente donde se encuentra la solución saturada de sulfato de anhídrido durante un periodo de 16 a 18 horas, teniendo la precaución de que la superficie de la solución este 15 mm por encima de la muestra. Se tapa el recipiente para evitar la evaporación de la solución y también el acceso de sustancias extrañas a la mezcla.

Figura 21. (a) Muestra SM1 determinada. (b) Recipiente con agua. (c) Determinación del sulfato de anhídrido 3500 gr. (d) Solución preparada. (e) Muestras empacadas en bolsas de tela. (f) Muestras sumergidas en la solución. (g) Muestras introducidas en el horno. Después de 5 ciclos. (h) Resultado cualitativo de la muestra SM1 Seca 5358 gr. (i) Detalle cualitativo de la muestra SM1.



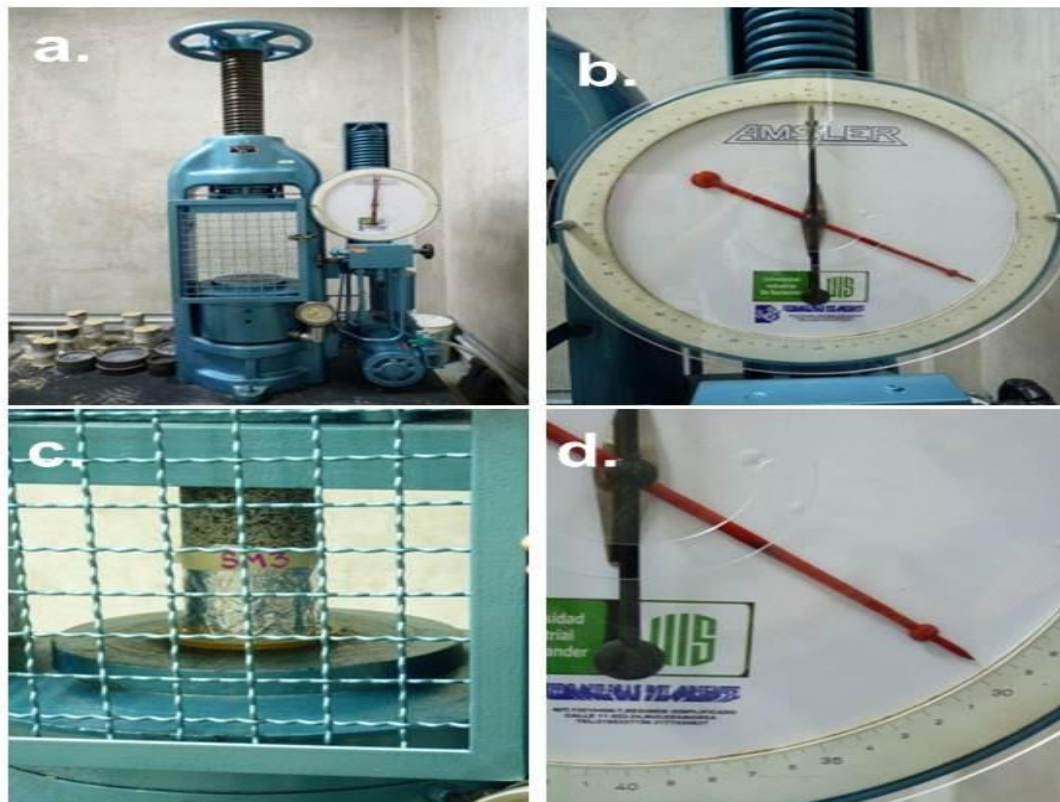
Fuente: Autores.

Después del periodo de inmersión se retira el recipiente con las muestras, se dejan escurrir durante unos 15 minutos y enseguida se colocan en el horno a una temperatura entre 105°C y 110°C. Durante 4 h las muestras se dejan secando en el horno, posteriormente se repite el mismo procedimiento de inmersión en la solución y secado por 5 ciclos.

3.4.7 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, NTC 673.

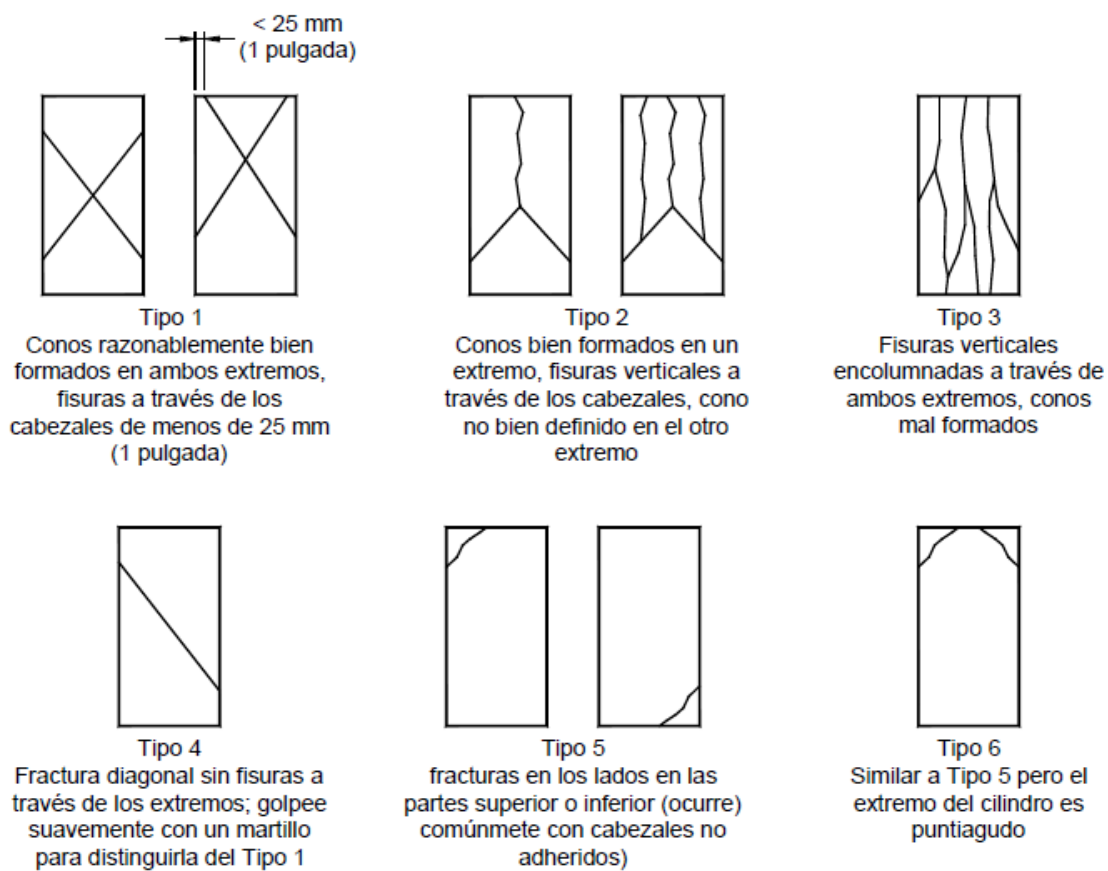
Se llevaron a cabo las pruebas de resistencia en el edificio Laboratorio de caracterización de materiales de construcción “Álvaro Beltrán” Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, donde se le aplicaron esfuerzos compresivos a 3 núcleos por cada textura, para un total de 9 muestras, se midió el comportamiento que toman frente a dichos esfuerzos, con el fin de establecer el nivel de deformación del material.

Figura 22. (a) Maquina Alfred J. Amsler y CIA. Modelo 79/191, prensa hidráulica. (b) Medidor (c) Muestra comprimida. (d) Resultado de la resistencia de la muestra comprimida en kg.



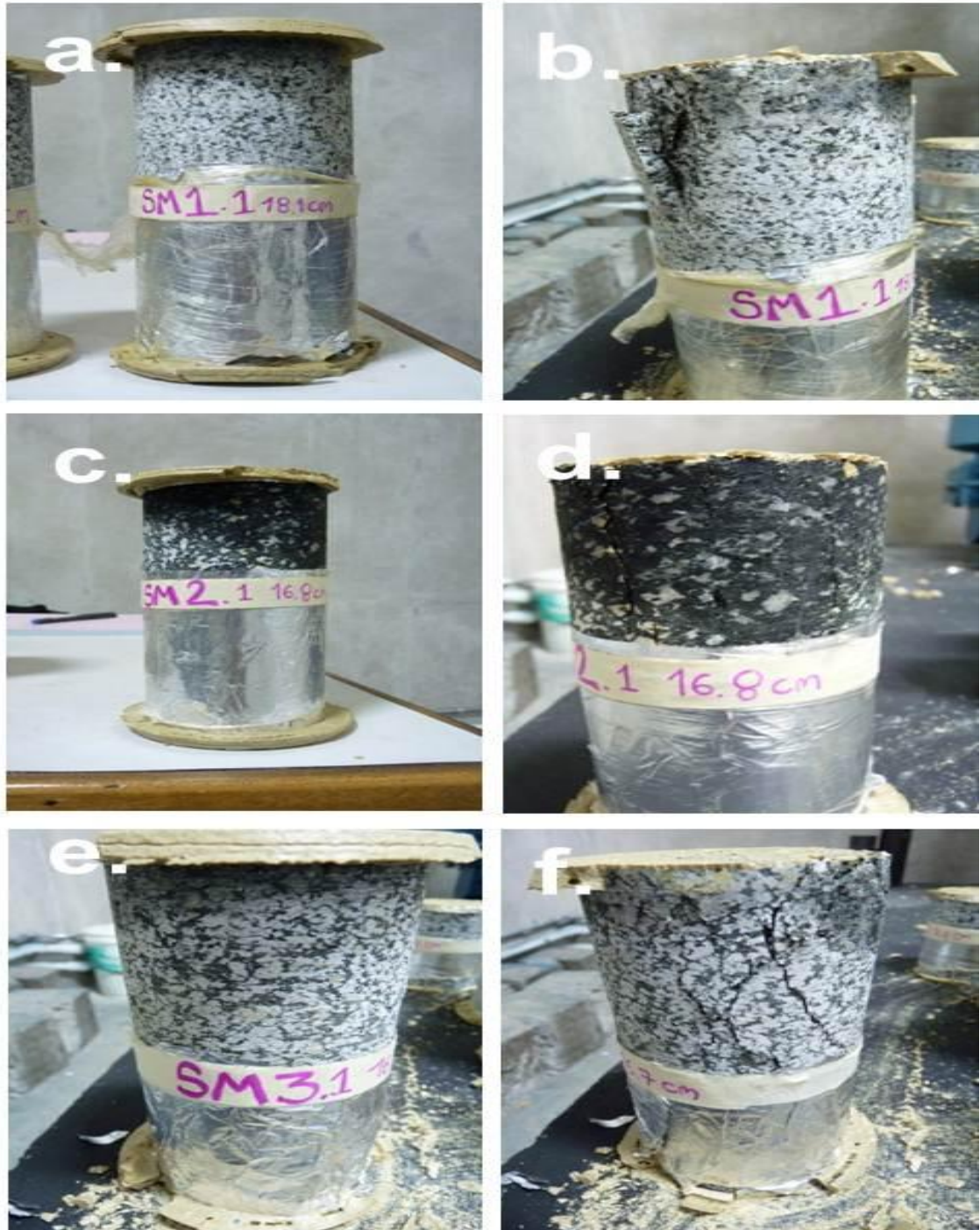
Fuente: Autores.

Figura 23. Esquema de los modelos de fractura típicos.



Fuente: Norma Icontec, NTC 673.

Figura 24. Ensayo de resistencia a la compresión de cada muestra antes de ser sometidas a esfuerzo: (a) SM1.1. (c) SM2.1. (e) SM3.1. Núcleos fallados resultantes del ensayo: (b) SM1.1. (d) SM2.1. (f) SM3.1.

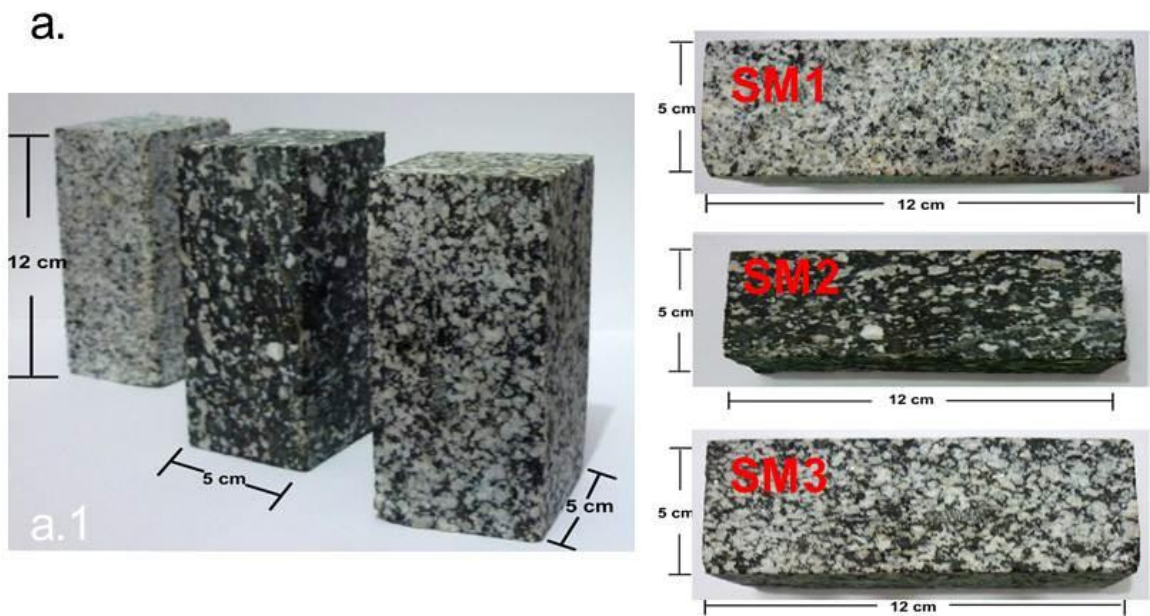


Fuente: Autores.

3.4.8 Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios), NTC 2871.

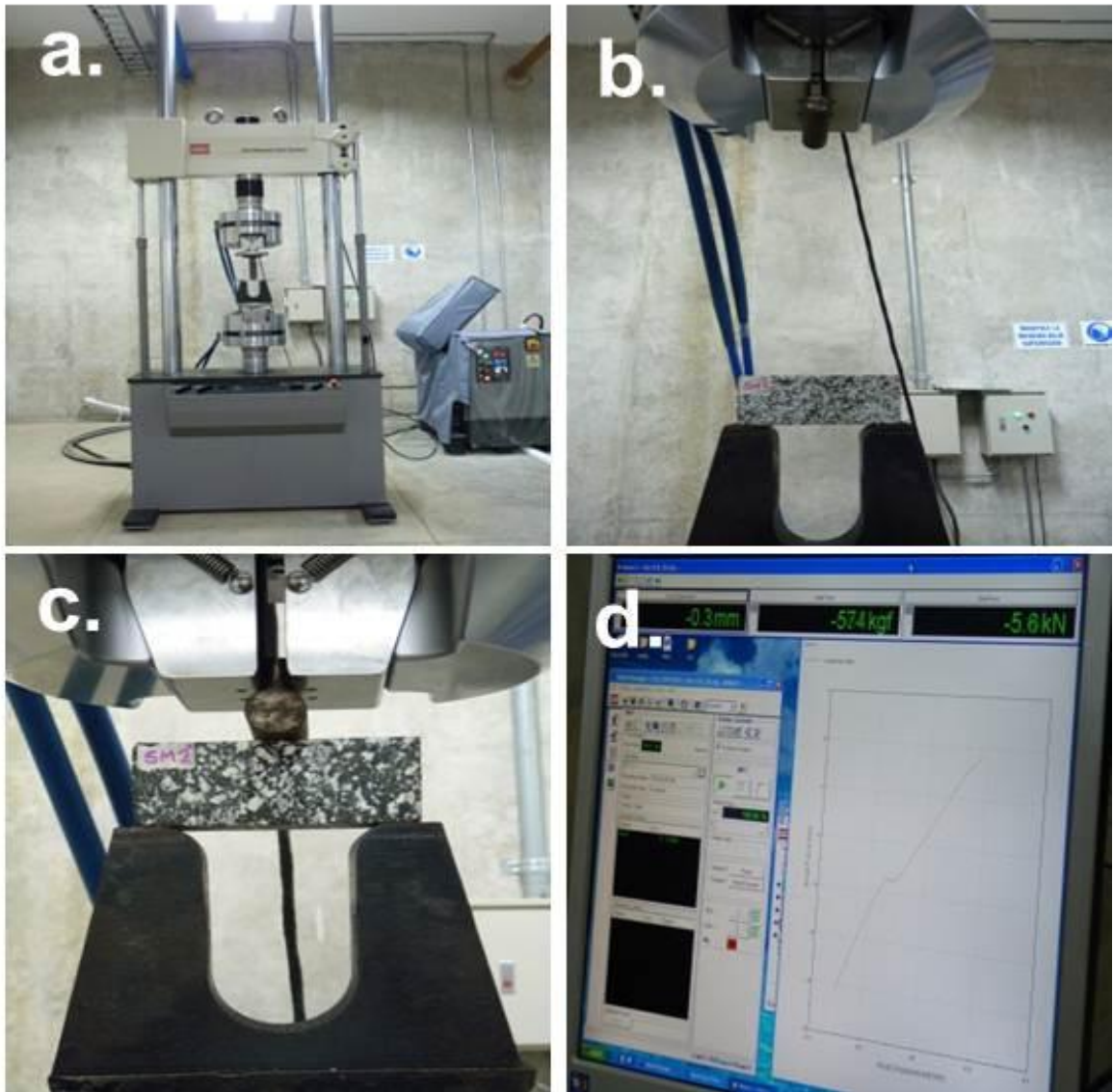
También estas prueba se llevó a cabo las pruebas en el edificio Laboratorio de caracterización de materiales de construcción “Álvaro Beltrán” de resistencia en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, donde se le aplicaron esfuerzos a 3 tabletas por textura, para un total de 9 tabletas, con el fin de medir la resistencia máxima a la flexión, midiendo sus esfuerzos. Cada tableta con dimensiones de 5 cm X 5 cm X 12 cm.

Figura 25. Tabletillas con dimensiones de 5 cm X 5 cm X 12 cm.



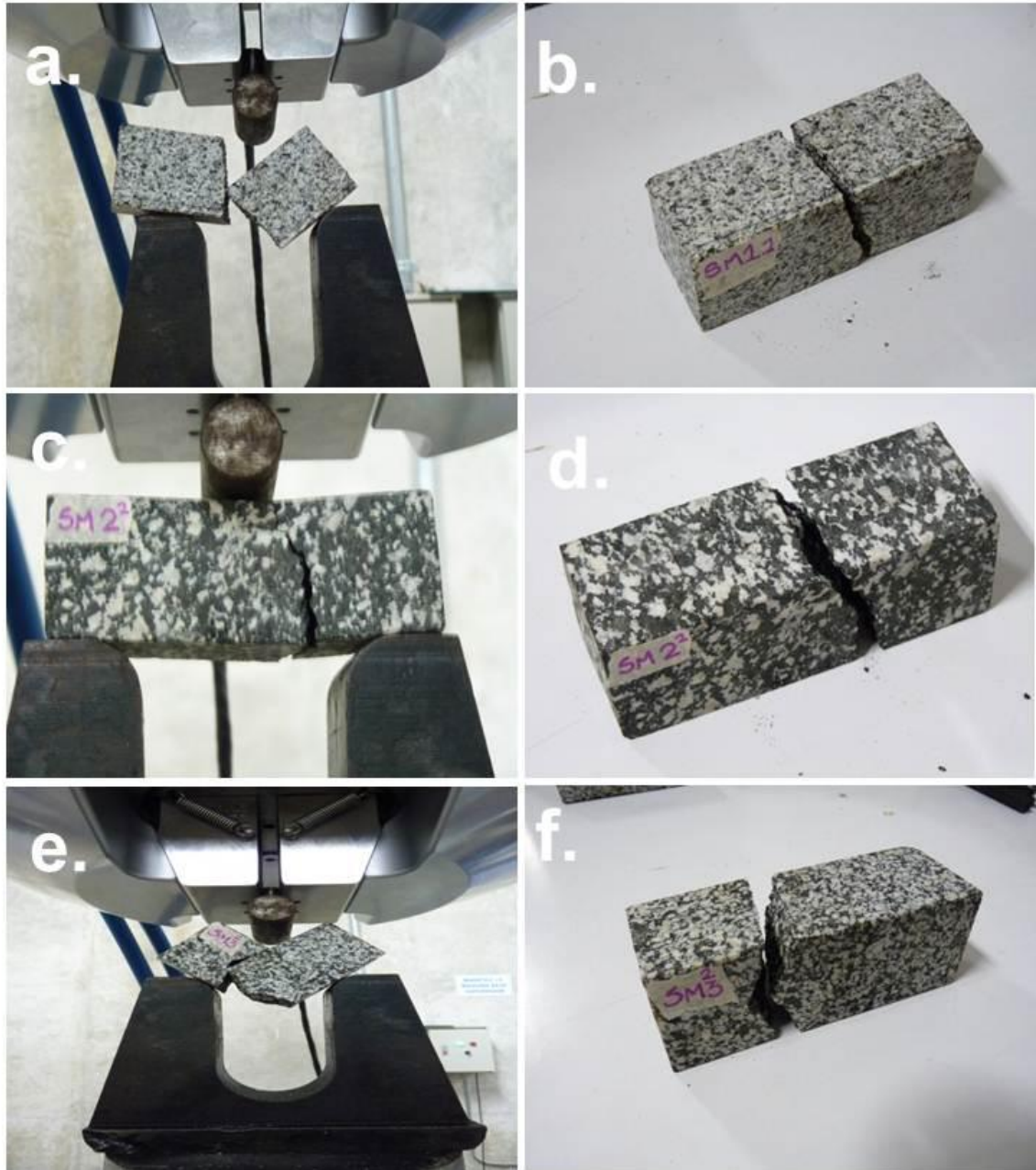
Fuente: Autores.

Figura 26. (a) Máquina de flexión Universal, MTS 810 Material Test System, modelo 31850. (b) Punto de aplicador de carga y puntos de apoyo en acero. (c) Prueba a la resistencia de flexión. (d) Registro de resultados.



Fuente: Autores.

Figura 27. Resultado a la resistencia de flexión. (a) SM1. (c) SM2. (e) SM3.
Muestras Fracturas (b) SM1. (d) SM2. (f) SM3.



Fuente: Autores.

