



DETERMINACIÓN DEL CARÁCTER PUZOLÁNICO DE LATERITA
NIQUELIFERA, PUMITA, DIATOMITA Y SU EFECTO COMO ADITIVO EN EL
COMPORTAMIENTO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I

MARIA CAROLINA RUEDA GUALDRON
KAREN MILENA VEGA NUÑEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2012



PROYECTO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGATIVA
DETERMINACIÓN DEL CARÁCTER PUZOLÁNICO DE LATERITA
NIQUELIFERA, PUMITA, DIATOMMITA Y SU EFECTO COMO ADITIVO EN EL
COMPORTAMIENTO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I

MARIA CAROLINA RUEDA GUALDRON
KAREN MILENA VEGA NUÑEZ

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO
GEÓLOGAS

DIRECTOR

PhD. Geólogo CARLOS ALBERTO RIOS REYES

CO-DIRECTOR

ING. CIVIL RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2012

DEDICATORIA

Mil gracias a Dios por permitirme estar aquí y darme la fuerza para llegar a esta meta.

A toda mi familia , a Rosa, la Negra, mis sobrinos; Silvíta por tener un sonrisita en el momento preciso y Luis F por ayudarme a cada momento incondicionalmente ,a mis papas, Rosalba Gualdrón y Luis Antonio Rueda, quienes me han acompañado en este gran proceso , mi mayor apoyo, a quienes les debo todo.

A Ros por todo ese gran apoyo, camaradería, paciencia, incondicionalidad y consejos.

A mis amigos Jujú, Sandroíde ,Silvís , Pollo, él Negro y Karen por su incondicionalidad, por sus oraciones, por escuchar ,por guiarme y por todo los buenos y malos momentos que hemos pasado.

A todos, que siempre estuvieron, dándome aliento y fuerzas para continuar
Mil, mil gracias, los quiero muchísimo.

Maria Carolina Rueda Gualdrón

DEDICATORIA

Agradezco primero que todo a Diosito que siempre me acompaño, a mis padres que son mi fortaleza y mis ganas de salir adelante. Agradezco especialmente a Sandrita que siempre estuvo ahí colaborándonos en cualquier aspecto del proyecto. A mi parche Rocío, Silva, la pollo, al negrito, a mi primo Beto que siempre tuvieron palabras de aliento para nunca rendirnos. A Caro, mi compañera de proyecto que me apoyo en cualquier decisión tomada. A la mechas que fue nuestro orientador en este proyecto y a agradezco a todas esas manos de ayuda que estuvieron allí para apoyarnos cuando mas necesitábamos.

Karen Milena Vega Núñez

AGRADECIMIENTOS

Al director Carlos Alberto Rios y codirector Ricardo Alfredo Cruz Hernández profesor escuela de Ing. Civil

A Jairo Hernández y profesores del laboratorio de ingeniería civil, por toda su colaboración y paciencia

A Laboratoristas y cuerpo técnico de ingeandina .

A Javier Jerez por su gran colaboración, consejos y paciencia.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	25
1. OBJETIVOS	28
1.1 OBJETIVO GENERAL	28
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	28
2. PROBLEMA	29
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
3. ANTECEDENTES	32
4. MARCO TEORICO.....	40
4.1 CEMENTO	40
4.2 CEMENTO PÓRTLAND.....	42
4.2.1 Tipos de Cemento Portland.....	42
4.2.2 Clínker Pórtlnd.....	43
4.3 CEMENTO PÓRTLAND PUZOLÁNICO.....	43
4.3.1 Propiedad Puzolánica.....	44
4.3.2 Puzolana	44
4.3.3 Tipos de Puzolanas.....	44
4.3.3.1 Arcillas y pizarras	44
4.3.3.2 Materiales Opalinos.....	44
4.3.3.3 Tobas volcánicas y pumiual que con lo materiales opalinos, la calcinación puede o no ser necesaria.....	45
4.3.3.4 Subproductos industriales	45
4.4 PROPIEDAD HIDRÁULICA.....	45
4.4.1 Hidratación del Cemento.....	45
4.4.2 Progreso de la hidratación de una partícula de cemento.....	46
4.4.3 Fraguado	47
4.5 ADITIVOS.....	47
4.5.1 Tipos de Aditivos	47