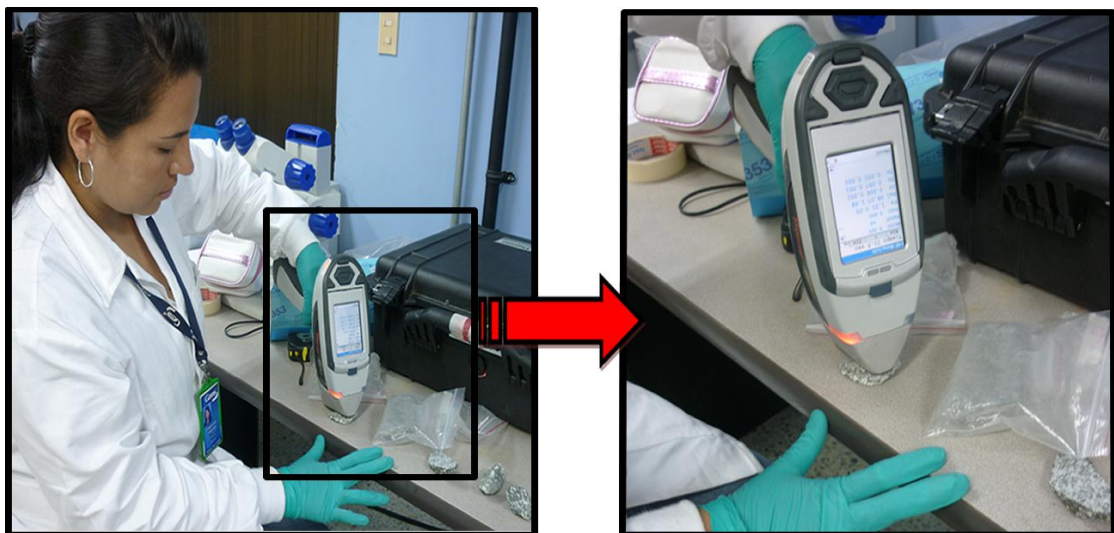
3.4.9 Método químico de fluorescencia de rayos x para la identificación cuantitativa de elementos de la muestra.

Esta prueba es realizada en los laboratorios de las oficinas GEMS S.A, con un espectrómetro portátil Niton XL3t este modelo monta un tubo de rayos X de 50 kV (máximo) y 100 microamperios (máximo) con la opción de incorporar un ánodo de plata para análisis de elementos ligeros. (Valentinuzzi, 2008)

Procedimiento:

- Calibración del espectrómetro.
- Ejecución de lecturas: Se irradia durante 300 minutos una superficie ópticamente plana y suave (que puede cumplir la función de porta muestra o bien ser la roca sólida a analizar).
- Obtención de resultados: El espectrómetro proporciona la concentración en % de cada elemento.

Figura 28. Análisis a cada muestra con el espectrómetro.



Fuente: Autores.

3.5 FASE DE INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Teniendo recopilado todos los datos de cada ensayo estos fueron sometidos a un proceso de elaboración técnica y operaciones estadísticas, para posibilitar su interpretación. Se realizó un método comparativo según los estándares establecidos elaborando representaciones gráficas y tabulaciones, finalmente se establecen conclusiones.

3.6 FASE DE ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL.

En esta fase se representa el resultado final del largo proceso de investigación. Constituye en su estructura la información teórica, normativa, metodológica y la compilación de resultados clasificados, interpretación y conclusiones del proyecto.

4. ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA CANTERA MANUEL PERTUZ

En esta sección se presenta la información geográfica y geológica del Proyecto de agregados pétreos de la cantera “Manuel Pertuz” para la industria de la construcción, cuyo mercado principal es la industria de la construcción en la ciudad de Santa Marta, capital del Departamento del Magdalena. La demarcación del área de explotación se resume a continuación.

4.1.1 Localización geográfica

- **Descripción del Punto Arcifinio:** Puente de la Carretera Troncal del Caribe sobre la Quebrada Tamacá, Sector La Lucha (Santa Marta).
- **Coordenadas del Punto Arcifinio:**
X: 1' 732.220.Y: 987.622.
- **Plancha y/o fotografías Aéreas IGAC:**
Plancha IGAC: 11-IV-B y 11-IV-D (Santa Marta).
- **Área Total Requerida para el Proyecto Minero (Hectáreas):**
20,12552 Hectáreas.

4.1.2 Localización geológica

El área de estudio se localiza en la parte norte del Departamento del Magdalena, Costa Caribe de la República de Colombia. Su posición estratégica, en la zona

rural del Distrito de Santa Marta, aledaña a la zona de desarrollo industrial, le permite ser punto de fácil acceso desde la carretera Troncal del Caribe. (Ver figura 29).

Figura 29. Localización del título Minero HKN-1591. Cantera “Manuel Pertuz” en el contexto Costa Caribe de Colombia. (Modificado de: Google Earth2012).



Fuente: Autores

Se tiene previsto el desarrollo del proyecto Cantera “Manuel Pertuz” en el Macizo Rocoso del predio rural que lleva el mismo nombre, el cual se encuentra en jurisdicción de la vereda Bureche, al sureste del casco urbano del Distrito de Santa Marta.

Para acceder al predio, desde la ciudad de Santa Marta, se toma la carretera Troncal del Caribe, tramo Santa Marta – Gaira, frente a la antigua planta de Cervezas Polar, se toma un carreteable en dirección sur-este que atraviesa la línea ferroviaria y llega hasta el cerro después de la finca Bureche. Estecarreteable posee una longitud de 2.00 kilómetros aproximadamente. La

distancia total a recorrer desde el sector de la Lucha en el casco urbano del Distrito de Santa Marta es de apenas 5.50 Kilómetros. (Ver figura 30).

Figura 30. Microlocalizacion de la Cantera “Manuel Pertuz” en el Distrito de Santa Marta. (Imagen Satelital oblicua adaptada de Google Earth, 2012).



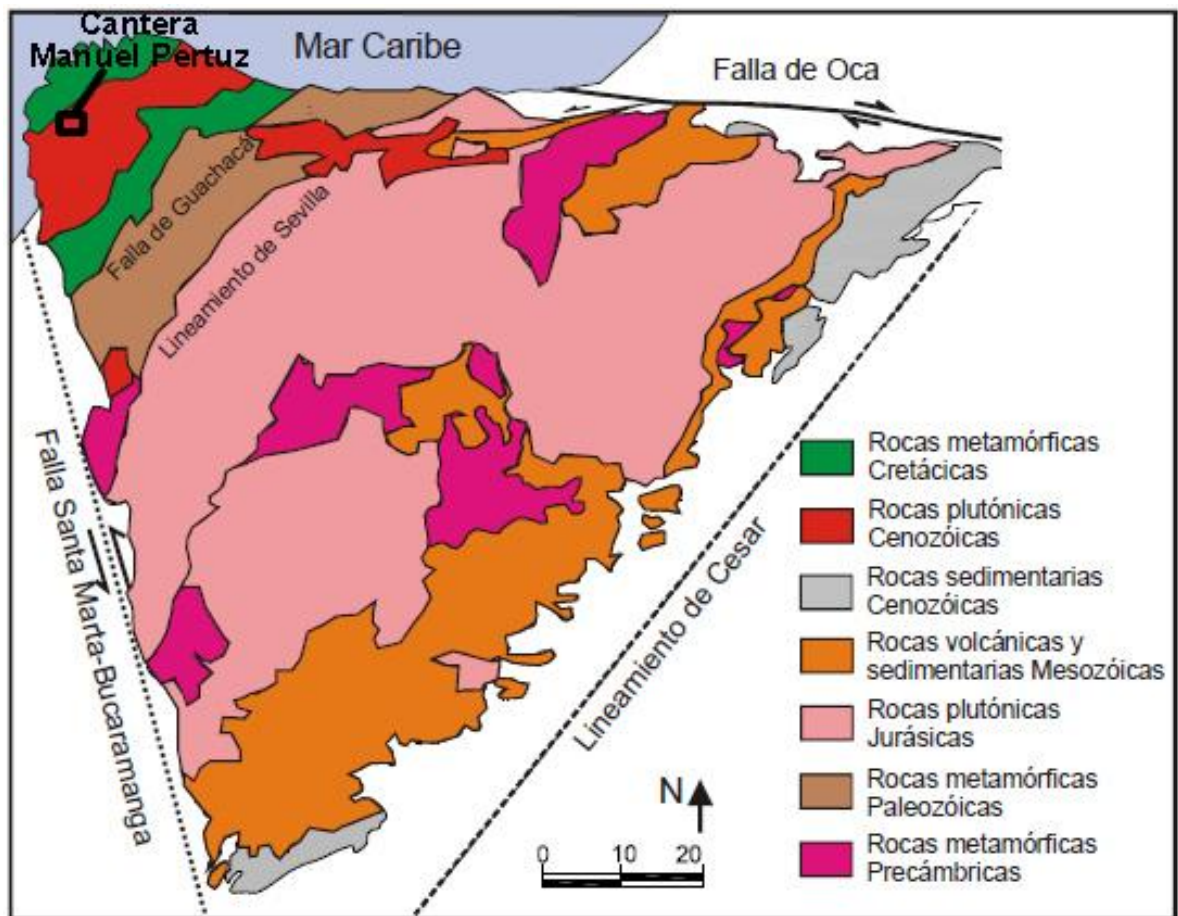
Fuente: Autores.

4.2 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA GEOLOGÍA REGIONAL REQUERIDA PARA EL PROYECTO

Regionalmente, La Cantera “MANUEL PERTUZ” según Tschanz, et al. 1969, en Memoria Explicativa-INGEOMINAS, 1988, se localiza en el flanco nor-occidental del macizo montañoso llamado Sierra Nevada de Santa Marta, el cual es un mosaico complejo de provincias geotectónicas. De esta manera, el yacimiento de materiales de construcción de interés económico se enmarca dentro de la

provincia geotectónica Cinturón Orogénico del Terciario Reciente, compuesto de un cinturón central de cuarzodioritas y rocas intrusivas relacionadas y dos cinturones de esquistos y filitas que fueron metamorfoseadas primero durante el Paleoceno; estos cinturones poseen una orientación general nor-este. Estructuralmente, el macizo se halla limitado al occidente por el sistema de fallas de rumbo sinextral de Santa Marta – Bucaramanga, de dirección general N15°W. (Ingeominas, 1988). (Ver figura 31).

Figura 31. Marco geológico regional del yacimiento de Materiales de Construcción de Cantera “Manuel Pertuz”.



Fuente: Duque (2009)

4.2.1 Tectónica Regional

El área de estudio se ubica dentro de la provincia geotectónica de Santa Marta, limitada al norte y oriente por la falla de Oca, al sur por la provincia geotectónica de Sevilla, y al occidente por el sistema de fallas de Santa Marta – Bucaramanga.

Según el NSR – 98 el área de Santa Marta y sus alrededores se hallan dentro de la zona de amenaza sísmica intermedia, lo que significa que pueden ocurrir sismos con intensidad VIII según la escala de Mercalli. El Coeficiente de aceleración pico efectiva, para diseño, para la ciudad de Santa Marta, es $A_a=0.15$.

4.3 BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO

4.3.1 Geología Local

A continuación se describen las características litológicas y estructurales del área minera Cantera “Manuel Pertuz”.

4.3.2 Litología

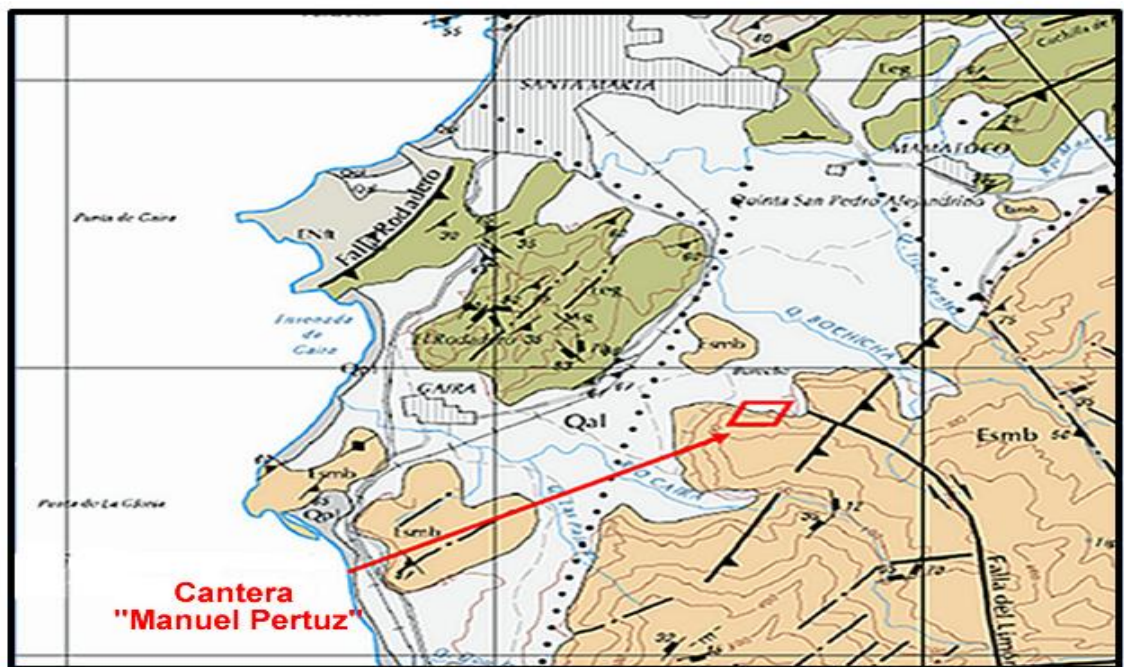
El material pétreo a extraer en la Cantera “Manuel Pertuz” consiste de arenas (saprolito arenoso) producto de la meteorización (alteración) y de rocas ígneas pertenecientes al Batolito de Santa Marta:

4.3.3 Granodiorita del Batolito de Santa Marta (Esmb)

Este cuerpo ígneo, que se extiende en dirección NE – SW en el flanco noroccidente del macizo Sierra Nevada de Santa Marta, se haya compuesto principalmente de granodiorita de hornblenda – biotita, masiva y uniforme, la cual

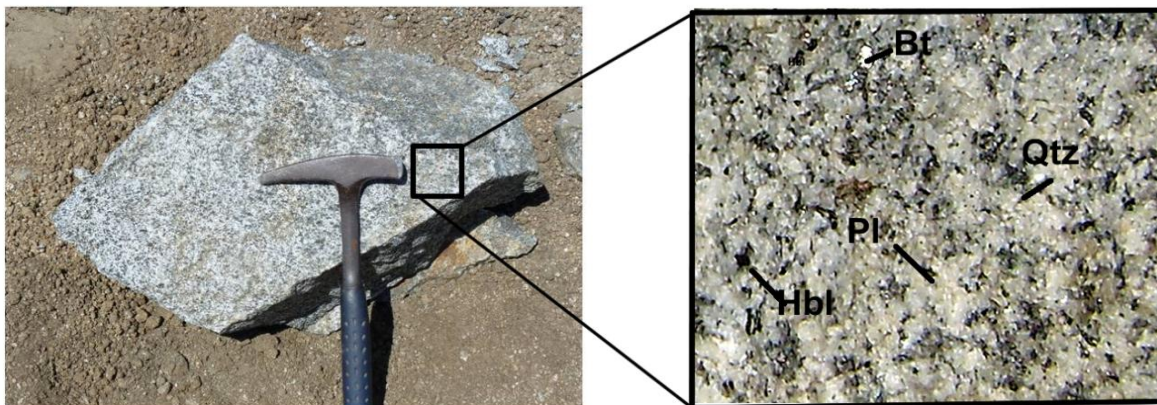
posee una típica textura hipidiomórfica granular. La roca en apariencia es moteada, puntos negros (biotita y hornblenda) en una matriz de color claro (cuarzo y plagioclasa). Esta unidad geológica, según estudios radiométricos sobre hornblenda es de edad Eoceno (50.5 + 5 millones de años). Tschanz, Jimeno y Cruz, 1969. (Ver figura 32, y figura 33).

Figura 32. Marco Geológico local del Título Minero N° HKN-15091. (Adaptado de Ingeominas, 1998).



Fuente: Cortes, H.

Figura 33. Acercamiento de la Roca Granodiorita del Batolito de Santa Marta (Tcd), aflorante en la Cantera “Manuel Pertuz”.



Fuente: Autores.

4.3.3.1 Sapolito Arenoso (SA). Consiste de un material granular, areno-limoso, con buena compactación, producto de la meteorización “in situ” de la roca ígnea (granodiorita) que conforma el macizo rocoso de la Cantera “Manuel Pertuz” (Ver figura 34).

La formación de este Sapolito arenoso estuvo controlada por tres variables, así:

- **Composición de la roca parental:** granodiorita, compuesta principalmente por cuarzo, biotita, hornblenda y plagioclasa.
- **Condiciones Ambientales:** Clima tropical, con precipitaciones que varían entre 500 y 1000 mm. Colinas con pendientes y/o laderas pronunciadas hacia la cima y moderadas a suaves desde su parte media hacia el pie de la misma.
- **Tiempo:** las rocas aflorantes son de edad Eoceno.

Los procesos de meteorización que han actuado se definen principalmente como meteorización física y química, así:

- **Meteorización Física:** La transformación debida a la meteorización física originan cambios texturales en esta roca ígnea, variando su compacidad y haciendo que sean más deleznable y más fácilmente disgregables. Dentro de este tipo de meteorización encontramos:
 - **Exfoliación**
 - **Acción de las raíces.**
 - **Crecimiento cristalino**

Figura 34. Capas de perfil de meteorización de la Granodiorita del Batolito de Santa Marta (Esmb), en Cantera “Manuel Pertuz”, Santa Marta, Colombia.



Fuente: Autores.

- **Meteorización Química:** En esta se destacan la Hidrólisis, Hidratación-Deshidratación-Oxidación.
- **Hidrólisis:** Es la reacción de los minerales con el agua que provoca la destrucción de los silicatos en la roca, dando lugar a la aparición de arcillas, arenización y mantos de alteración.

- **Hidratación-Deshidratación-Oxidación:** Soarez, M (1992), los minerales ferromagnesianos (hornblenda y biotita) presentes en la roca granodiorítica tienen capacidad para fijar agua entre sus capas dando lugar a procesos de hidratación y expansión. Cuando esta agua se libera genera procesos de deshidratación y contracción. Este proceso debilita los enlaces químicos favoreciendo la oxidación. Los cambios de volumen intergranular y el desmenuzamiento y desmoronamiento de la roca.

4.4 MINERALES PRIMARIOS Y PRODUCTOS DE LA METEORIZACIÓN

Feldespato -----Minerales arcillosos
 Biotita -----Minerales arcillosos
 Minerales ferromagnesianos (Fe, Mg) -----Minerales arcillosos, goethita
 Cuarzo -----Cuarzo

Ahora, las rocas ígneas poseen una alterabilidad que depende de los minerales (silicatos), para tal efecto, se utiliza la escala de alterabilidad de Goldich, 1938, en la cual se puede observar la alterabilidad baja a media de la granodiorita que se está tratando en este estudio (figura 35).

En esta escala, se establece que cuanto más tarde en diferenciarse un mineral de la masa magmática, será más estable por tener unas condiciones parecidas a las ambientales

Brook (1978), considera que este proceso se llevaría a cabo en 3 etapas: (1) estado inicial, relieve con discontinuidades (fallas y diaclasas), favoreciendo la penetración del agua y meteorización; (2) alteración, junto al subsiguiente arrastre de material arenizado, aumenta el tamaño de las diaclasas y hace aparecer bloques individuales, formando así domos degradados (a y c) o berrocales y

pedrizas (b); (3) progresión del fenómeno anterior conduce a un relieve degradado, con acumulaciones de bloques dispersos. (Ver figura 36).

Figura 35. Escala de Goldich de alterabilidad de las rocas según su composición mineralógica. (Adaptado de Suarez, 1992).



Figura 36. Evolución del paisaje granítico (modificado de Brook, 1978).

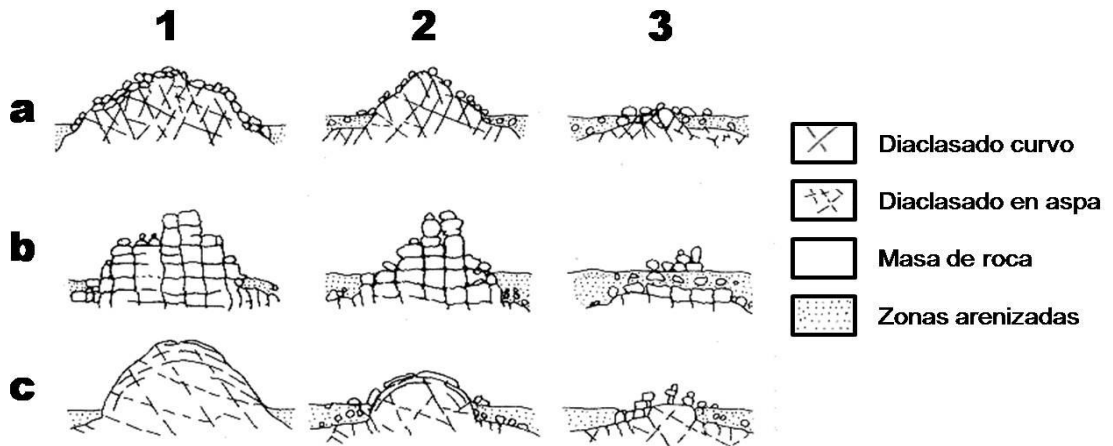
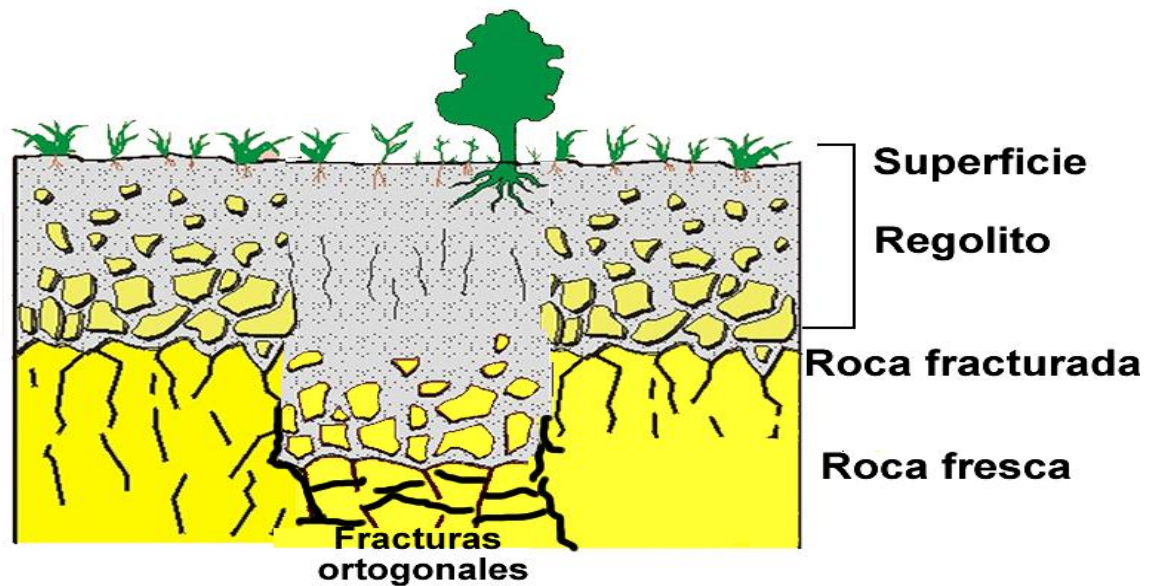


Figura 37. Perfil generalizado de la meteorización de un macizo rocoso compuesto por rocas graníticas, similares a las aflorantes en el área de estudio. Nótese la variación del espesor del saprolito dependiendo del fracturamiento de la roca parental o “bed rock”.



Fuente: Autores.

En la cantera se aprecian zonas de material granítico alterado y no movilizado. Texturalmente, los perfiles de alteración de estas rocas graníticas se caracterizan por un enrojecimiento de la masa rocosa y una transformación total o parcial de los minerales. A medida que se asciende en este perfil los minerales arcillosos secundarios y los óxidos van en aumento. La roca va perdiendo su consistencia y se presenta un aumento de la porosidad.

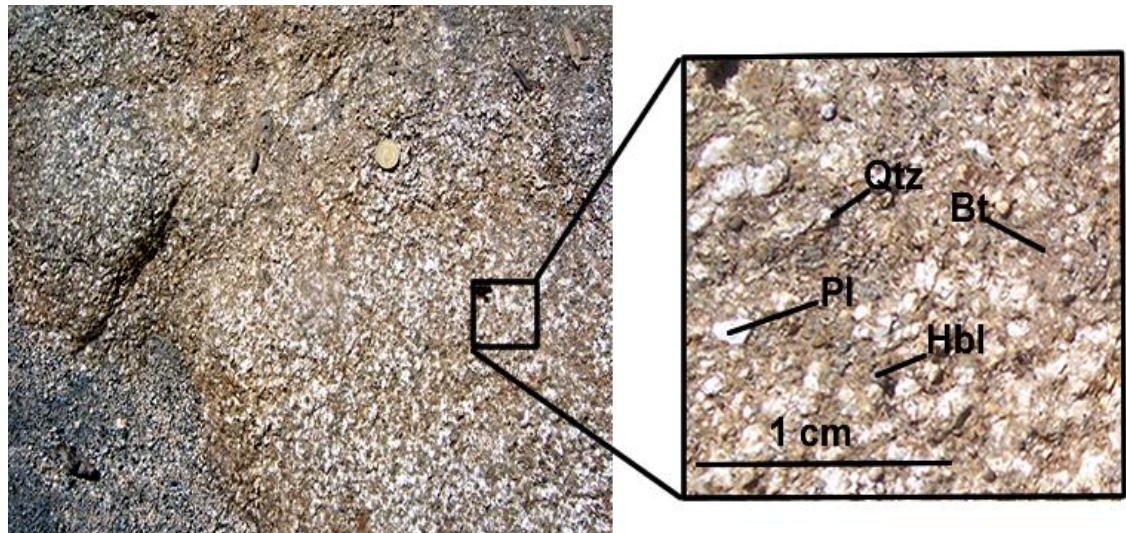
- **Cuaternario Aluvial (Qal)**

Estos depósitos, se extienden regionalmente, a partir del piedemonte del flanco norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, hasta los depósitos fluvio-marinos en límites con el Mar Caribe.

Hacia el norte del área de estudio y sus alrededores, comprende la llanura aluvial y de inundación del río Manzanares, y localmente la terraza aluvial baja de la quebrada Tamacá.

Se hallan conformados, en el área de estudio por sedimentos arenosos, depositados por inundaciones cíclicas de la quebrada Tamacá, en un pasado geológico reciente.

Figura 38. Detalle del saprolito arenoso. Santa Marta, Magd. Nótese la coloración parda rojiza, y que todavía se retiene la textura de la roca fresca e intacta.



Fuente: Autores.

4.5 ESTRUCTURAL.

El yacimiento de materiales de construcción en la cantera “Manuel Pertuz”, no presenta rasgos tectónicos tales como fallas normales e inversas, sin embargo, una falla de rumbo dextral (Falla del Limón) y una de tipo inversa pasan al suroriente del área de estudio.

El diaclasamiento es intenso y no se identificaron fenómenos de replegamientos importantes.

4.6 RESERVAS EXPLORADAS

El cálculo de las reservas de material de construcción (saprolito arenoso o relleno, y material pétreo) que posee la cantera Manuel Pertuz en su macizo rocoso es de 524.749,00 (m^3) de rocas Granodioríticas.

4.7 SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA MANUEL PERTUZ

El proyecto minero Cantera “Manuel Pertuz” se desarrollará en dos etapas, siguiendo básicamente una secuencia cronológica de inversiones en infraestructura y equipos.

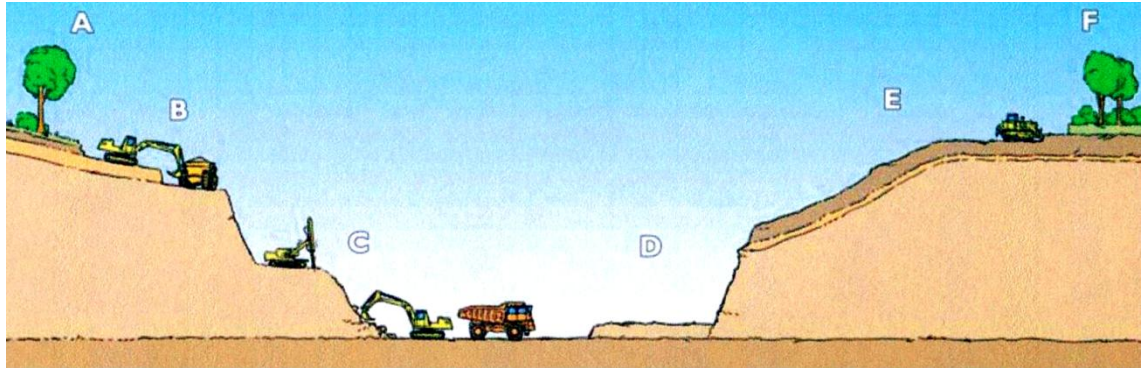
4.7.1 Tipo de Explotación

Explotación a cielo abierto mediante el método de canteras de ladera.

4.7.2 Sistema de Explotación

EL Sistema de Explotación proyectado es el de **EXPLOTACIÓN POR BANCOS DESCENDENTES**, un total de tres (3) bancos en forma descendente (*Ver figuras*), permitiendo la re-vegetalización inmediata, luego de extraer el máximo material de rellenos (saprolito arenoso) y rocoso del banco propuesto.

Figura 39. Esquema del proceso de explotación en Cantera “MANUEL PERTUZ” (Tít. Minero No. HKN-15091) - (A. Perfil original; B. Descapote; C. Explotación en Bancos; D. Relleno; E. Reconstitución del Suelo; F. Re vegetación. (Adaptado de Gobierno de la Rioja, 2006).



Fuente: Cortes, H

El material pétreo a extraer consiste de arenas (saprolito arenoso) producto de la meteorización (alteración) y de rocas ígneas pertenecientes al Batolito de Santa Marta.

En el proceso de extracción se hace mediante actividades de perforación y voladura, mientras que una excavadora se encarga del arranque de la roca volada depositándola en taludes del frente de explotación y por medio de las volquetas trasladarlas al patio de acopio, donde los obreros se encargan de picar las rocas más grandes llamadas sobretamaños, que posteriormente son transportadas a las máquinas trituradoras con el fin de obtener el tamaño requerido para agregados pétreos según lo determine la planta de beneficio.

Figura40. (a) Entrada a la cantera. (b) vías dentro de la cantera. (c), (d) zonas de depósitos de los materiales pétreos.



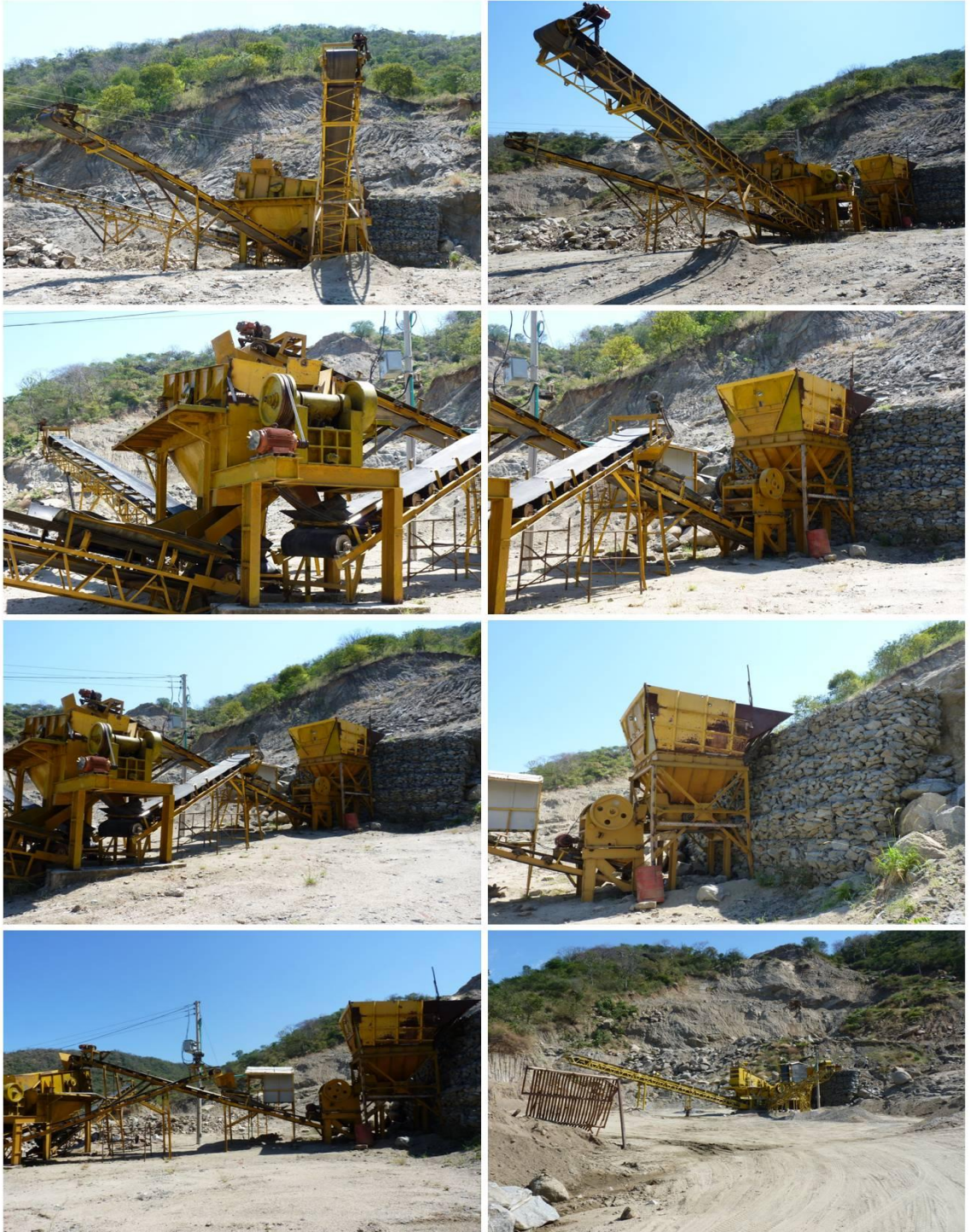
Fuente: Autores.

Figura 41. (a)-(c) Rocas en tamaños llamado “Sobretamaños”. (b)-(d) Tamaños adecuados para introducir el material a las maquinas trituradoras.



Fuente: Autores.

Figura 42. Máquinas de trituración en la cantera.



Fuente: Autores.

Figura 43. Material triturado.



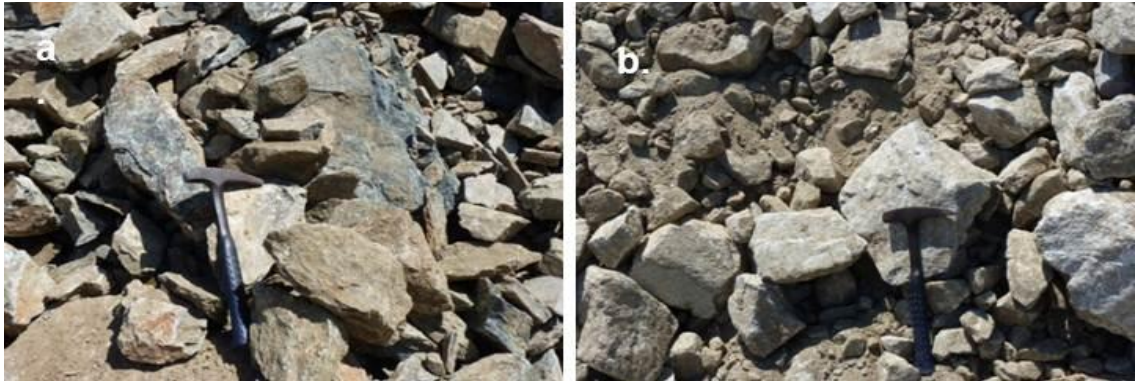
Fuente: Autores.

Figura 44. Los números 1, 2, 3, 4 corresponden a la variedad de texturas y composición de las rocas ígneas existentes en la cantera “Manuel Pertuz” que van desde Máficas a Félsicas.



Fuente: Autores

Figura 45. (a). Esquistos del Gaira. (b) Marmoleta.



Fuente: Autores.

4.8 FACTORES TENIDOS EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.

4.8.1 Factores Geológicos:

- **Tamaño:** El yacimiento de Cantera “MANUEL PERTUZ” (Título Minero No. HKN-15091), es relativamente pequeño, por lo tanto, se debe aprovechar al máximo las reservas explotables.
- **Forma:** La morfología del macizo rocoso (cerro) es de cima redondeada, con laderas empinadas, y vertientes estrechas.
- **Estabilidad de la roca:** El macizo rocoso de la Cantera “MANUEL PERTUZ”, por experiencia, ha mostrado una buena estabilidad en los taludes de corte con ángulos entre 60° y 70°, y alturas de hasta 15 metros. No obstante, los taludes de corte propuestos, se presentan en la mayoría con alturas que no superen los 12 metros.

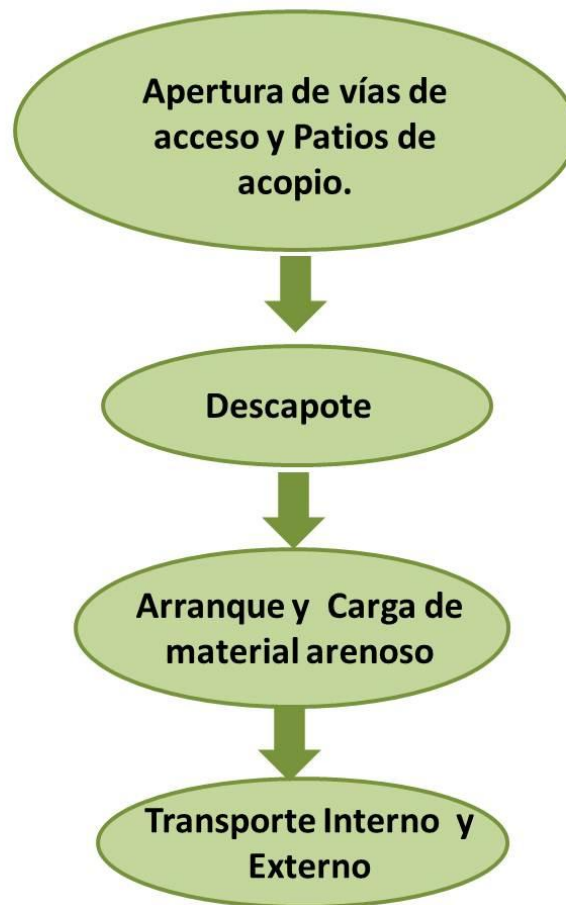
4.9 LABORES DE EXPLOTACIÓN

4.9.1 Etapa I. Extracción de Material en Bruto

En esta etapa del proyecto minero, las operaciones estarán encaminadas a la extracción de arenas y rellenos sin ningún proceso de beneficio posterior. Estas arenas o material arenoso se cargarán y transportarán hasta los sitios de disposición final. (Figura 15)

Figura 46. Extracción de Material en bruto.

ETAPA 1 EXTRACCION DE MATERIAL EN BRUTO



Fuente: Autores.

Figura 47. Maquinaria utilizada en la Cantera “Manuel Pertuz”.

Actividad	Maquinaria
Descapote.	Buldózer D7/D8 Cat.
Perforación de barrenos.	TrackDrill o Compresor Sullair 185 CFM, Martillos roto percutores con varillaje (0.80, 1.20, 2.40, 3.20 metros).
Arranque y recolección de material rocoso.	Excavadoras 320/330 Cat.
Cargue a Volquetas.	Excavadoras 320 Cat/ Cargador frontal 966C
Transporte y entrega del material a plantas de Beneficio.	Volquetas de 6 y 7 m.

Fuente: Cortes, H.

5. ANALISIS PETROGRAFICO

El análisis petrográfico puede ser base para definir la aplicación de los materiales a proyectos específicos y predecir su futuro comportamiento.

El método sugerido para la descripción petrográfica de las rocas se llevó a cabo en el laboratorio microscopía de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

En la descripción de muestras de mano se ve la variación composicional y textural aflorante en la cantera Manuel Pertuz.

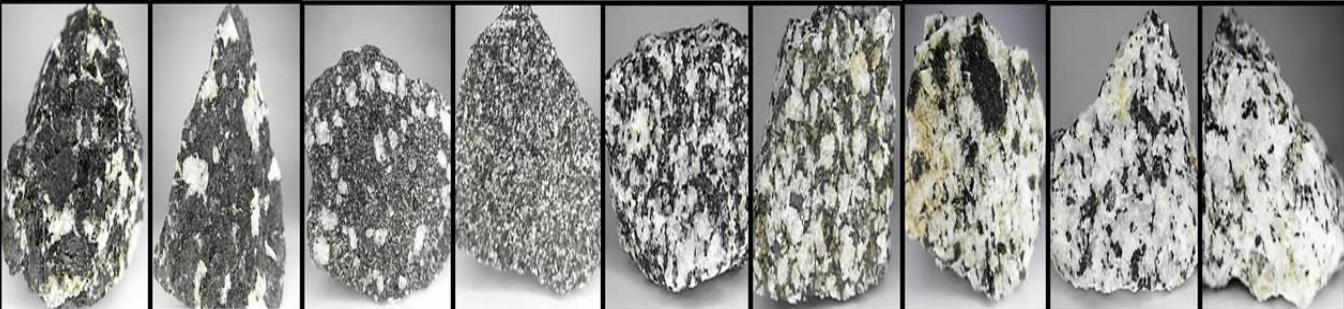
Se resume en la tabla 6 la descripción de las nueve muestras, mencionando su composición mineral, características texturales y determinación de su nombre según la guía de Petrografía Ígnea de Mantilla (2003).

El análisis de sección delgada se realizó siguiendo la guía de mineralogía óptica de Mier (1990), y los atlas mineralógicos de Thompson & Thompson (1996) y Ríos & Castellanos (2005).

5.1 DESCRIPCIÓN EN MUESTRA DE MANO

(Ver tabla 6).

Tabla 6. Análisis macroscópicas de las muestra objeto de estudio.

Muestra	SMA-1	SMA-2	SMA-3	SMA-4	SMA-5	SMA-6	SMA-7	SMA-8	SMA-9
Nombre de la roca	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Granodiorita	Granodiorita	Granodiorita
Composición mineralógica	Hornblenda 55%, Biotita 20%, Plagioclasa 25%,	Hornblenda 60%, Biotita 20%, Plagioclasa 20%,	Hornblenda 55%, Biotita 20%, Plagioclasa 25%,	Hornblenda 40%, Biotita 20%, Plagioclasa 40%,	Hornblenda 30%, Biotita 10%, Plagioclasa 60%,	Hornblenda 20%, Biotita 10%, Plagioclasa 70%,	Hornblenda 10%, Biotita 3%, Plagioclasa 77%, Cuarzo 10%.	Hornblenda 10%, Biotita 3%, Plagioclasa 81%, Cuarzo 6%.	Hornblenda 7%, Biotita 3%, Plagioclasa 84%, Cuarzo 6%.
Textura de la roca	Fanerítica	Fanerítica	Porfírica con intraclastos (fenocristales) de plagioclasa. Matriz: fanerítica	Porfírica Matriz: Fanerítica.	Fanerítica	Fanerítica	Fanerítica	Fanerítica	Fanerítica
Tipo de roca	Máfica.	Máfica.	Máfica.	Intermedia	Intermedia	Intermedia	Felsica	Felsica	Felsica
Foto Muestra en mano									

Fuente: Autores.

5.2 DESCRIPCIÓN EN SECCIÓN DELGADA.

5.2.1 Sección SMA-1

Nombre de la roca: *Granodiorita*.

Composición mineralógica: Hornblenda, Biotita, Plagioclasa, Cuarzo, Ortoclasa, Epidota.

Textura de la roca: Alotriomórfica-inequigranular con distribución granulométrica de tipo unimodal.

Cristalinidad: Holocristalina.

Hornblenda (47%): Presenta cristales subhedrales con dos direcciones de exfoliación, alto grado de fracturamiento con pleocroísmos de tonos verde a marrón y de verde oscuro a verde manzana, también se observa inclusiones de minerales de biotita, plagioclasa, cuarzo, epidota y minerales opacos.

La birrefringencia de los cristales se reconoce el color amarillo a café (0.018), amarillo pálido a verde oscuro (0.025), verde pálido a azul, verde (0.019), violeta pálido a azul (0.024).

Biotita (22%): Cristales de color marrón presentan un relieve muy alto con birrefringencia de 0.041. Su forma tabular tiene pleocroísmo de bronce a marrón presentan una exfoliación en una sola dirección, con relieve alto y extinción de 50°. Se observan inclusiones de cuarzo. El tamaño de los cristales están entre 80 a 15 cm (magnificación 5x) de forma subhedral. Algunos cristales no presentan dirección de exfoliación debido a su oxidación.