4.6 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.....	48
4.7 MORTEROS.....	48
4.7.1 Morteros Premezclados Húmedos	49
4.7.2 Morteros Premezclados Secos.....	49
4.8 LATERITA NIQUELÍFERA	50
4.8.1 Rocas ultramáficas en Colombia.....	54
4.9 PUMITA.....	55
4.10 DIATOMITA.....	56
4.10.1 Composición.....	56
4.10.2 Usos industriales	58
4.10.3 Geología.....	58
4.10.4 Aspectos económicos	58
5. FASE EXPERIMENTAL	60
5.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO	60
5.1.1 Fase de revisión y análisis bibliográfico	60
5.1.2 Fase de caracterización del material.....	60
5.1.2.1 Materiales utilizados	61
5.1.2.1.1 Cemento:.....	61
5.1.2.1.2 Arena.....	61
5.1.2.1.3 Aditivos.....	62
5.1.2.1.3.2 Pumita	62
5.1.2.1.3.3 Diatomita:	62
5.1.2.1.4 Agua	62
5.1.2.1.5 Acido sulfúrico y sulfato de magnesio	62
5.1.3 Equipos Utilizados.....	63
5.1.3.1 Triturador mecánico y tamizador mecánico.....	63
5.1.3.2 Balanza:	63
5.1.3.3 Mezcladora mecánica	63
5.1.3.4 Moldes de 50mm x 50mm	63
5.1.3.5 Palustre	63
5.1.3.6 Tamices.....	63
5.1.3.7 Probetas de 1000ml y envases	63
5.1.3.8 Compactador de madera.....	63

5.1.3.9 Mufila.....	63
5.2 PROCESOS Y FASES DE LA CARACTERIZACION DE MATERIALES	64
5.2.1 Preparación y Tamizado de los Materiales	65
5.2.2 Pruebas de Laboratorio	65
5.2.2.1 Análisis granulométrico de suelos por tamizado	66
5.2.2.3 Análisis De Materia Orgánica.....	69
5.3 FASE DE PREPARACIÓN DE CUBOS	70
5.3.1 Preparación de la mezcla.....	71
5.3.2 Curados y ataques de las probetas.....	73
5.3.2.1 Ataque de acido sulfúrico.....	74
5.3.2.2 Ataque de sulfato de magnesio.....	76
5.3.2.3 Ataque a altas temperaturas	78
6. FASE DE ENSAYOS DE DESEMPEÑO Y DURABILIDAD DE LOS ADITIVOS	80
7. FASE DE ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	82
7.1 ANÁLISIS QUIMICO DE INFRARROJO Y DIFRACCION DE RAYOS- X.....	82
7.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO	92
7.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS.....	94
7.4 ANÁLISIS DE IMPUREZAS ORGANICAS.....	95
7.5 RESISTENCIA A LA COMPRESION	95
7.5.1 Pumita	97
7.5.2 Laterita Niquelífera	98
7.5.3 Diatomita	100
7.5.4 Patron.....	102
7.5.5 Graficas de comparación de compresión.....	103
7.5.5.1 Mezcla De 6,25 Gramos De Aditivo.....	103
7.5.5.2 Mezcla de 12,49 gramos de aditivo.....	105
7.5.5.3 Mezcla de 24,99 Gramos de Aditivo.....	106
7.6 ATAQUE DE SULFATO DE MAGNESIO.....	107
7.6.1 Pumita	108
7.6.2 Laterita Niquelifera	109
7.6.3 Patrón.....	111
7.6.4 Graficas de comparación de sulfato de magnesio	113
7.6.4.1 Mezclas con adiciones de 6,25 gramos	113