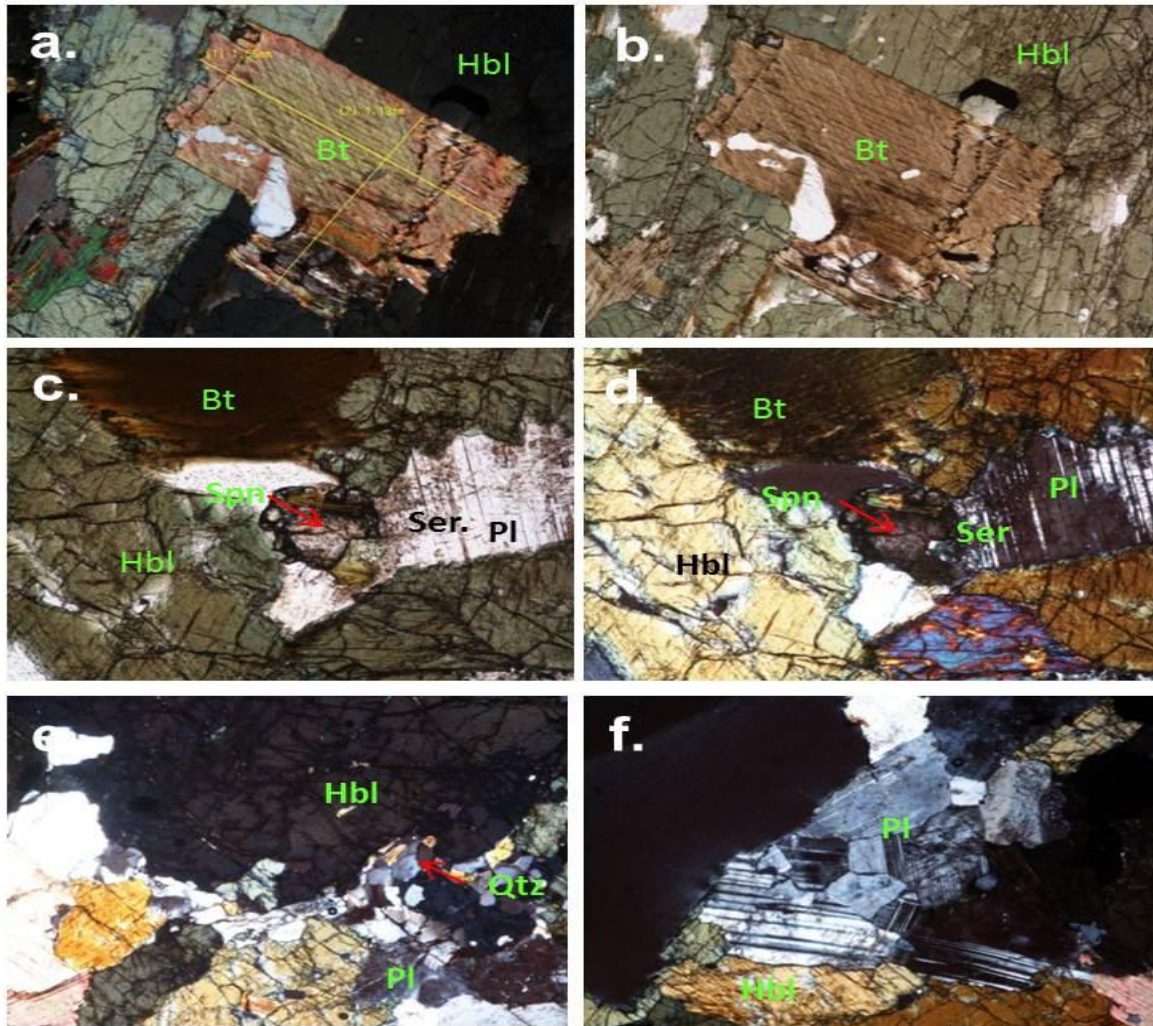
Plagioclasa (17%): Presenta cristales euhedrales a subhedrales, con alteración a sericita, la alteración se presenta en los bordes y en algunos casos en todo el cristal. Se reconoce en todos los cristales maclas tipo albita o maclas polisintéticas (con extinción de 11°) andesita (38°) y oligoclasa (20°).

Cuarzo (10%): Presenta cristales muy pequeños de forma euhedral, se encuentran delimitados con la plagioclasa con un bajo relieve.

Ortoclasa (2%): Presenta un relieve bajo con forma anhedral, se observa una leve alteración a caolinita y también se observa una variación de maclas tipo oligoclasa (con extinción de 25°), con inclusiones de hornblenda.

Epidota (2%): Cristales con relieve alto se encuentra incluyendo a la biotita y Hornblenda, en contacto neto con la plagioclasa.

Figura 48. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (d), (e) y (f): (a) Biotita oxidándose con inclusiones de ortoclasa (Aumento 5x). (d) en el centro de la fotografía encontramos Esfena presentando pequeño rellenos de Biotita oxidada (Aumento 10x). (e) microcuarzos euhedrales rodeados de hornblenda (Aumento 5x). (f) Plagioclasas tipo Albita algunos cristales con fracturas (Aumento 5x). Microfotografías tomadas en PPL (b), (c).



Fuente: Autores.

5.2.2 Sección SMA-2

Nombre de la roca: *Cuarzosienita*.

Composición mineralógica: Hornblenda, Ortoclasa, Biotita, Plagioclasa, Cuarzo, Epidota, Opacos.

Textura de la roca: Panidiomórfica. Con distribución granulométrica unimodal.

Cristalinidad: Holocristalina.0.

Hornblenda (65%): Cristales anhedrales de color verde y relieve alto, con presencia de pleocroísmo de verde manzana a gris claro, presenta los dos direcciones de exfoliación con inclusiones de plagioclasa, cuarzo y epidota. Se observa un clivaje bien desarrollado con birrefringencia de color amarillo a café (0.016), amarillo pálido a verde oscuro (0.025), verde pálido a azul, verde (0.019), violeta pálido a azul (0.024) y ángulo de extinción de 52°.

Ortoclasa (17%): Cristales subhedrales con un relieve muy bajo presentan una leve alteración en sus bordes a caolinita. Se observa una variación de maclas tipo albita (con extinción de 10°) con intrusiones de epidota, cuarzo, biotita, hornblenda y plagioclasa. También se observa sausrutización en casi todos los cristales de la muestra llegando a presentar pequeños minerales de epidota.

Biotita (10%): Cristales euhedrales con habito laminar de color marrón y pleocroísmo de amarillo claro a marrón oscuro con alteración a clorita y algunos cristales presentan oxidación sin pleocroísmo, presenta un relieve alto, y presentan una extinción de 58°.

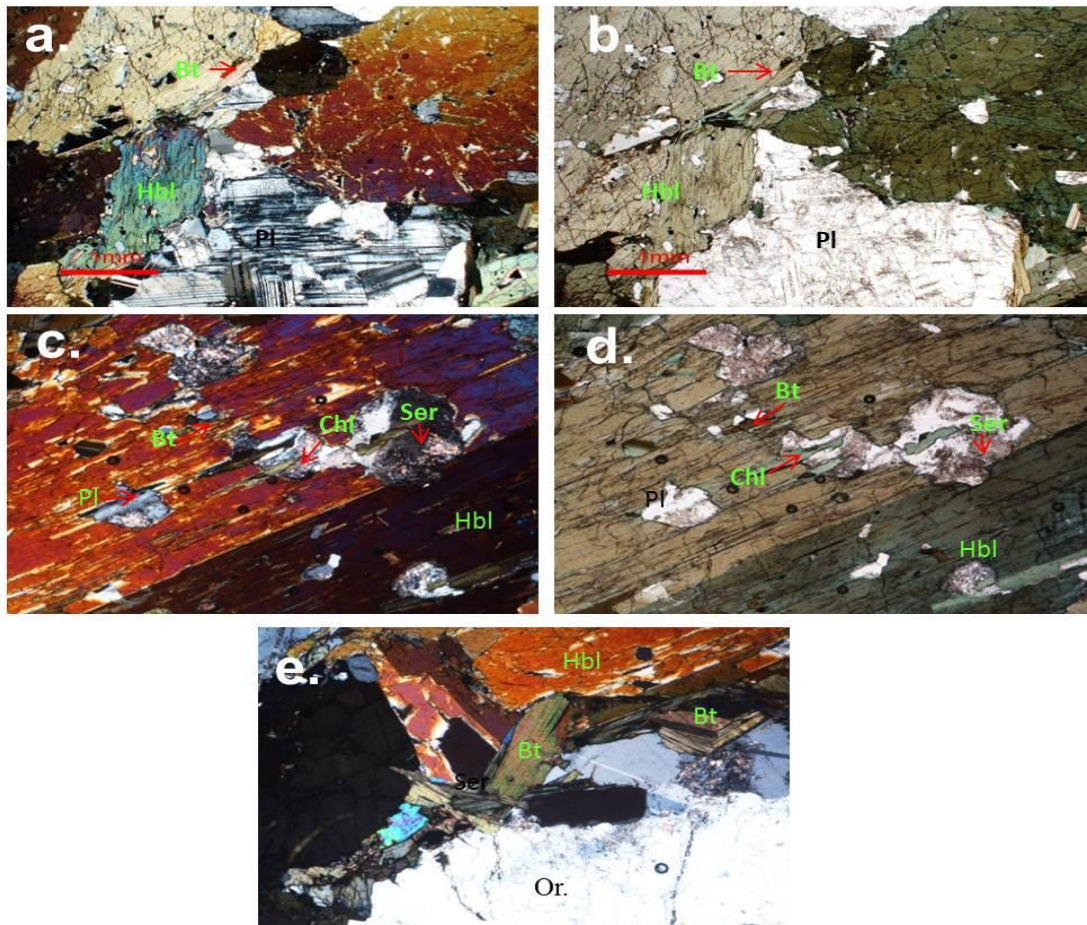
Plagioclasa (3%): Cristales anhedrales y subhedrales relieve bajo a medio con alteración a sericita; la alteración se desarrolla en los bordes de los cristales de las plagioclasas. Se reconocen varios tipos de maclas: baveno, polisintéticas o albita (con extinción de 10°), oligoclasa (26 °). Los cristales se encuentran intruyendo a la hornblenda.

Cuarzo (2%): Cristales subhedrales con un relieve bajo se encuentran intruyendo a la plagioclasa, la hornblenda y la biotita. Presenta una birrefringencia característica del cuarzo con una extinción de 10° .

Epidota (2%): Cristales con un alto relieve incoloro, se forma debido a la alteración de la sausrización.

Minerales Opacos (1%): Cristales euhedrales se encuentran con mayor frecuencia intruyendo a la hornblenda, biotita y plagioclasa.

Figura 49. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (c), y (e): (a) Plagioclasas tipo albita- Ca superpuestas. Hornblenda variedad de birrefringencia. (c) Plagioclasa alterando a sericita intruyendo a la hornblenda así mismo la biotita cloritizada. (e) Biotita alterando a clorita, en otros cristales oxidándose, Mientras la ortoclasa presenta alteración. Microfotografías tomadas en PPL; (b) y (d). (Aumento 5x).



Fuente: Autores.

5.2.3 Sección SMA-3

Nombre de la roca: Sienita.

Composición mineralógica: Hornblenda, Plagioclasa, Biotita, Ortoclasa, Cuarzo, Microclina, Circón.

Textura de la roca: Distribución granulométrica unimodal.

Matriz: Equigranular-Panidiomórfica.

Cristalinidad: holocristalina

Hornblenda (61%): Cristales subhedrales a anhedrales de color verde con un relieve alto y pleocroísmo de verde a verde oliva, presenta buena exfoliación y birrefringencia de color amarillo a café (0.018), amarillo pálido a verde oscuro (0.025), verde pálido a azul, verde (0.019), violeta pálido a azul (0.024). Se observa una extinción de 32°- 36° con inclusiones de biotita, plagioclasa y minerales opacos.

Plagioclasa (18%): Cristales subhedrales con relieve bajo, algunos cristales se encuentran alterados parcialmente a sericita y otros totalmente alterados con birrefringencia típica, las maclas presentes son de tipos baveno, polisintética o albita (con extinción 10°), oligoclasa (18°- 24°), andesina (36°), a estas maclas se observan con zonación homogénea discontinua .

También tiene inclusiones de biotita, hornblenda. Algunos cristales como fenocristales con extinción sonada oscilatoria, se encuentran fracturada.

Biotita (10%): Cristales anhedrales con relieve alto y hábito tabular, tiene un color café claro, algunos cristales se encuentran oxidados a lo que da un color café oscuro y su forma es anedral, lo incluye la plagioclasa, hornblenda, cuarzo. 2v: 31 a 42.

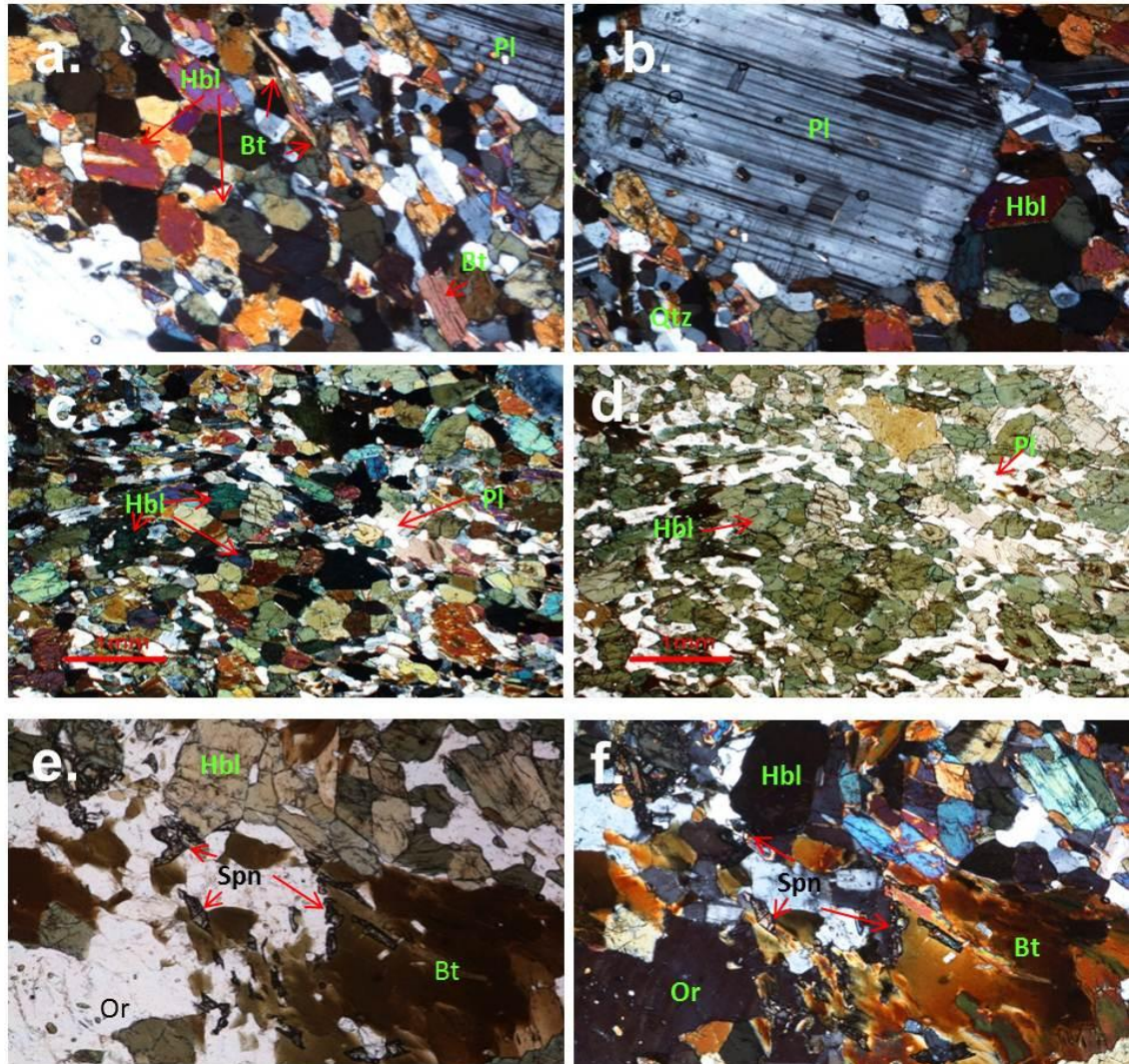
Ortoclasa (5%): Cristales anhedrales con relieve bajo presenta extinción en forma de zonación homogénea continua también maclas de tipo andesita (con extinción 35°- 42°). Presenta una leve alteración a caolinita con inclusiones de biotita, epidota, plagioclasa, cuarzo.

Cuarzo (2%): Cristales equigranulares con un relieve bajo euhedrales a subhedrales, con extinción plana. Se encuentran en menor tamaño que la plagioclasa. También se observa que intruyen a la biotita, plagioclasa, hornblenda. Algunos cristales presentan una birrefringencia amarilla a grises, de color incoloro.

Microclina (2%): Cristales anhedrales con relieve muy bajo, presentan maclas de tipo tartán también se observa inclusiones de biotita.

Circón (2%): Presentan alto relieve, con color vidrioso, tiene una forma hexagonal, el cristal intruye a la biotita, su birrefringencia es típica del mineral.

Figura 50. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (b), (c), (f): (a) Hornblenda euhedral con cristales inequigranulares. (b) Plagioclasa tipo albita. (c) Textura alotriomórfica. (f) Biotita oxidada con cristales alargados de esfena. Microfotografías tomadas en PPL; (d)-(e). (Aumento 5x).



Fuente: Autores.

5.2.4 Sección SMA-4

Nombre de la roca: *Granodiorita*

Composición mineralógica: Hornblenda, Plagioclasa, Cuarzo, Biotita, Ortoclasa, Circón, Epidota.

Textura de la roca: Porfírica.

Matriz: Equigranular-Panidiomórfica, con distribución granulométrica equigranular.

Cristalinidad: Holocristalina.

Hornblenda (39%): Cristales subhedrales con un relieve alto presenta fracturamiento con pleocroísmo de verde a amarillo claro, también se observa una birrefringencia de color amarillo a café (0.018), amarillo pálido a verde oscuro (0.025), verde pálido a azul, verde (0.019), violeta pálido a azul (0.024). Los cristales que intruyen a la hornblenda son plagioclasa, cuarzo, biotita. 2v: 24- 17

Plagioclasa (29%): Cristales anhedrales con relieve bajo, presentan en algunos cristales con alteración a sericita tanto en el núcleo como en los bordes del cristal. Se observan varios tipos de maclas tipo baveno, albita (con extinción de 9°), oligoclasa (15), andesina (37-39) y algunas maclas presentan zonación homogénea continua y discontinua. También presentan inclusiones de minerales opacos, hornblenda, cuarzo, epidota.

Cuarzo (14%): Cristales anhedrales inequigranulares con relieve bajo y extinción plana y algunos ondulatoria. Incluyen a la plagioclasa, hornblenda, ortoclasa.

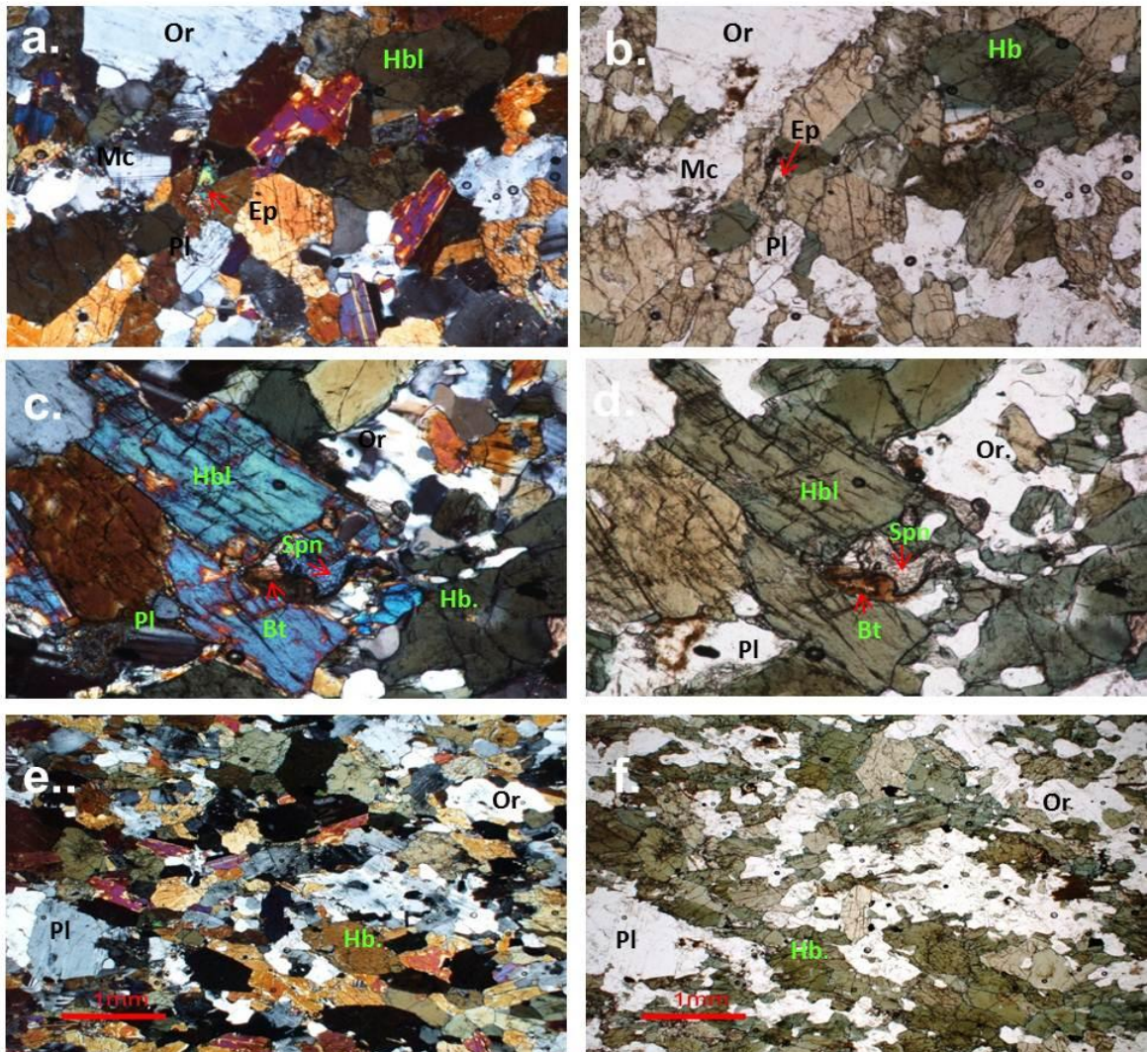
Biotita (10%): En la placa está casi ausente, son de forma tabular, de color marrón con pleocroísmo de marrón a incoloro con oxidación en algunos cristales, esta intruye a la ortoclasa, plagioclasa.