7.6.4.2 Mezcla con adiciones de 12,49 gramos	115
7.6.4.3 Mezclas de adiciones de 24,99 gramos	117
7.7 ATAQUE A ACIDO SULFURICO	118
7.7.1 Laterita niquelífera.....	118
7.7.2 Pumita	120
7.7.3 Patrón.....	122
7.7.4 Graficas de comparación de acido sulfúrico.....	123
7.8.4.1 Mezclas con aditivos de 6,25 gramos	124
7.7.4.2 Mezclas con aditivos de 12,49 gramos.	125
7.8 ATAQUE A ALTAS TEMPERATURAS	128
7.8.1 Laterita niquelífera.....	128
7.8.2 Pumita	129
7.8.3 Patrón.....	131
7.8.4. Graficas de comparación de temperatura	132
7.8.4.1 Mezcla de aditivos de 6,25 gramos	132
7.8.4.2 Mezcla de aditivo de 12,49 gramos.....	134
7.8.4.3 Mezcla de aditivos de 24,99 gramos.....	135
CONCLUSIONES.....	138
RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA	140
ANEXOS	147

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Composición química aproximada de los materiales alternativos empleados en construcción.	41
FIGURA 2. Progreso de la hidratación de una partícula de cemento	46
Figura 3. Perfil típico de una laterita de Hierro y Níquel.....	52
FIGURA 4. Sistema de fallas cauca Romeral con ofiolitas asociadas	54
FIGURA 5. Materiales utilizados. A. Mezcladora mecánica y la balanza requeridas por las normas técnicas Colombianas NTC. B, Moldes utilizados para la elaboración de los morteros, compactador de madera y espátula. C.Tamizador mecánico y tamices. D Y E Trituradoras mecánicas .F.Mufla.....	64
FIGURA 6.Mozaico del análisis granulométrico A. Cantidad de arena necesaria para analizar granulometría. B, C, D. Masa retenida en el matiz de malla N° 30, 40,50.E.Material que paso de la malla N° 100.....	67
FIGURA 7. Procedimiento para determinar el peso específico de cada material. .	68
FIGURA 8.Proceso de preparación de los morteros desde el ensamble de los mismos (figura 8A), hasta la aplicación del ACPM a cada uno de los morteros utilizados (figura8B, C).....	71
FIGURA 9. Materiales y procedimiento utilizado para el relleno de morteros.....	73
FIGURA 10. Curado o fraguado de los Morteros.....	74
FIGURA 11. Proceso para la preparación de la mezcla de acido. A, B. Volumen reales de cubos. C, D, E. Preparación de solución de Acido Sulfúrico. F, G, H. Se sumergen los cubos en la solución después de 24 horas para ser seguidamente tapados (I).....	76
FIGURA 12.Proceso realizado para el ataque de sulfato. A. Cantidad de gramos de sulfato previamente calculados. B. Preparación y disolución de Sulfato y agua. C. Después de disolver la mezcla se agregan los cubos después de 24 horas y seguidamente ser tapados (E).....	78

FIGURA 13. Morteros que fueron llevados al horno con temperaturas de 300°C, 600°C, 1000°C.....	79
FIGURA 14.Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162, modelo PS 25 –M	80
FIGURA 15. Espectro infrarrojo para el aditivo Laterita Niquelífera tomado en disco de KBr.....	82
FIGURA 16. Espectrograma correspondiente al aditivo Laterita Niquelífera. Equipo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con geometría DA VINCI.	83
FIGURA 17. Espectro infrarrojo para el aditivo Pumita tomado en disco de KBr...	85
FIGURA 18. Espectrograma correspondiente al aditivo Pumita. Equipo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con geometría DA VINCI.	86
FIGURA 19. Espectro infrarrojo para el aditivo Ditomita tomado en disco de KBr.	88
FIGURA 20. Espectrograma correspondiente al aditivo Diatomita. Equipo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con geometría DA VINCI.	89
FIGURA 21. Espectro infrarrojo para el Cemento tomado en disco de KBr.....	91
FIGURA 22 .Grafica de análisis granulométrico.	93
FIGURA 23. Ensayos de materia orgánica. A. Laterita B. Diatomita.	95
FIGURA 24.Compresión del cubo MK2L.	96
FIGURA 25. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros de pumita.	97
FIGURA 26.Resistencia de morteros MK16P.Antes y después de la compresión.	98
FIGURA 27. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros de laterita niquelífera.	¡Error! Marcador no definido.
FIGURA 28.Resistencia del mortero MK2L.Antes y después de la compresión del mortero.	100
FIGURA 29. Resistencia a la compresión vs cantidades del material de los morteros de diatomita sometidos a curados de 14 días.....	101
FIGURA 30. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros patrones.....	102

FIGURA 31. A. Bloque (mostrado a lo largo de toda la probeta) y morteros (señalados por las flechas de color rojo).B y C. Resistencia del mortero MK20C.Antes y después de la compresión del mortero MK20C del patrón y con una resistencia de 13,04Mpa	103
FIGURA 32. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita, laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25gr de materiales.	104
FIGURA 33. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 12,49gr de materiales.	105
FIGURA 34. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 24,99gr de materiales.	107
FIGURA 35. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con sulfato de magnesio, con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 gr, 1249gr, 24,99gr de materiales.	108
Figura 36 .Resistencia del mortero MK157PAntes y después de la compresión del mortero MK157P y con una resistencia de 17,88Mpa.	109
FIGURA 37. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con sulfato de magnesio, con aditivo de laterita niquelífera sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 gr, 1249gr, 24,99gr de materiales	110
FIGURA 38. Antes y después de la compresión del mortero MK149L y con una resistencia de 20,04Mpa.....	111
FIGURA 39. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con sulfato de magnesio, patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 gr, 1249gr, 24,99gr de materiales.	112
FIGURA 40. El antes y después de la compresión del mortero MK163C y con una resistencia de 18,52Mpa.....	113

FIGURA 41 .Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25gr de materiales.	114
FIGURA 42.Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 12,49gr de materiales.	116
FIGURA 43.Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 24,99gr de materiales.	117
FIGURA 44. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con ácido sulfúrico, morteros de laterita níquelífera sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 g, 1249g, 24,99g de materiales.	119
FIGURA 45. Proceso realizado para compresión de ataque de ácido. A y B Antes y después de la compactación de mortero MK115L.C y D. Manchas presentadas después del ataque de ácido sulfúrico a los morteros.	120
FIGURA 46. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con ácido sulfúrico, morteros de pumita sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 g, 1249g, 24,99g.	121
FIGURA 47.Mortero.MK106P. Antes y después de la compactación, registró una resistencia de 18,95 MPa.	122
FIGURA 48. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con ácido sulfúrico, patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 g, 1249g, 24,99g.	123
FIGURA 49. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25g de materiales.	124
FIGURA 50.Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 12,49g de materiales.	126

FIGURA 51. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 24,99g de materiales.....	127
FIGURA 52. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros con aditivos laterita sometidas a 28 días curado, con adiciones de 6, 25, 12,49 24,99g de materiales.	129
FIGURA 53. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros con aditivos laterita sometidas a 28 días de curado, con adiciones de 6, 25, 12,49 24,99g de materiales.	130
FIGURA 54. Respuesta a la compresión de los morteros patrones sometidas a 28 días de curado.	131
FIGURA 55. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros patrones y morteros con aditivos sometidas a 28 días de curado.	133
FIGURA 56. Proceso realizados para el ataque de temperatura.	134
FIGURA 57. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros patrones y morteros con aditivos sometidas a 28 días de curado.	135
FIGURA 58. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros patrones y morteros con aditivos sometidas a 28 días de curado.	136