Ortoclasa (4%): Cristales anhedrales a subhedrales con un relieve muy bajo presentan una leve alteración a caolinita con presencia de maclas combinadas tipo albita con zonación homogénea continua, también presenta inclusiones de hornblenda, biotita, plagioclasa.

Circón (2%): Cristales anhedrales con relieve muy alto sus bordes son de color marrón oscuro con textura vidriosa, con birrefringencia alta, intruye a la hornblenda, plagioclasa.

Epidota (2%): Cristal subhedral con relieve medio. Birrefringencia alta, intruye a la ortoclasa y plagioclasa.

Figura 51. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (c), (e): (a) Microclina con macla tipo tartán, hornblenda fracturada (Aumento 5x). (c) Hornblenda con birrefringencia azulosa verdosa, la ortoclasa con extinción ondulante (Aumento 10x). (e) Textura panidiomórfica. Microfotografías tomadas en PPL; (b), (d), (f).



Fuente: Autores.

5.2.5 Sección SMA-5

Nombre de la roca: *Cuarzomonzodiorita*.

Composición mineralógica: Hornblenda, Plagioclasa, Biotita, Ortoclasa, Cuarzo, Esfena, Circón, Epidota, Microclina.

Textura de la roca: Hipidiomórfica- Inequigranular, con distribución unimodal.

Cristalinidad: Holocristalina.

Hornblenda (29%): Cristales anhedrales a subhedrales con relieve alto presenta pleocroísmo de verde manzana a amarillo claro muy de fracturado. La birrefringencia es de color amarillo a café (0.018), amarillo pálido a verde oscuro (0.025), verde pálido a azul, verde (0.019), violeta pálido a azul (0.024) con inclusiones de plagioclasa, biotita, cuarzo. Presenta algunos cristales macla de tipo oligoclasa (con extinción de 12°).

Plagioclasa (25%): Cristales anhedrales a subhedrales con un relieve bajo presenta en algunos cristales alteración a sericita en su mayoría la alteración se encuentra en sus bordes y otras en su núcleo.

Presenta vario tipos de maclas tipo oligoclasa (con extinción de 13°) y albita o polisintética (6°) algunas con zonación homogénea continua y otros cristales maclas combinadas con zonación homogénea discontinua, algunas maclas se encuentran cruzadas diagonalmente.

Se observan inclusiones de hornblenda, cuarzo, biotita, epidota, minerales opacos, esfena, Circón.

Biotita (17%): Cristales euhedrales a anhedrales, algunos con habito laminar y otros presentan formas irregulares, su pleocroísmo va de marrón oscuro a incoloro, debido a su oxidación algunos no presenta pleocroísmo si no una

coloración marrón. con inclusión de plagioclasa, minerales opacos, cuarzo, hornblenda.

Ortoclasa (11%): Cristales anhedrales con relieve bajo incoloro presenta alteración a caolinita con maclas de tipo andesina y zonación homogénea continua, algunos cristales se observa combinación entre la maclas con zonación homogénea continua. También se observa la presencia de inclusiones de biotita, plagioclasa, hornblenda.

Cuarzo (6%): Cristales subhedrales con un relieve bajo presenta en algunos de sus cristales zonación homogénea discontinuo.

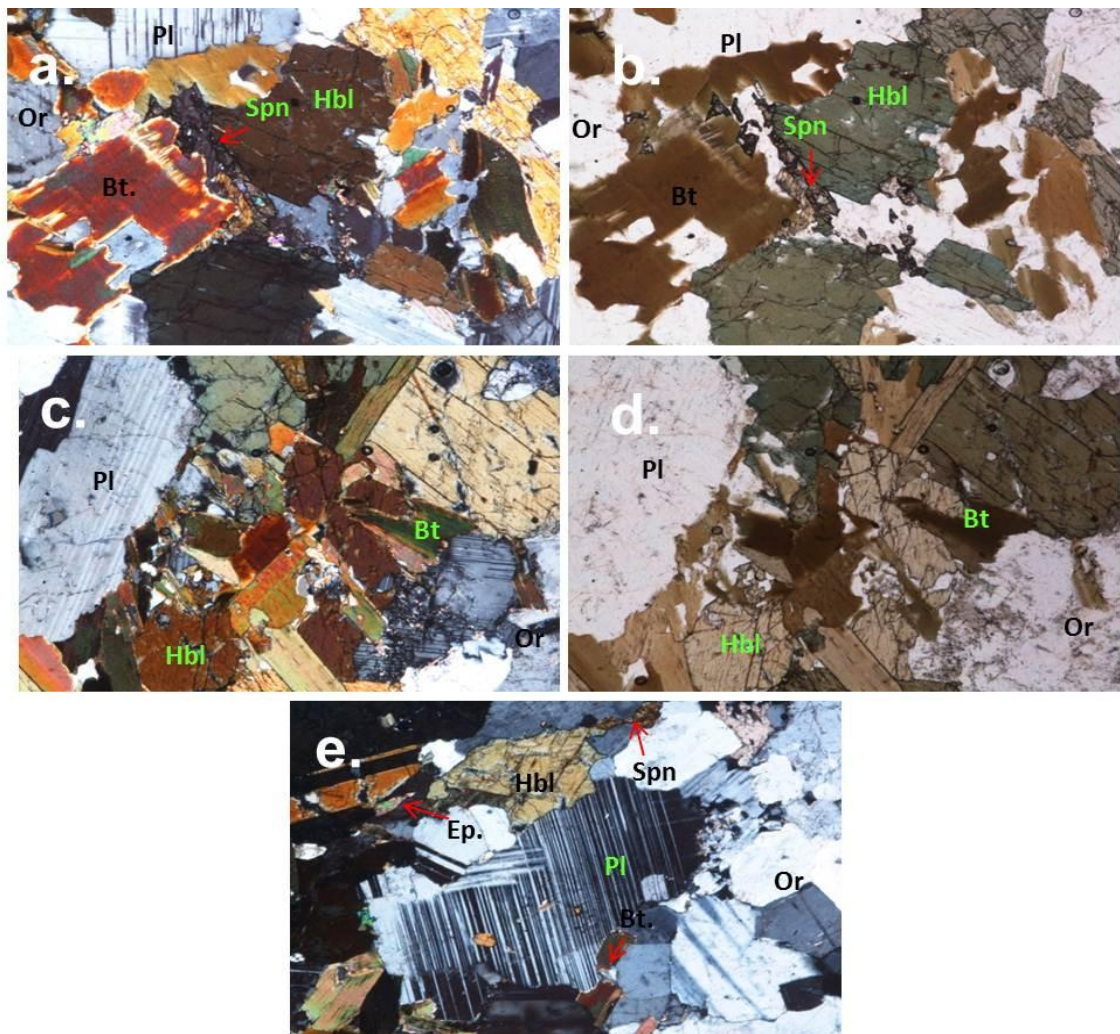
Esfena (4%): Cristales euhedrales a subhedrales con relieve muy alto incoloro presentan algunos cristales formas rómbicas y en su mayoría cristales irregulares. La esfena se encuentra parcialmente rodeando al cuarzo y paralelo a la dirección de la biotita.

Circón (3%): Cristales anhedrales con relieve alto incoloros y birrefringencia alta.

Epidota (2%): Cristales anhedrales con relieve alto incoloro y birrefringencia alta.

Microclina (2%): Cristales anhedrales con relieve bajo, presenta maclas tipo tartán, en sus cristales presenta fracturamiento, tiene inclusiones de hornblenda, Exfoliación que se cortan a 90°.

Figura 52. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (c), (e): (a) Biotita oxidada en contacto irregular con la esfena mientras la plagioclasa la entrelaza. (c) Biotita en diferentes direcciones entre cruzadas, plagioclasa tipo polisintética mientras otros cristales se encuentra alterando a sericita. (e) Plagioclasa con dos maclas en un mismo cristal, tipo albita. Microfotografías tomadas en PPL; (b)-(d). (Aumento 5x).



Fuente: Autores.

5.2.6 Sección SMA-6

Nombre de la roca: *Cuarzomonzodiorita*.

Composición mineralógica: Plagioclasa, Hornblenda, Ortoclasa, Cuarzo, Biotita, Esfena, Clinozoisita, Circón, Microclina.

Textura de la roca: Inequigranular- alotriomórfica, con distribución granulométrica bimodal.

Cristalinidad: Holocristalina.

Plagioclasa (30%): Cristales anhedrales a subhedrales con relieve bajo en algunos cristales parcialmente presenta alteración a sericita con fracturas. Se observan inclusiones de biotita, hornblenda, circón, epidota, cuarzo (zonación), Clinozoisita.

Presenta zonación homogénea continua pero esta zonación va desde los bordes hacia el centro del cristal. Las maclas presente son de tipo oligoclasa (20° - 14°), andesina (37° - 35° - 34°), polisintética – albita Ca, algunos cristales presenta dos tipos de maclas cruzadas con un ángulo de 120° y maclas combinadas con zonación homogénea discontinua.

Hornblenda (22%): Cristales anhedrales a subhedrales con relieve alto presenta pleocroísmo de verde manzana a amarillo claro, en sus cristales se observan fracturamiento, también presenta sus dos direcciones de exfoliación. La birrefringencia de los cristales se reconoce el color amarillo a café (0.018), amarillo pálido a verde oscuro (0.025), verde pálido a azul, verde (0.019), violeta pálido a azul (0.024).

Ortoclasa (13%): Cristales anhedrales con relieve bajo, se observa como intraclasto presenta zonación homogénea continua con inclusiones de plagioclasa, zircón, biotita, también presentan una leve alteración a caolinita.

Cuarzo (10%): Cristales anhedrales con un relieve bajo presenta zonación en algunos cristales esta zonaciones son homogénea discontinua y continua.

Intruye a la plagioclasa, biotita, microclina, clorita. También tiene inclusiones de biotita, hornblenda.

Biotita (10%): cristales anhedrales, algunas presenta habito laminar y otros amorfos, relieve alto con pleocroísmo. Se observa alteración a clorita (biotita cloritizada) esta alteración va de adentro hacia afuera también se observa cristales oxidados con inclusiones de plagioclasa, cuarzo, circón.

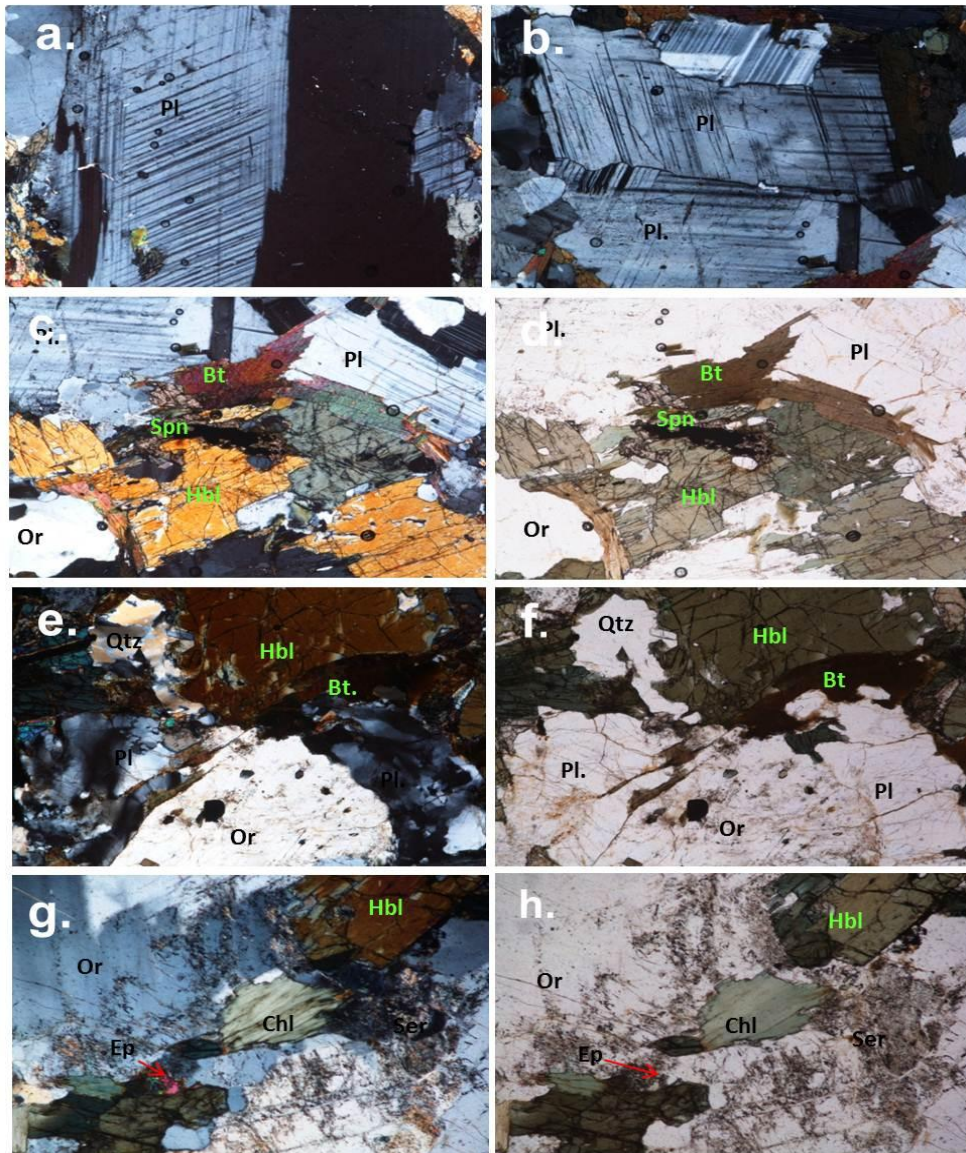
Esfena (7%): Cristales subhedrales de forma amorfa presenta un relieve muy alto, incoloro, se encuentra en contacto neto con la biotita, su birrefringencia es baja.

Clinzoicita (5%): Cristales anhedrales donde una forma esquelética presenta un relieve muy alto, incoloro, intruye a la plagioclasa con inclusiones de cuarzo, su birrefringencia es de colores de interferencia anómalas azul y verde amarillento, los cuales son característicos del mineral.

Circón (2%): Cristales anhedrales a subhedrales con relieve alto intruyen a la plagioclasa, biotita.

Microclina (1%): Cristales subhedrales con relieve bajo presenta maclas tartán con inclusiones de biotita.

Figura 53. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (b), (c), (e), (g): (a) Plagioclasa tipo polisintética con maclas entre cruzadas (Aumento 5x). (b) Plagioclasas superpuestas (Aumento 5x). (c) Cristal esfena rodea mineral opaco, hornblenda con birrefringencia amarilla (Aumento 5x). (e) Ortoclasa alterada mientras las plagioclasa con extinción ondulosa (Aumento 10x). (g) Biotita cloritizada rodeada de ortoclasa altamente alterada. Microfotografías tomadas en PPL; (d), (f), (h).



Fuente: Autores.

5.2.7 Sección SMA-7

Nombre de la roca: *Monzodiorita*.

Composición mineralógica: Plagioclasa, Biotita, Hornblenda, Ortoclasa, Esfena, Cuarzo, Clinozoicita, Circón, Microclina.

Textura de la roca: Alotriomórfica-inequigranular. Con distribución granulométrica seriada.

Cristalinidad: Holocristalina

Plagioclasa (45%): Cristales anhedrales con un relieve bajo en algunos cristales presenta alteración a sericita también en algunos se observa una textura mirmequitica y otros presentan zonación homogénea continua y discontinua con maclas tipo albita (con extinción 8°), andesina (39°- 43°), oligoclasa (27°-23°), con inclusiones de biotita, cuarzo.

Biotita (16%): Cristales subhedrales con relieve alto, presenta un habito tabular con exfoliación de 90, se observa pleocroísmo de marrón a amarillo quemado.

Algunos cristales tiene una forma amorfa y su color es un café oscuro con un pleocroísmo muy leve esto es debido a su oxidación. Presenta inclusión de Clinozoicita, cuarzo, plagioclasa, esfena y zircón.

Hornblenda (10%): Cristales anhedrales a subhedrales con relieve alto, presenta un pleocroísmo de verde oscuro a verde claro, se observa un alto fracturamiento también con dos direcciones de exfoliación. La birrefringencia de los cristales se reconoce el color amarillo a café (0.018), amarillo pálido a verde oscuro (0.025),

verde pálido a azul, verde (0.019) con inclusiones de ortoclasa, biotita, cuarzo, plagioclasa, esfena, clinozoicita, Epidota.

Ortoclasa (11%): Cristales anhedrales a subhedrales con relieve bajo leve alteración a caolinita, se observa una textura mirmequitica con inclusiones de Clinozoicita, epidota, biotita, hornblenda, plagioclasa.

Esfena (7%): Cristales subhedrales con relieve muy alto apariencia con punto negro, con birrefringencia de color café oscuro. Esta intruye al cuarzo.

Cuarzo (5%): Cristales anhedrales con un relieve bajo algunos presenta zonación ondulosa homogénea continua y discontinua. Se observan los cristales como agregados granulares, estos intruye a plagioclasa, ortoclasa, hornblenda, biotita, Clinozoicita, epidota.

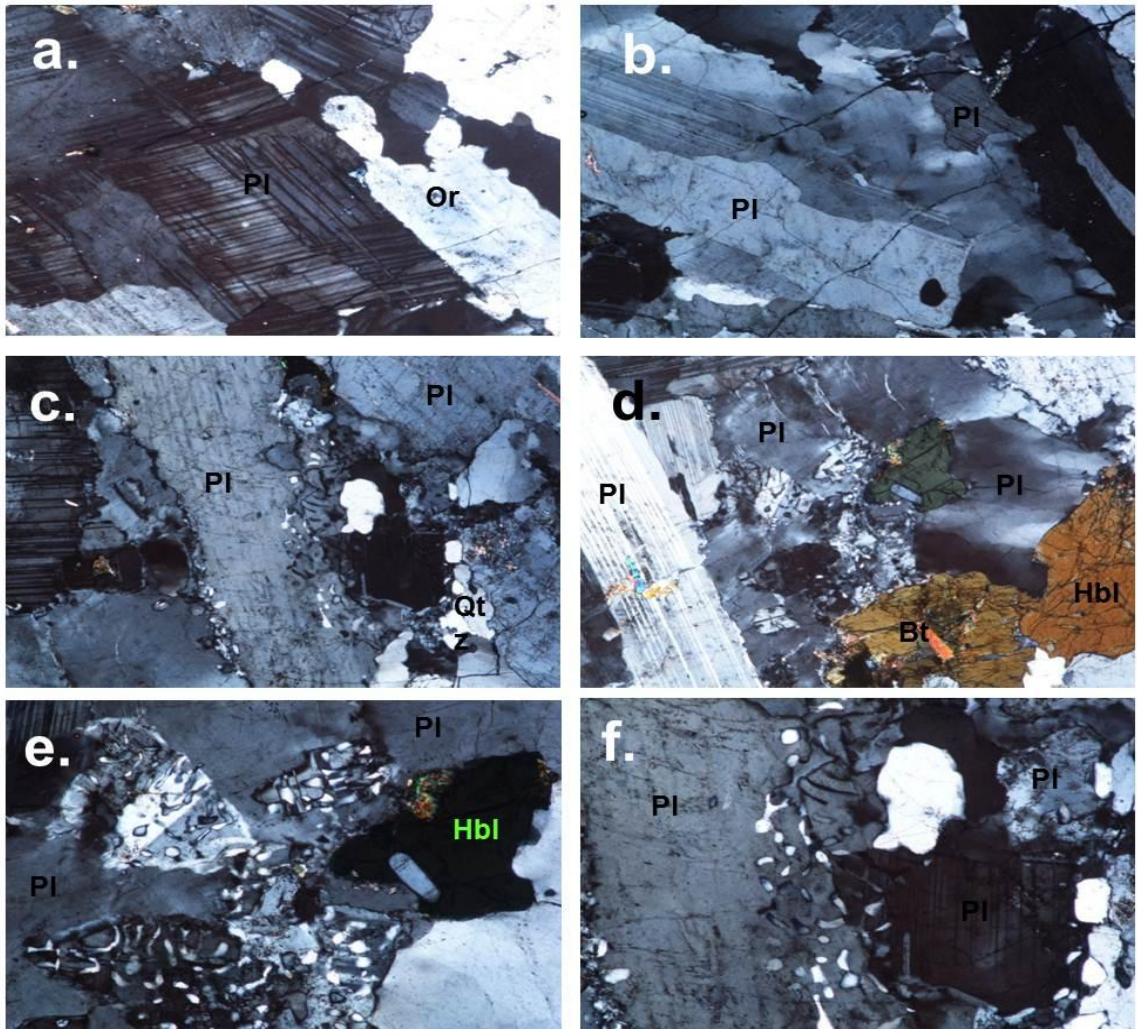
Clinozoicita (2%): Cristales anhedrales con relieve alto presenta fracturamiento, se observan cristales alargados, la birrefringencia es típica del mineral.

Circón (2%): Cristal pequeño euhedral con relieve alto y birrefringencia alta.

Microclina (2%): Cristales subhedrales relieve bajo maclas de tartán.

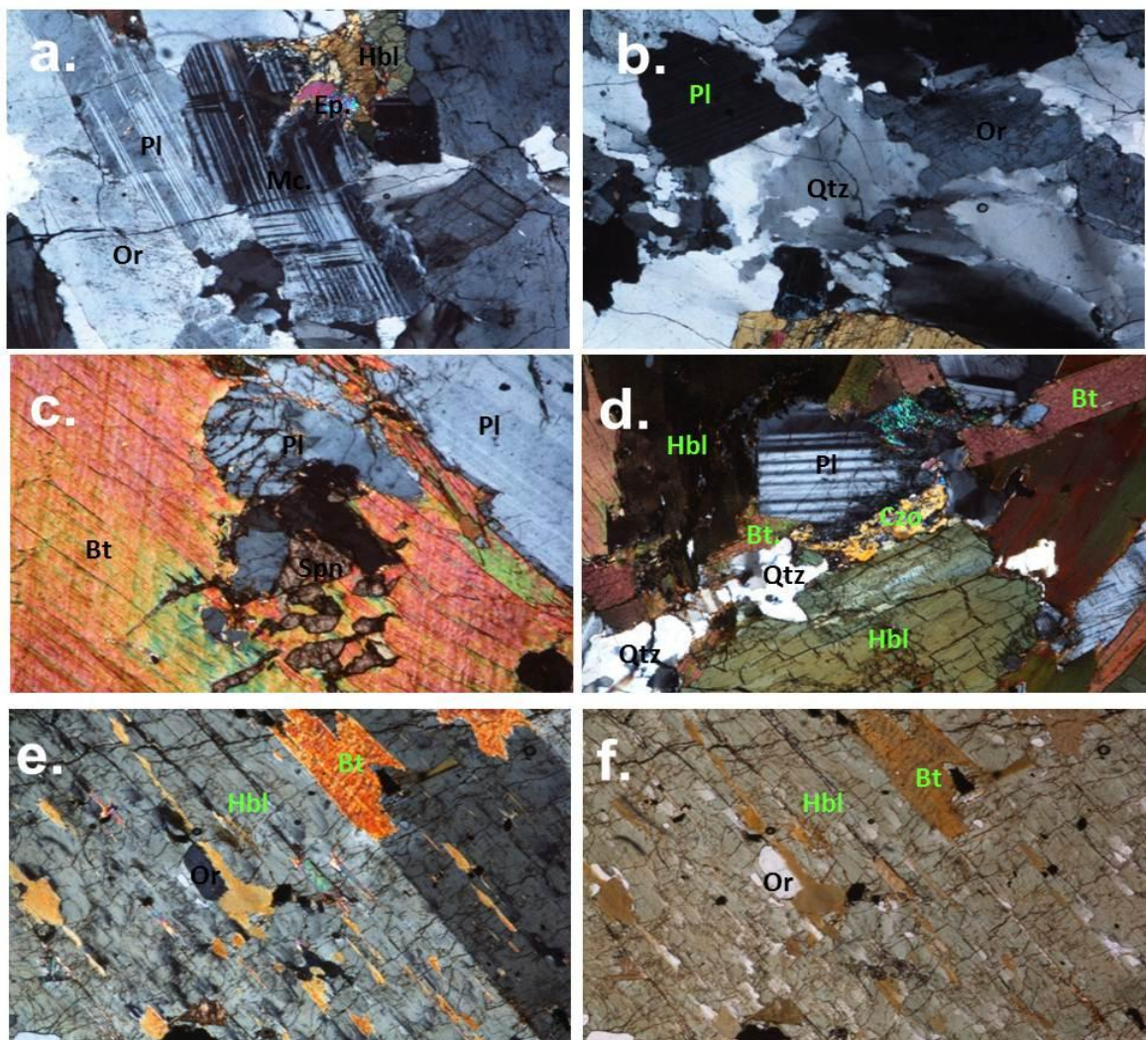
Figura 54. Microfotografías tomadas en XLP; (a) (b) (c) (d) (Aumento 5x). (e)-(f) (Aumento 10x): (a) Plagioclasa con macla tipo Tartán aparentemente. (b) Plagioclasa con maclas tipo Carlsbad con presencia de zonación ondulosa.

Textura mirmequitica en la plagioclasa: (c)-(f) Levemente alterada con textura mirmequitica en los bordes del cristal. (c). (d) Todo el cristal, otros cristales con zonación continua homogénea. (e) en diferentes cristales presentes con la textura.



Fuente: Autores.

Figura 55. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (b), (c), (d), (e): (a) Microclina con macla tipo Tartán (Aumento 5x). (b) Cuarzos alargados irregulares mostrando extinción (Aumento 5x). (c) Biotita intruída por una plagioclasa deformada mientras se va entrelazando con la esfena (Aumento 10x). (d) Clinozoicita rodeada por minerales de hornblenda, cuarzo con zonación y plagioclasa tipo albita (Aumento 5x). (e) Hornblenda con intrusiones en una dirección de biotita oxidada y cristales de ortoclasa (Aumento 5x). Microfotografías tomadas en PPL; (f)



Fuente: Autores.

5.2.8 Sección SMA-8

Nombre de la roca: *Monzodiorita*.

Composición mineralógica: Plagioclasa, Ortoclasa, Hornblenda, Biotita, Esfena, Cuarzo, Epidota, Circón, Clinozoicita.

Textura de la roca: panidiomórfica-inequigranular, con distribución granulométrica Unimodal.

Cristalinidad: Holocristalina.

Plagioclasa (40%): Cristales anhedrales a subhedrales con relieve bajo, algunos cristales presentan algunas alteraciones a sericita tanto localmente en el cristal como en su totalidad. Las maclas son de tipo polisintéticas Na, Ca, acuñada, otras con dos maclas y también se observan maclas con zonación homogénea continua. Los cristales están fracturas con inclusiones de hornblenda, biotita, epidota, cuarzo, cuarzo, Clinozoicita.

Ortoclasa (20%): Cristales anhedrales, con relieve bajo, sus cristales presentan un alto fracturamiento con zonación homogénea continua también se observan maclas tipo Na-Ca y Ca. lo intruye el circón,

Hornblenda (14%): Cristales anhedrales con relieve alto, presenta pleocroísmo de verde manzana a amarillo claro, se observa fracturamiento con 2 planos de exfoliación con inclusiones de biotita, Circón. La birrefringencia de los cristales se reconoce el color amarillo a café (0.018), amarillo pálido a verde oscuro (0.025), verde pálido a azul, verde (0.019), violeta pálido a azul (0.024).

Biotita (10%): Cristales euhedrales a subhedrales con relieve alto presenta pleocroísmo de marrón a amarillo claro con algunos cristales oxidados de color marrón oscuro a verde claro con un pleocroísmo muy bajo. También presenta alteración a la clorita del borde al centro del cristal, con foliación a 90. Con inclusiones de esfena, cuarzo.

Esfena (5%): Cristales euhedrales con un alto relieve, este mineral intruye y está en contacto con la hornblenda, clorita.

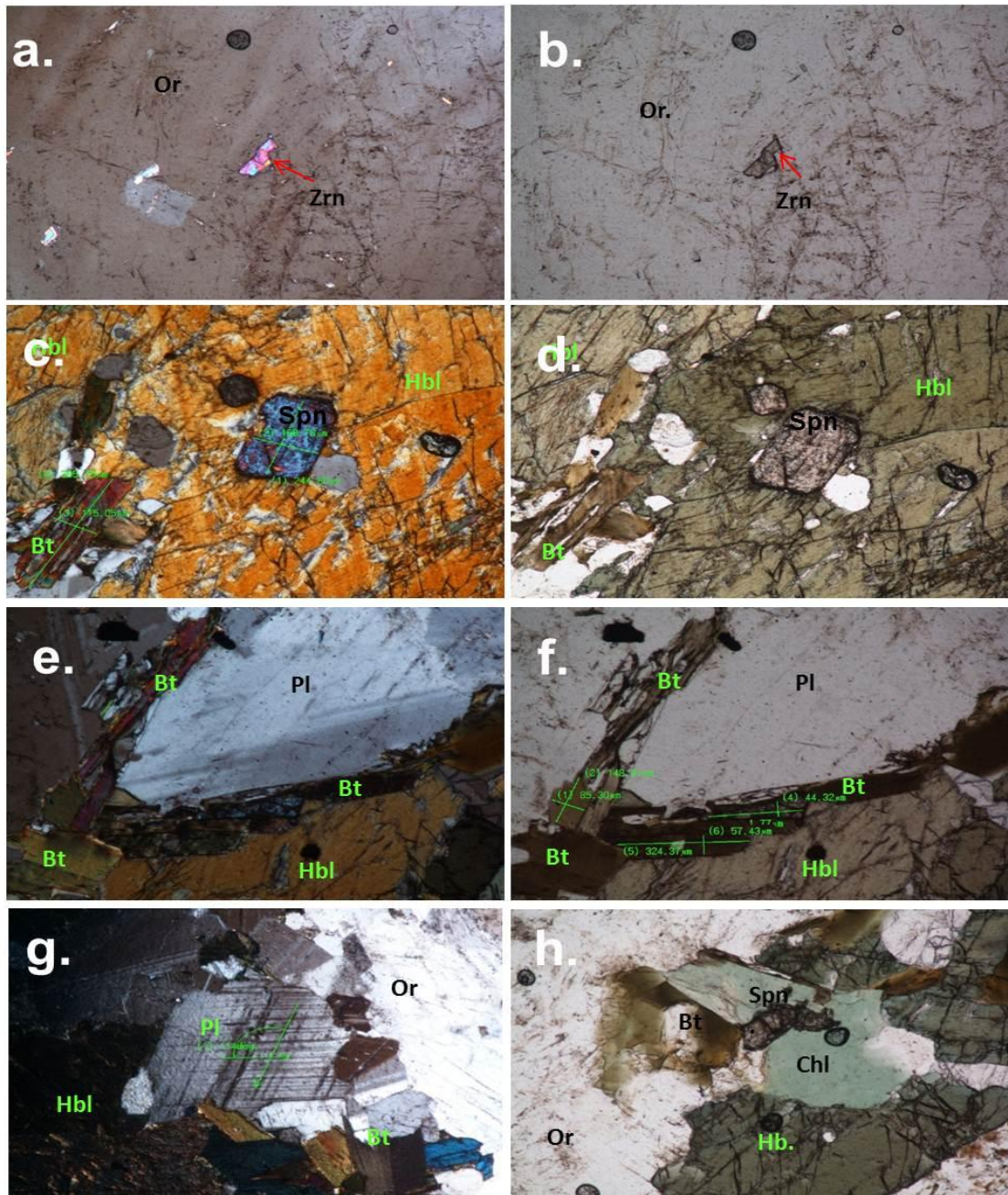
Cuarzo (4%): Cristales anhedrales con relieve bajo, algunos cristales se presentan como agregados granulares con zonación continua.

Epidota (2%): Cristales euhedrales con relieve alto, birrefringencia alta, se encuentra en contacto con la plagioclasa y ortoclasa.

Circón (2%): Cristales anhedrales con relieve alto y birrefringencia característica de este mineral, intruye a la ortoclasa.

Clinzoicita (1%): Cristales anhedrales con relieve alto, birrefringencia típica del mineral, aunque su color es más azulado y alrededor del mineral da una coloración amarillenta.

Figura 56. Microfotografías tomadas en XLP; (a), (c), (e), (g): (a) zircón aislado. (c) Esfena euهدral. (e) Plagioclasa rodeada por cristales alargados de biotita. (g) Plagioclasa con maclas entrelazadas con un ángulo mayor a 90°. Microfotografías tomadas en PPL; (b), (d), (f), (h): (h) Biotita cloritizada con inclusiones de cristales de esfena bien formados. (Aumento 10x).



Fuente: Autores.

5.2.9 Sección SMA-9

Nombre de la roca: *Monzonita*.

Composición mineralógica: Plagioclasa, Ortoclasa, Hornblenda, Biotita, Esfena, Cuarzo, Clinozoicita, Circón.

Textura de la roca: Inequigranular - Alotriomórfica con distribución unimodal.

Cristalinidad: Holocristalina.

Plagioclasa (39%): Cristales Subhedrales, con relieve bajo, presentan un alto fracturamiento con alteración a sericita en los bordes del cristal, también se observa maclas de tipo albita o polisintética (con extinción de 10) como plagioclasa Na, Na-Ca, Ca. Estos cristales tienen zonación homogénea continua combinada con maclas. En algunos cristales las maclas son ondulosas y pierden continuidad. Las intruye pequeños minerales de hornblenda.

Ortoclasa (33%): Cristales subhedrales con relieve bajo, se observa caolinización con zonación homogénea discontinua, también se presentan maclas tipo albita con extinción de 10° con alto grado de fracturamiento. La intruye la hornblenda y la clorita.

Hornblenda (11%): Cristales subhedrales a anhedrales, con relieve alto, presenta pleocroísmo de verde claro a verde oscuro, alto grado de fracturamiento todos los cristales presentes en la placa. Se observa que los cristales son intruídos por la biotita cloritizada fracturándola totalmente. La birrefringencia de los cristales se reconoce el color amarillo a café (0.018), amarillo pálido a verde oscuro (0.025), verde pálido a azul, verde (0.019), violeta pálido a azul (0.024).

Biotita (9%): Cristales subhedrales a anhedrales, con relieve alto, se observa un pleocroísmo de marrón oscuro a marrón claro, en otros cristales el pleocroísmo no se observa ya que estos tienen alto contenido de hierro por lo tanto tienen una coloración marrón oscura. Presenta alteración a clorita.

Esfena (3%): Cristales subhedrales con relieve alto, el cristal se encuentra rodeando a un mineral opaco.

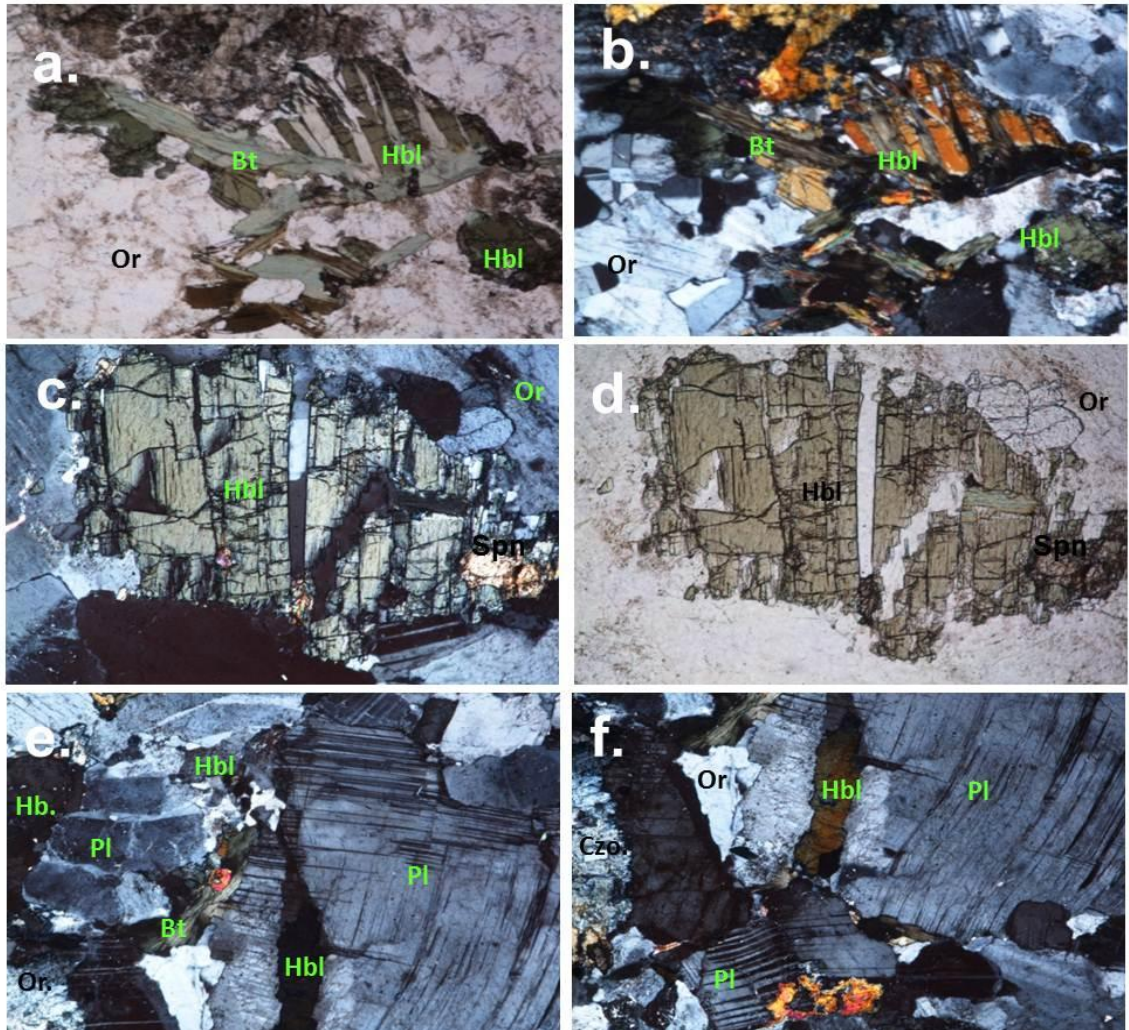
Cuarzo (2%): Pequeños cristales subhedrales con relieve bajo, con birrefringencia típica del cristal, en la placa se encuentra muy poco distribuido.

Clinozoicita (2%): Cristales subhedrales con relieve alto, de color marrón claro, presenta una birrefringencia de color amarillento, verdes y azules muy típicos del mineral. Se encuentra rodeando a la biotita.

Circón (1%): Cristal anedral con relieve alto, birrefringencia muy alta. Se encuentra en contacto con la esfena y la Clinozoicita.

Figura 57. Microfotografías tomadas en XLP; (b), (c), (e), (f): (b) Biotita cloritizada altamente fracturada (Aumento 5x). (c) Hornblenda fracturada (Aumento 10x). (e)-(f) Plagioclasa deformadas (Aumento 5x).

Microfotografías tomadas en PPL; (a), (d).



Fuente: Autores.

5.3 DETERMINACIÓN DE ÓXIDOS Y MICROFRACTURAS EN SECCIÓN DELGADA.

Prueba cualitativa en sección delgada, realizada en el laboratorio de Petrografía del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

Se presenta a continuación las observaciones generales:

Los óxidos presentes en las muestras corresponden con óxidos de hierro como magnetita y hematita.

La magnetita ocurre como mineral opaco en el microscopio de luz transmitida, sin embargo es caracterizada visualmente por presentar ante la incidencia de luz reflejada, un color negro azulado acero, mientras que la hematita se observa en tonos rojizos, además esta se presenta formando halos de oxidación alrededor de la magnetita.

Se puede observar que el contenido de óxidos (magnetita y hematita) es variable, pues en general todas las muestras contienen tales minerales en cantidades traza, excepto la muestra SMA-1, la cual presenta contenidos del 3-5% de tales minerales. Es común encontrar que sulfuros (pirita) ocurren en la mayoría de los casos en asociación con magnetita y hematita.

Petrográficamente estas rocas se presentan masivas y con muy bajas a casi nulas microfracturas, sin embargo para las muestras SMA-7, SMA-8 y SMA-9, se interpretan procesos de deformación frágil, evidenciado por algunas microfracturas naturales rellenas por pirita.

5.4 MÉTODO QUÍMICO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA LA IDENTIFICACIÓN CUANTITATIVA DE ELEMENTOS DE LA MUESTRA.

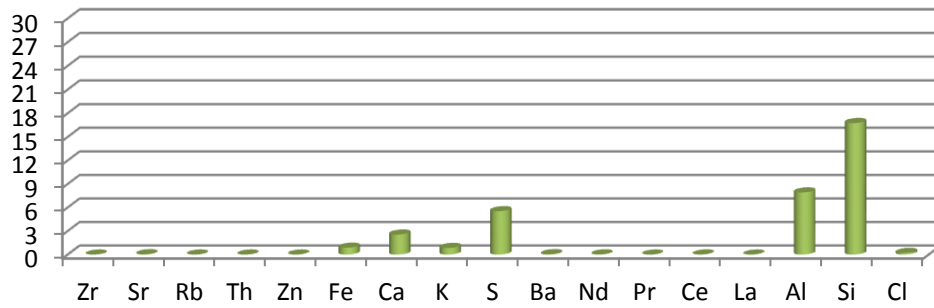
Tabla 7. Datos de concentración de elementos determinada por fluorescencia de rayos X de las muestras SM1, SM2 y SM3.

MUESTRA	SM1	SM2	SM3
Elemento	%	%	%
Sr	0,037	0,042	0,020
Zn	0,002	0,033	0,038
Fe	0,874	2,715	0,995
Ca	2,55	5,45	5,957
K	0,849	0,558	1,05
S	5,531	7,104	3,254
Ba	0,042	0,057	0,039
Nd	0,021	0,063	0,049
Pr	0,009	0,036	0,029
Ce	0,013	0,025	0,022
La	0,007	0,017	0,014
Al	7,923	4,925	4,643
Si	16,759	27,064	20,761
Cl	0,209	0,168	0,281
Zr	0,009	0,004	0
P	0	0,301	0,278
Rb	0,003	0,002	0
Cu	0	0,005	0,003
Ni	0	0	0,007
Th	0,003	0	0
As	0,003	0	0

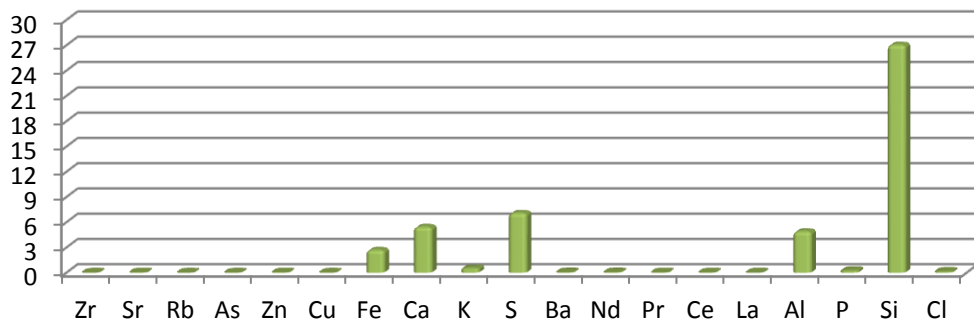
Fuente: Autores

Grafica 1. Representación de la concentración porcentual de elementos determinada por fluorescencia de rayos X para las muestras SM1, SM2 y SM3.

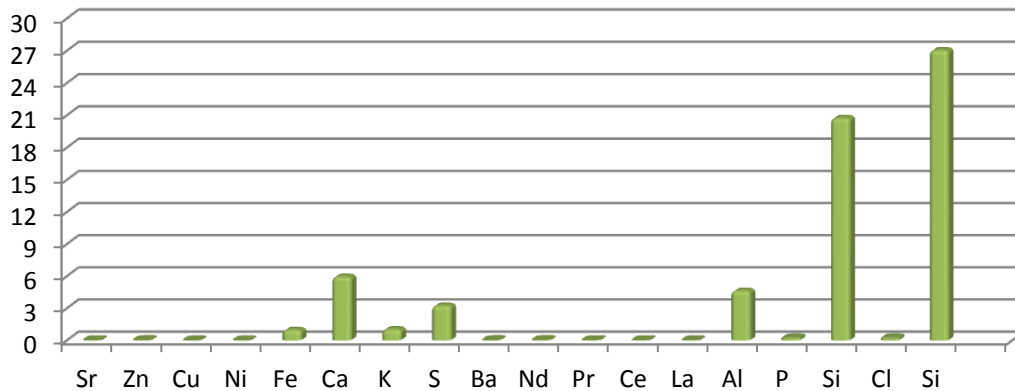
MUESTRA SM1



MUESTRA SM2



MUESTRA SM3



Fuente: Autores

En las tres muestras se observa una afinidad elemental, lo cual es evidente para rocas provenientes de un mismo cuerpo plutónico.

Las mayores diferencias las presenta la muestra SM2, que contiene un 30% de silicio, porcentaje que supera entre el 7 al 10 % de las demás muestras, esto significa un mayor contenido de minerales silicatados. Los valores porcentuales en hierro y azufre, son levemente mayores, lo que sustenta la presencia de pirita en dicha muestra.

Teniendo en cuenta las estimaciones petrográficas, esta muestra contiene evidentemente biotita oxidada y un contenido mayor de pirita, como relleno de microfracturas o diseminada en menor proporción.

6. ENSAYOS TECNOLOGICOS

A continuación se presentan los resultados de los ensayos físicos, mecánicos y químicos realizados según la normativa técnica colombiana a las muestras SM1, SM2 y SM3 que provienen de la cantera “Manuel Pertuz” del municipio de Santa Marta, Magdalena.

Los resultados de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los agregados para concreto, se describen en este capítulo tabulando y analizando cada uno de los resultados. Las copias de los informes de los laboratorios respectivos se incluyen en los anexos.

6.1 TAMIZADO DE MATERIALES GRANULADOS, NTC 177

- Muestra SM1

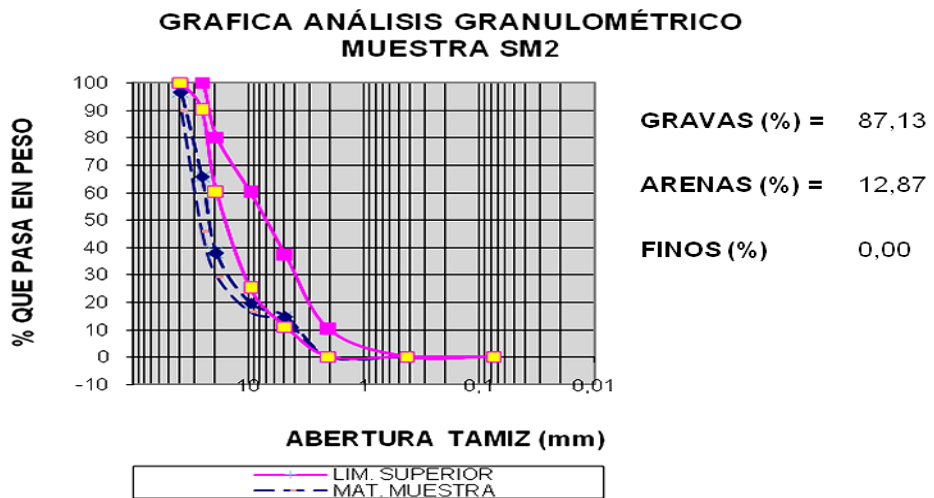
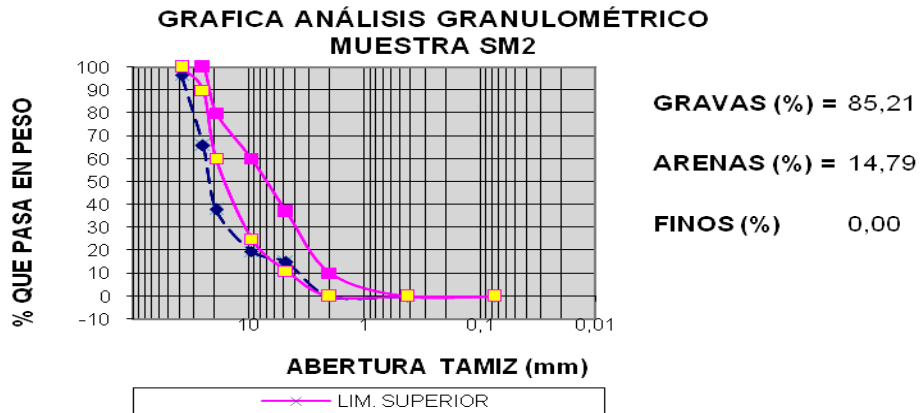
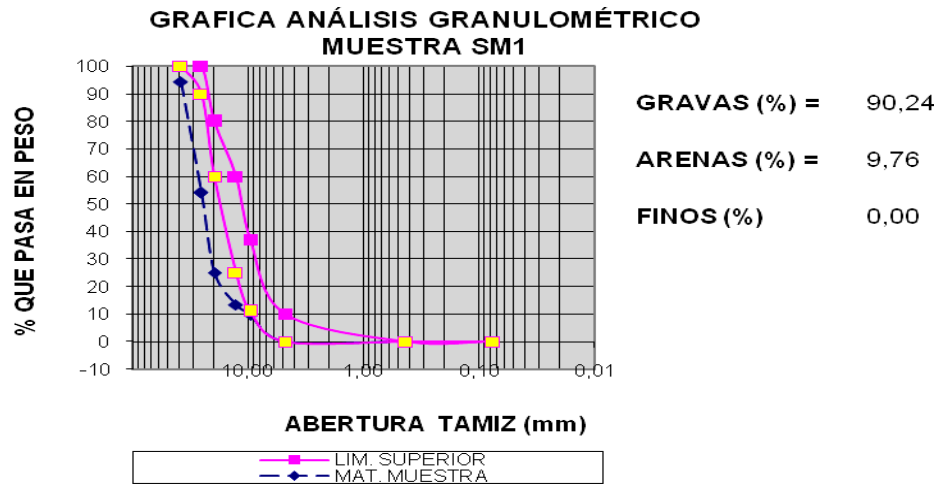
Peso inicial de la muestra seca: 15.000 gr

Tabla 8. Gradación granulométrica de las muestras SM1, SM2, y SM3.

MALLA N°	ABERTU RA (mm)	PESO SUELTO RETENIDO (gr)			% RETENIDO PARCIAL			% QUE PASA LA MALLA			LIMITE SEGÚN LA NORMA NTC-77	
		SM1	SM2	SM3	SM1	SM2	SM3	SM1	SM2	SM3	LIM. INFERIO R	LIM. SUPERI OR
1 1/2"	38,1	820	538	1570	5,47	3,59	10,47	94,53	96,41	89,53	100	100
1"	25,4	6060	4592	6558	40,4	30,61	43,72	54,13	65,8	45,81	90	100
3/4"	19,5	4358	4208	2472	29,05	28,05	16,48	25,08	37,75	29,33	60	80
1/2"	12,7	1756	2718	1936	11,71	18,12	12,91	13,37	19,63	16,43	25	60
3/8"	9,52	542	726	534	3,61	4,84	3,56	9,76	14,79	12,87	11	37
N° 4	4,8	1464	2218	1930	9,76	14,79	12,87	0	0	0	0	10
N° 40	0,425	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N° 200	0,075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores

Gráfica 2. Gradación granulométrica para las muestras SM1, SM2 y SM3.



Fuente: Autores

En lastablas 11, 12, y 13 se encuentran tabulados los porcentajes que pasan cada tamiz del ensayo de granulometría de las muestra. Los datos se encuentran representados en la curva granulométrica de las gráficas 1,2 y 3. Como puede observarse en las curvas antes mencionadas, la distribución granulométricas del material no se encuentran dentro de los límites fijados por la norma NTC 177, lo cual indica que el material no posee una adecuada graduación, esto se debe a que en el proceso de trituración no se especificó un tamaño aleatorio es decir solo se tomó una medida concreta, por lo tanto esta propiedad puede ser controlada y modificada para satisfacer los estándares según la norma.

6.2 MÉTODO PARA DETERMINAR LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS, NTC 92.

Tabla 9. Valores del peso unitario suelto a 3 repeticiones.

PESO UNITARIO SUELTO		
SM1	SM2	SM3
6240	6514	6294
6214	6558	6370
6274	6634	6424
6242,67	6568,67	6362,67

Fuente: Autores

Tabla 10. Valores del peso unitario compactado a 3 repeticiones.

PESO UNITARIO COMPACTADO		
SM1	SM2	SM3
6884	6870	6926
6890	6970	6898
6784	7138	6910
6852,67	6992,67	6911,33

Fuente: Autores

Peso Unitario

P1: peso del medidor + vidrio = **3012 gr**

P2: peso del medidor + vidrio + agua = **5834 gr**

V: volumen del medidor = $\frac{P2 - P1}{1000}$ = **2822 gr**

Peso unitario del agregado compactado = $\frac{Pc - Pm}{V}$

Peso unitario del agregado suelto = $\frac{Ps - Pm}{V}$

Porcentaje de vacíos = $1 - \frac{\text{peso unitario}}{\text{peso específico}} \times 100$

Tabla 11. Valores de peso unitario y porcentaje de vacíos.

	SM1	SM2	SM3
Pm: peso del medidor vacío	2526,00	2526,00	2526,00
Pc: peso del medidor + material S.S.S. compactado	6852,67	6992,67	6911,33
Ps: peso del medidor + material S.S.S. suelto	6242,67	6568,67	6362,67
Peso unitario del agregado compactado	1,53	1,58	1,55
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto	1,32	1,43	1,36
PORCENTAJE DE VACIOS % Compactado	43,27	46,66	47,91
PORCENTAJE DE VACIOS % Suelto	51,27	51,72	54,43

Fuente: Autores

Según la tabla 11 los resultados para agregado compacto de la muestra SM1 cumple los rangos establecidos por la norma NTC 92, mientras que las muestras SM2 y SM3, al igual que los resultados de los agregados sueltos de las todas las muestras, se encuentran por encima del límite de referencia esto quiere decir que

no se encuentran dentro del rango de aceptación que tiene un porcentaje de vacíos entre el 30% a 45%.

Las muestras que no cumple con estas especificaciones modificarían las propiedades del concreto reduciendo así sus características mecánicas, muy posiblemente la curva granulométrica este afectando los valores obtenidos ya que el tamaño de las partículas presentan una tendencia uniforme.

6.3 MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS HASTA DE 37,5 MM, UTILIZANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES, NTC 98.

Gradación usada	6
N° de esferas	12
N° de revoluciones	1000
Pa: Muestra seca antes del ensayo (gr)	10000
Pb: peso muestra seca después del ensayo y después de lavas sobre tamiz No 12(Gr).	

Perdida de material (Pa-Pb)

$$\% \text{Desgaste} = \frac{Pa - Pb}{Pa} * 100$$

Tabla 12. Resistencia al desgaste según la máquina de Los Ángeles.

	SM1	SM2	SM3
Pa	10000	10000	10000
Pb	6218	3864	5310
(Pa-Pb)	3782	6136	4690
%Desgaste=	37,82	61,36	46,9

Fuente: Autores

Se tamizó una cantidad representativa del material por cada muestra y según los porcentajes retenidos en cada tamiz se clasificó el tipo de desgaste como “G”. Se obtuvieron un porcentaje de desgaste del 37,82 %; 61,36%; 46,9% del ensayo de la máquina de Los Ángeles, la cual solo la muestra SM1 se considera aceptable para el uso de la dosificación de un concreto de buena calidad, en Cambio para las muestras SM2 y SM3 no entran entre las especificaciones de la normas NTC 92 pues el límite en el que se debe encontrar dicho desgaste es de 40 %.

6.4 MÉTODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS A LOS ATAQUES CON SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO, NTC 126.

Tabla 13. Resistencia al desgaste - ataque Sulfato de anhídrido.

	SM1	SM2	SM3
	5285	5179	5185
Peso Platón	340	238	230
PESO I	5625	5538	5415
PESO F	5358	5417	5409
(Pi-Pf)	267	121	6
%Desgaste=	4,75	2,18	0,11

Fuente: Autores

En referencia a la sanidad del agregado grueso, para determinar la resistencia a la desintegración , por la acción de una solución de sulfato de anhídrido al 24% de pureza en cinco ciclos, se obtuvieron un desgaste referido a graduación del 4,75%; 2,18%; 0,11%, encontrándose dentro de los límites de la norma NTC 126 que establece un límite del 12 por ciento, definiendo entonces, una buena calidad del agregado que estará sometido a la acción de los agentes atmosféricos, por lo que al menos para este tamaño de agregado grueso, se aconseja utilizarlo en estructuras sometidas a la abrasión, como lo son los pavimentos.

6.5 MÉTODO QUÍMICO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD POTENCIAL A AGREGADOS, NTC 175.

Los resultados de la prueba de determinación de sílice por el método Gravimétrico son: SM1 84,8%, SM278, 3%, SM3 77.2%, dichos valores no condicionan un alto potencial de reacción con el álcalis del cemento, para estos es necesario culminar la segunda fase de la norma NTC 175.

En el análisis petrográfico de cada muestra se observaron en las secciones delgadas los minerales: Hornblenda, Plagioclasa, Ortoclasa, Biotita, Esfena, Clinozoicita, Cuarzo, Epidota, Microclina, y Circón, estos minerales se encuentran en el grupo de los silicatos por consiguiente las composiciones químicas de cada mineral nos indica un alto porcentaje de sílice (SiO₂).

Hay que tener en cuenta que para obtener una alta reacción con los álcalis del cemento es necesaria la existencia en la muestra del cuarzo micro cristalino y del feldespatos alcalinos (Microclina, ortoclasa y albita) los cuales aportan la sílice y los álcalis para la reacción.

En las secciones delgadas se determinaron estos minerales en todas las muestras en porcentajes considerables. Además de evidenciarse deformación en los mismos. Según lo planteado anteriormente se puede indicar que son potencialmente reactivas.

6.6 MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS, NTC 176.

Tabla14. Calculo gravedades específicas para agregados gruesos.

Gravedades específicas			
	SM1	SM2	SM3
A: Peso de la muestra en condición S.S.S., en el aire	5000	5000	5000
Pa: peso de la canasta sumergía en agua	1800	1800	1800
Pb: peso de la canasta + muestra S.S.S., sumergida en agua	4950	5115	5124
B: peso de la muestra en agua = Pb - Pa	3150	3315	3324
peso de la muestras + platón	5285	5179	5185
peso platón	340	238	230
C: peso de la muestra secada al horno, en el aire	4945	4941	4955

Fuente: Autores

$$\text{Gravedad específica real} = \frac{C}{C - B}$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{C}{A - B}$$

$$\text{Gravedad específica aparente S.S.S.} = \frac{A}{A - B}$$

$$\text{ABSORCIÓN \%} = \frac{A - C}{C} * 100$$

Tabla 15. Calculo de densidades.

	SM1	SM2	SM3
Gravedad especifica real	2,755	3,039	3,038
Gravedad especifica aparente	2,673	2,932	2,956
Gravedad especifica aparente S.S.S.	2,703	2,967	2,983
ABSORCION %	1,112	1,194	0,908

Fuente: Autores

El peso específico para agregados gruesos según la norma NTC 176, nos indica que los valores más usuales de agregados naturales se encuentran entre 2.4 y 2.9, para las muestras analizadas obtuvimos un resultados de 2.67, que se puede clasificar en el rango de agregados normales y para las muestras SM2 y SM3 se obtuvieron 2.93 y 2.95 respectivamente, encontrándose así dentro del rango de partículas de agregado pesado.

Esta característica es propia de cada material, por lo tanto no debe excluirse de las especificaciones para el uso en mezclas de concreto.

6.7 DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA POR MEDIO DEL VALOR AZUL DE METILENO EN AGREGADOS, NTC 127.

Los resultados arrojados por el colorímetro de todas las muestras fue del color más claro, esto indica que el contenido de materia orgánica es inferior al límite fijado, y el agregado grueso es aceptable.

La materia orgánica se considera perjudicial en los agregados gruesos y es necesario conocerse su contenido, ya que afecta la hidratación del cemento y si está presente en alto grado, puede bajar la resistencia del concreto.

6.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO, NTC 673.

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{Resistencia ultima}}{\text{Area}}$$

$$\text{Compresión} = \frac{\text{Esfuerzo}}{0.07}$$

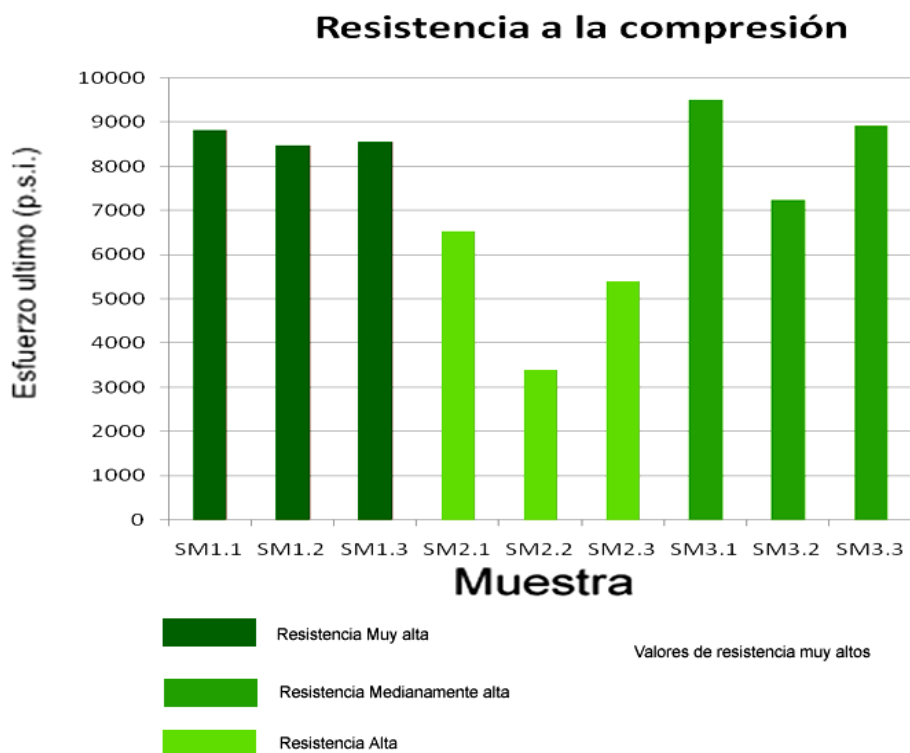
Área cilíndrica normal= 44,18

Tabla 16. Datos ensayo de compresión y resistencia a la compresión de cada muestra.

Muestra	Resistencia Ultima (Kg)	Esfuerzo (Kg/ cm)	Resistencia (Mpa)	Resistencia a la Compresión promedio de cada muestra (p.s.i.)
SM1.1	27300	617,93	60,879	SM1 8622,73384
SM1.2	26200	593,03	58,426	
SM1.3	26500	599,82	59,095	
SM2.1	20200	457,22	45,046	SM2 5108,9698
SM2.2	10500	237,66	23,415	
SM2.3	16700	378,00	37,241	
SM3.1	29400	665,46	65,562	SM3 8558,06333
SM3.2	22400	507,02	49,952	
SM3.3	27600	624,72	61,548	

Fuente: Autores

Grafica 3. Resultado resistencia a la compresión total muestras.



Fuente: Autores

El comportamiento geomecánico de las tres muestras sometidas a compresión es satisfactorio, puesto que supera ampliamente los valores 6.000 – 7.000 p.s.i. ó 41,379 – 48,276 MPa exigidos para pisos. (Norma Icontec NTC 1085).

Las especificaciones de las ASTM estipulan que la resistencia a compresión simple mínima exigida para un granito, usado para edificación es de 1310 p.s.i. ó 9,034 MPa.

De igual manera los valores obtenidos de las muestras, son **superiores** al comportamiento del Granito de pescadero 19.000 psi ó 131 MPa para probetas de 25 cm², obtenido por Lozano & Romero (1993), haciendo la aclaración que los núcleos ensayados en el proyecto presentan un área promedio de 44.18 cm², el

doble del área estudiadas en las probetas del Granito de pescadero, la resistencia a la compresión es inversamente proporcional al área de la probeta. Debido a las especificaciones técnicas, la resistencia a la compresión de las muestras ensayadas está ubicada dentro del rango ALTO. Sin embargo, la clasificación de Rocas según su resistencia a compresión de Deere y Miller (1966), ubica a las muestras SM1 y SM3 dentro de la clase C cuya descripción es de Resistencia Media, y la muestra SM2 en la clase D con Resistencia Baja.

6.9 MÉTODO SUGERIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES ROCOSOS SOMETIDOS A FLEXIÓN MEDIANTE EL ENSAYO DE LA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA SOMETIDA A CARGA PUNTAL EN EL CENTRO.

Dimensiones de las tabletas (cm): 12 X 5 X 5

Módulo de Ruptura:

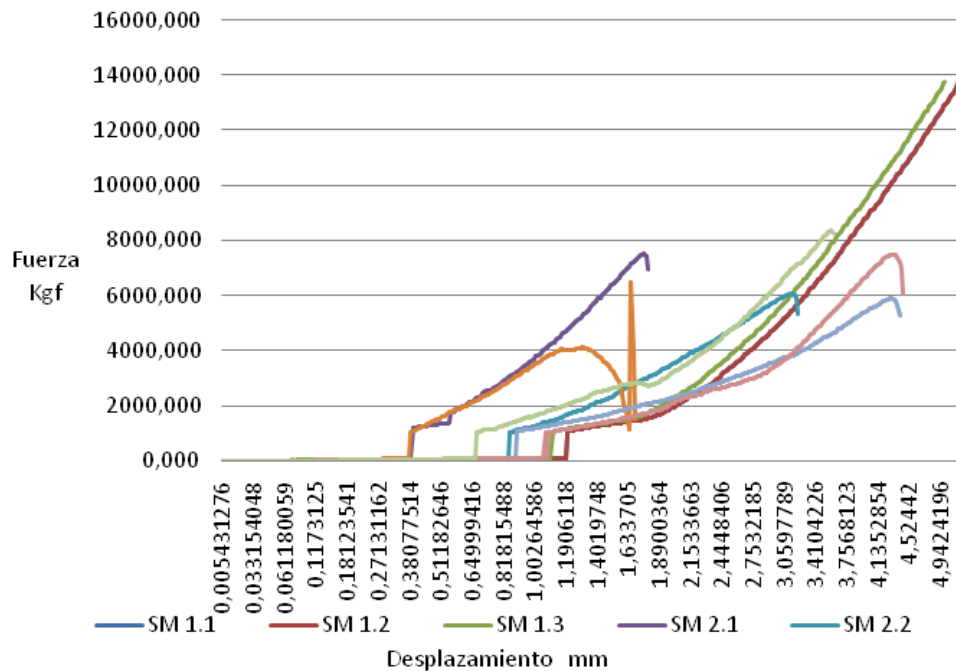
$$MR=3PL/(2bh^2) \text{ (MPa.)}$$

Tabla 17. Resultado módulo de ruptura de las tabletas correspondientes a cada muestra.

MUESTRA	Tableta	P (Kgf)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	MR (Mpa)
SM 1	SM 1.1	13777,4797	100	50	50	16,5329756
	SM 1.2	13777,4797	100	50	50	16,5329756
	SM 1.3	13778,4653	100	50	50	16,5341584
	MODULO DE RUPTURA PROMEDIO SM1					16,5333698
SM 2	SM 2.1	6959,54303	100	50	50	8,35145163
	SM 2.2	5341,48444	100	50	50	6,40978133
	SM 2.3	6496,66936	100	50	50	7,79600323
	MODULO DE RUPTURA PROMEDIO SM2					7,51907873
SM 1	SM 3.1	4990,37183	120	50	50	7,18613543
	SM 3.2	7494,22417	100	50	50	8,99306901
	SM 3.3	8354,98534	100	50	50	10,0259824
	MODULO DE RUPTURA PROMEDIO SM3					8,73506228

Fuente: Autores

Gráfica 4. Curva fuerza-desplazamiento de las tabletas sometidas al ensayo de flexión.



Fuente: Autores.

El comportamiento geomecánico del material sometido a flexión es satisfactorio para las muestras SM1 y SM2 puesto que los datos obtenidos para estas muestras superan el valor exigido para pisos de 10.05 Mpa.

El comportamiento de las muestras para tabletas de 12*5*5 cm, en general es distintivamente menor al comportamiento del Granito de pescadero cuyos índices están en 4674.8 psi ó 32.2 MPa para tabletas de dimensiones 25*2.18*1.746 cm obtenido por Lozano & Romero (1993).

Las especificaciones de la ASTM-C78 recogen que el módulo de ruptura mínima exigida para un granito usado para edificación es de 10.24 MPa. Para probetas rectangulares con dimensiones en cm 30*7*7.

7. CONCLUSIONES

- Para obtener un concreto óptimo se debe buscar una estructura en las partículas de agregados con la forma y secuencia de tamaños adecuados, para que se acomoden lo más densamente posible, sin embargo todas las muestras de agregados estudiadas en el proyecto no cumplen con ninguna de las especificaciones generales de la norma NTC 177, por lo tanto al momento de triturar el agregado se debe tener en cuenta los límites del tamaño de partícula, para obtener resultados favorables en mezcla de concreto.
- El agregado grueso presenta niveles de absorción que varían del 0.2% al 4%, por lo tanto los resultados de las muestras se incluyen dentro del rango. Por otra parte el porcentaje de vacíos varía del 30 al 45 % clasificando como apta la muestra SM1, de acuerdo a la anterior el peso unitario y el % de absorción de las muestras SM2 y SM3 se encuentran por fuera de los límites establecidos para valores considerados normales para un concreto de peso normal.
- En el ensayo de resistencia al desgaste de la máquina de los ángeles indica un buen resultado para uso como agregado pétreo solo para el material correspondiente a la muestra SM1, según los datos obtenidos de las muestras SM2 y SM3 sobre pasan el límite establecido, por lo tanto no son muy resistentes para el uso de mezclas de concreto y como relleno de pavimentos.
- Al determinar el desgaste al ataque del sulfato de anhídrido todas las muestras analizadas en el proyecto cumplen satisfactoriamente con el límite de 12 % que estipula la norma NTC 126, teniendo en cuenta que el porcentaje más alto arrojado por los agregados no sobrepasa del 5%, concluyendo así que estos geomateriales son muy resistentes a los agentes atmosféricos.

- Por medio de los ensayos a la compresión y flexión se estableció que todas las muestras clasifican por su resistencia y al alto esfuerzo a la deformidad, las tensiones o esfuerzos pueden producir deformaciones y roturas en las rocas esto depende de las propiedades patológicas y petrográficas de las mismas y de las condiciones externas ((presiones, temperatura, presencia de agua, etc.)) en la que la roca sufre dichas tensiones.
- La pureza de las muestras se certificó por medio de la norma NTC 127, ya que la tonalidad que se observan en las sustancias de todas las muestras es de nivel uno, dando un valor conveniente a los agregados para concreto.
- Generalmente los agregados pétreos contienen constituyentes silíceos reactivos con los álcalis liberados por la hidratación del cemento, que pueden llegar a deteriorar fuertemente el concreto, las rocas estudiadas no son la excepción; aunque los porcentajes de minerales peligrosos son difíciles de establecer ya que dependen del grado de deformación del cuarzo y el contenido de algunos feldspatos alcalinos, se considera la probabilidad de que las muestras estudiadas sean potencialmente alcalinas basándose en el alto valor porcentual de SiO_2 obtenido por el método gravimétrico, la abundancia de feldspato alcalino y adicionando que los productos industriales elaborados con dichas muestras son generalmente para usos en una zona costera la cual es una fuente de álcalis externa.
- La sola clasificación de las rocas en los tres grandes grupos (ígneo, metamórfico y sedimentario) no es suficiente para juzgar sobre su competencia en el punto de vista de Ingeniería. Algunos procesos geológicos posteriores tienen mayor influencia en su comportamiento. La composición y propiedades de las rocas se reflejan decisivamente en las características de los materiales de construcción que de ellas se obtienen.

- Con este estudio se logró predecir las propiedades de las rocas desde el punto de vista de Ingeniería ya que éstas resultan de la textura, estructura y composición; características que se estudian por métodos petrográficos.
- Se suministraron datos cualitativos y cuantitativos acerca de las propiedades de las rocas las cuales sirven para definir en un caso dado si el comportamiento del material se debe a una característica decisiva controlante.

8. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar los exámenes de calidad correspondientes a las otras texturas y composiciones existentes en la cantera “Manuel Pertuz” para poder tener una fuente alternativa de extracción de agregados tanto finos como gruesos también generando una amplia cobertura en la industria de la construcción parámetro comparativo de las propiedades de la roca.
- El estudio de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados, es un parámetro crítico en cuanto a la durabilidad del concreto, ya que repercute en el debilitamiento estructural y acorta la vida útil de las obras. Por consiguiente se recomienda la elaboración completa de la Norma Icontec NTC 175.

BIBLIOGRAFIA

- AHSAN, Naveed, NAWAZ, Muhammad, MUNAWAR IQBAL, Muhammad, KARM KHAN, ZahidAllai. Aggregate for rehabilitation and reconstruction of October 8, 2005 Earthquake affected Allai-Banan area, NWFP, Pakistan. Geological Bulletin of the Punjab University. Pakistán, 2009. Vol. 44. p. 43-54.
- ALAEJOS P., FERNÁNDEZ M. High-Performance concrete: Requirements for constituent material and mix proportioning. En: ACI Materials Journal. Estados Unidos. 1996. Vol. 93 No.3, 236 p.
- Asociación colombiana de productores de agregados Pétreos- ASOGRAVAS. Las nuevas aproximaciones para el desarrollo sostenible en la Industria de Agregados Pétreos en Colombia. Bogotá. 2007
- BENAVENTE, David., LOCK, Peter., GARCIA DEL CURA, María Ángeles., ORDOÑEZ, Salvador. Predicting the capillary imbibition of porous rocks from microstructure. EN: Transport in Porous Media Vol. 49 Netherlands, 202 p 59-76.
- BELLIDO Félix., APARICIO Alfredo., GARCÍA Luis., BRANDLE José Luis., SANTOS Vicente. Caracterización de los Granitoides Hercínicos del Sistema Central. En: Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe, España. Vol.11. 1987, p. 241-260. ISSN: 0213-4497
- BOTERO ARANGO, Gerardo., GUTIÉRREZ VILLEGAS, José., ÁLVAREZ ÁLVAREZ, Rodrigo. Algunas aplicaciones de la petrografía a la Ingeniería civil.

En: Simposio sobre Ingeniería Geológica. Bogotá, Colombia, Noviembre 26, 1968. 23p.

- BROOK, G. A new approach to the study of inselberg landscapes En: Bremer y J. Jennings (eds.), Inselbergs, Z. Geomorph. Suppl. Band, Vol. 31, (1978). pp. 138-160.
- CALVACANTE DA SILVA, Claudia., BARRETO MONTEIRO Carlos., DUARTE GUSMAÔ Alix. Análisis de métodos de prevención de la reacción álcali-agregado: Análisis petrográfico y método acelerado para barras de mortero. En: Revista Académica Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán. 2011, Vol. 15, No.1, ISSN 1665-529X. p. 9-17.
- CHAN YAM, José., CARCAÑO SOLÍS, Rómel., MORENO, Eric. Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto En: Revista Ingeniería. Argentina. 2003, Vol.72, p. 39-46.
- CENTENO R., DUARTE F., CASTILLO W., CHIM S. Propiedades mecánicas del concreto elaborado con agregados pétreos de la península de Yucatán. En: Boletín académico FIUADY, México. 1994, No 25, p.35-41
- Código de Minas. Ley 0685/15-08-01 Colombia.
- CONASFALTOS. Cartilla para agregados pétreos. Colombia. En: http://www.conasfaltos.com/archivos_web_conasfaltos/descargas/formatos/cartilla.pdf
- CORREA ARROYAVE, Álvaro de la Cruz. Caracterización de rocas ensayos de laboratorio. 1. ed. Santafé de Bogotá, Colombia. Ediciones Ayala Ávila & CIA LTDA. 2000. 233 p.

- DIPAYAN, Jana. Concrete Petrography-Pasta, Present, and future. En: 10th Euro seminar on Microscopy applied to Building Materials, Scotland. 2005
- EZELDIN A.S., AITCIN P.C. Effect of coarse aggregate on the behavior of normal and high-strength concretes. En: Cement and concrete aggregates, Vol. 13 No.2 U.S.A. 1991. 121-124 p.
- GAITÁN OROZCO, Sergio. Análisis mineralógico y examen petrográfico de agregado fino para concreto de tres bancos de la región central del país. Trabajo de Grado Ingeniero Civil. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1996. 84 p.
- Instituto colombiano de Concreto ASOCRETO. Tecnología y Propiedades, Colección Básica de Concreto I 2. ed. ASOCRETO. Colombia. 1997. 315 p.
- URIBE AFIF Roberto., ÁLVAREZ PÉREZ Salvador y FLORES MARTINEZ José. Evaluación física de agregados gruesos para pisos y pavimentos de concreto. En: Construcción y Tecnología. Instituto mexicano del concreto y del cemento. México. 2000.
- JANOO Vincent., KORHONEN Charles. Performance Testing of Hot-Mix Asphalt Aggregates. SpecialReport 99-20, US Army Corps of Engineers. December 1999.
- KERSTIN Elert., GIUSEPPE Cultrone., RODRIGUEZ NAVARRO Carlos., PARDO Eduardo Sebastián. Durability of bricks used in the conservation of historic buildings influence of composition and microstructure. En: Journal of Cultural Heritage. Vol. 4. España. 2003. 91-99 p.

- LANDAVERDE, Julio., Estudio de los Agregados para Concreto en las Canteras más Importantes de El Salvador En: 8ª Jornada Iberoamericana de Materiales de Construcción. Lima. Agosto. 2011. 245p.
- LANGER, William. Geological Considerations Affecting Aggregate Specification. En:AggregateResources - A Global Perspective. Denver-Colorado. 1998. 275 p.
- LEON, María RAMIREZ Fernando. Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. En:Revista Ingeniería de Construcción. Santiago. Agosto 2010. Vol. 25 N°2, p. 215-240.
- LESLIE A., EDEN, M. A Code of Practice for the Petrographic Examination of Mortars, Plasters, Renders and Related Materials. En:Publicación especial: Compiled by Applied Petrography Group. Escocia, Febrero, 2008. p. 127-138.
- LUNA AROCHE, Julio., SALGUERO GIRON, Raúl. Estudio de Calidad de agregados para concreto aplicando las normas ASTM C-33, C-131, C-295 y C-289 (Presentación de Casos). Trabajo de Grado Ingeniero Civil. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Centro de estudios Superiores de Energía y Minas, 2004. 16 p.
- LOZANO Ricardo José., ROMERO Tatiana. Características Geomecánicas del Granito de Pescadero y su aprovechamiento Industrial. Tesis de grado Geólogos. Bucaraanga:Universidad Industria de Santander. Escuela de Geología. 1993. 116p.
- MACKENZIE, W.S., DONALDSON, C.H. Atlas of igneous rocks and their textures. 1. ed. Edinburgh, England. Pearson education limited. 1982. 148 p.



- MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos. Guía de laboratorio de petrología ígnea. 1. ed. Bucaramanga, Colombia. Ediciones UIS. 2003. 124 p.
- MATÍN, Sandra. Materiales Pétreos Tradicionales de Construcción en Madrid. Tesis Doctoral Licenciada en ciencias Geológicas. España: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1994 158 p.
- MAYA SANCHEZ M., Zonas Potenciales para Agregados Naturales en los alrededores de Medellín, En: Boletín Geológico y Minero. Servicio Geológico INGEOMINAS. Bogotá. 2006. Vol. 117, No.4, p. 703-714.
- MIER UMAÑA, Ricardo. Manual de laboratorio de mineralogía óptica. 1. ed. Bucaramanga, Colombia. Ediciones UIS. 1990. 107 p.
- MINONISMITH C. EPPS J.A. Fatigue of Fatigue of Asphalt Concrete Mixtures - Summary of Existing Information. Fatigue of Compacted Bituminous Aggregate Mixtures, ASTM STP 508, American Society for Testing and Materials. 1972 p.19-45.
- **NEVILLE. Tecnología del Concreto. 4 ed. Ediciones IMCYM. México. 1999. 239p.**
- **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 92.** Método para determinar la masa unitaria de los agregados.
- **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 98.** Método de ensayo para determinar de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos hasta de 37,5 mm, utilizando la máquina de los ángeles.

- **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 129.** Agregados pétreos; extracción y preparación de muestra.
- **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 126.** Método para determinar la resistencia de los agregados a los ataques con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
- **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 175.** Método químico para determinar la reactividad potencial a agregados.
- **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 176.** Método de ensayo para determinar la densidad y absorción de agregados gruesos.
- **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 177.** Tamizado de materiales granulados.
- ORTIZ, Eduardo. Calidad de agregados producidos en Guatemala. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2006. 340 p.
- RIOS REYES, Carlos Alberto, CASTELLANOS ALARCON, Oscar Mauricio. Atlas de minerales vistos bajo el microscopio de luz transmitida. 1. ed. Bucaramanga, Colombia. Ediciones UIS. 2005. 98 p.
- RAMIREZ ROJAS, María Isabel. Sostenibilidad de la Explotación de Materiales de Construcción en el Valle de Aburrá. Trabajo de Grado Maestría Medio Ambiente y Desarrollo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2008. 145 p.

- SALGUERO GIRON, Raúl. Examen de calidad de agregados para Concreto de dos Bancos en la Ciudad de Quetzaltenango. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2004. 90 p.
- SANCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Bhandar Editores Ltda. Quinta Edición. Santa Fe de Bogotá. Colombia. 2001. 349 p.
- SARRIONANDIA, Fidel., CARRACEDO, Martín., EGUILUZ, Lourdes., APALATEGUI, Oliver., Potencial Ornamental del Plutón de Sierra Bermeja (Badajoz): Evaluación de su Canterabilidad. En: Geogaceta, España, 2004. Vol. 35, p.103-106.
- SIERRA LEMUS, Diana. Sustancias reactivas nocivas en los agregados para concreto. Trabajo de grado Ingeniera Química. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala. Escuela de Ingeniería Química, 2006. 115 p.
- SOLÍS Rómel., MORENO, Eric. Análisis de la Porosidad del Concreto con Agregado Pétreo Calizo. En: Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. Venezuela, 2006. Vol. 21. No 3. 31-40 p.
- SOTO SOLARES, Ricardo. Evaluación y análisis de mezcla de concreto, elaboradas con agregados de origen pétreo (Canto rodado y trituración) y escoria de acería. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2008. 129 p.
- THOMPSON, A.J.B., THOMPSON, J.F.H. Atlas of alteration: A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals. 2. ed. Canada. Mineral deposits division – GAC. 1996. 119 p.

- URIBE, Walter. El control de calidad en los agregados para concreto 3ª parte. En: Construcción y tecnología. México. 1991, Vol. 40. No 26 p.34
- VALENTINUZZI, M. Análisis por Fluorescencia de Rayos X: Implementación de guías de Haces en Reflexión Total. Argentina. 2008.111p.

ANEXOS

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 04	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2011/08/24 Página 1 de 2	



"El Laboratorio está acreditado por el IDEAM según la Resolución No. 1639 de 2011, en los parámetros pH, DBO₅, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"



"El Laboratorio está autorizado por el Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 5534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"

Solicitud No.	11-401	Fecha de emisión:	Noviembre 28 de 2011
Cliente:	PAOLA FIGUEROA MADERA		
Dirección del cliente:	Calle 84 No 57 - 29		
No. de muestras:	3		
Fecha de recepción de las muestras:	Octubre 19 de 2011		
Muestras recibidas por:	Johanna Riveros		
Fecha de análisis:	Noviembre 18 de 2011 – Noviembre 24 de 2011		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	11-401-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	SMI		
Matriz de la muestra:	Roca		
Muestreo realizado por:	Paola Figueroa Madera		
Lugar y punto de muestreo:	Santa Marta / Cantera Manuel Pertuz Batolito de Santa Marta		
Fecha del muestreo:	Febrero 02 de 2011		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO / NORMA
Silice (%SiO ₂)	84,8	Gravimétrico

2. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	11-401-02	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	SM2		
Matriz de la muestra:	Roca		
Muestreo realizado por:	Paola Figueroa Madera		
Lugar y punto de muestreo:	Santa Marta / Cantera Manuel Pertuz Batolito de Santa Marta		
Fecha del muestreo:	Febrero 02 de 2011		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO / NORMA
Silice (%SiO ₂)	78,3	Gravimétrico

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: laboratorioquimicodeconsultas@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 04	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2011/08/24 Página 2 de 2	

Solicitud No. 11-401

3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra: 11-401-03	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: SM3	
Matriz de la muestra: Roca	
Muestreo realizado por: Paola Figueroa Madera	
Lugar y punto de muestreo: Santa Marta / Cantera Manuel Pertuz Batolito de Santa Marta	
Fecha del muestreo: Febrero 02 de 2011	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO / NORMA
Silice (%SiO ₂)	77,2	Gravimétrico

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

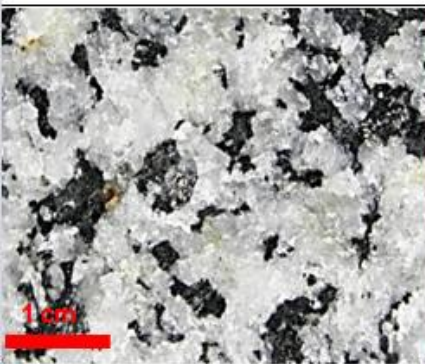
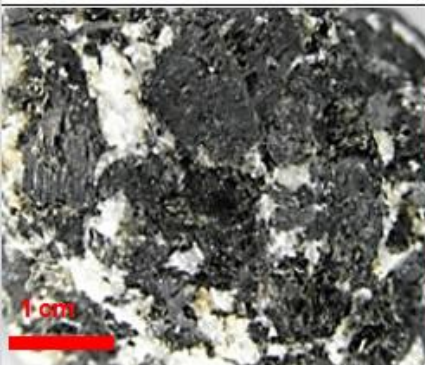
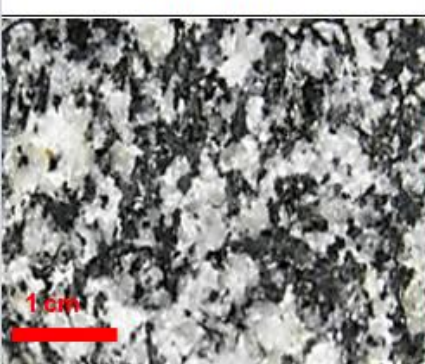
Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:

Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora del Laboratorio
Química. Msc Química UIS
MP PQ 1144

Elaboró: *Johanna Riveros*

MUESTRA	SM1		
	Nombre Geológico:	Monzodiorita	
	Textura:	Fanerítica	
	Peso unitario del agregado compactado (gr)	1,53	
	Peso unitario del agregado S.S.S. suelto (gr)	1,32	
	Porcentaje de vacíos % Compactado	43,27	
	Porcentaje de Vacíos % Suelto	51,27	
	Densidad aparente:	2,67	
	Resistencia a la abrasión (% de desgaste)	37,82	
	Resistencia a la compresión (Mpa):	59,46	
	Resistencia a la flexión (Mpa):	16,53	
	% de sílice:	84,8	
<p>Roca plutónica, de textura afanítica (tamaño de grano grueso), constituida principalmente por plagioclasa y minerales máficos (Homblenda y biotita) que no superan el 15% y bajo contenido de cuarzo. Presenta buenas características para todo tipo de usos y acabados, recomendada para agregados en concreto.</p>			
MUESTRA	SM2		
	Nombre Geológico:	Cuarzosienita	
	Textura:	Porfírica	
	Peso unitario del agregado compactado (gr)	1,58	
	Peso unitario del agregado S.S.S. suelto (gr)	1,43	
	Porcentaje de vacíos % Compactado	46,66	
	Porcentaje de Vacíos % Suelto	51,72	
	Densidad aparente:	2,93	
	Resistencia a la abrasión (% de desgaste)	61,36	
	Resistencia a la compresión (Mpa):	35,23	
	Resistencia a la flexión (Mpa):	7,52	
	% de sílice:	78,3	
<p>Roca plutónica, de textura porfírica constituida principalmente por homblenda, biotita y en menor proporción plagioclasa. Presenta características intermedias a bajas, mas apropiada para acabados.</p>			
MUESTRA	SM3		
	Nombre Geológico:	Cuarzomonzodiorita	
	Textura:	Fanerítica	
	Peso unitario del agregado compactado (gr)	1,55	
	Peso unitario del agregado S.S.S. suelto (gr)	1,36	
	Porcentaje de vacíos % Compactado	47,91	
	Porcentaje de Vacíos % Suelto	54,43	
	Densidad aparente:	2,96	
	Resistencia a la abrasión (% de desgaste)	46,90	
	Resistencia a la compresión (Mpa):	59,02	
	Resistencia a la flexión (Mpa):	8,74	
	% de sílice:	77,2	
<p>Roca plutónica, de textura afanítica (tamaño de grano fino), constituida principalmente por minerales máficos (Homblenda, biotita) y un bajo porcentaje d plagioclasa. Presenta características intermedias, se puede utilizar como agregado y roca natural para acabados.</p>			