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Analisis físico – mecánico cemento.....	41
Tabla 2. <i>Composicion química del cemento portland.</i>	42
Tabla 3. Tipos de cemento	43
Tabla 4. Granulometría del agregado fino.	48
Tabla 5. Clasificacion de los morteros según sus características mecánicas y físicas.....	50
Tabla 6. Nomas técnicas Colombianas e internacionales con cada descripción...61	
Tabla 7. Tabla de tamices y porcentajes de arena que puede pasar de cada uno para la arena normalizada.	67
Tabla 8. Escala colorimétrica de GARDNER.....	69
Tabla 9. Ensayos y número de probetas realizados con diferentes mezclas	70
Tabla 10. Las cantidades que deben ser mezcladas para formar la bachada para seis (6) y nueve (9) cubos de ensayo	70
Tabla 11. Cantidades requeridas para arena, cemento, pumita, laterita niquelífera y diatomita teniendo en cuenta porcentaje de adición de cada aditivo.	72
Tabla 12. Datos de difracción de rayos X de la laterita niquelífera.....	83
Tabla 13. Datos obtenidos en Infrarrojo para Pumita	86
Tabla 14. Datos de difracción de rayos X de la pumita.	86
Tabla 15. Datos de Infrarrojo de Diatomita.....	88
Tabla 16. Datos de difracción de rayos X de la diatomita.....	90
Tabla 17. Tabla de Porcentaje retenido y porcentaje que pasa.....	92
Tabla 18. Limites inferior y superior del que porcentaje que pasa	93
Tabla 19. Peso específico de la Laterita niquelífera	94
Tabla 20. Peso específico de la pumita.	94
Tabla 21. Peso específico de la diatomita	95
Tabla 22. Datos de resistencia a la compresión de la pumita.....	97
Tabla 23. <i>Datos de resistencia a la compresión de la laterita niquelífera</i>	99

Tabla 24. Datos de resistencia a la compresión de la diatomita.....	100
Tabla 25. <i>Datos de resistencia a la compresión de la muestra patrón</i>	102
Tabla 26. Comparación datos de resistencia de muestras con 6.25 gramos	104
Tabla 27. Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos	105
Tabla 28. Comparación datos de resistencia de muestras con 24.99 gramos	106
Tabla 29. Datos de resistencia a la compresión de los aditivos pumita.....	108
Tabla 30. Datos de resistencia a la compresión de los aditivos laterita niquelífera	110
Tabla 31. Datos de resistencia del patrón.	112
Tabla 32. <i>Comparación datos de resistencia de muestras con 6.5 gramos</i>	114
Tabla 33. Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos	115
Tabla 34. Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos	117
Tabla 35. <i>Datos de resistencia del Laterita niquelífera.....</i>	118
Tabla 36. <i>Datos de resistencia de la pumita.....</i>	121
Tabla 37. <i>Datos de resistencia de patrones</i>	122
Tabla 38. <i>Comparación datos de resistencia de muestras con 6.5 gramos, para todos los materiales utilizados</i>	124
Tabla 39 <i>Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos, para todos los materiales utilizados.</i>	125
Tabla 40. <i>Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos, para todos los materiales utilizados</i>	127
Tabla 41. <i>Datos de resistencia la compresión de laterita niquelífera, sometidas a ataques de temperatura.....</i>	128
Tabla 42. <i>Datos de resistencia la compresión de pumita, sometidos a ataques de temperatura.....</i>	130
Tabla 43. <i>Datos de resistencia la compresión de patrón, sometidos a ataques de temperatura.....</i>	131
Tabla 44. Comparación datos de resistencia la compresión de muestras con 6.5 gramos, 12,49g, 24,99g, sometidos a ataques de temperatura	132

Tabla 45. Comparación datos de resistencia de muestras con 6.5 gramos, 12,49g, 24,99g, sometidos a ataques de temperatura.....134

Tabla 46. Comparación datos de resistencia a la compresión con de muestras con 6.5 gramos, 12,49g, 24,99g, sometidas a ataques de temperatura.....136

LISTA DE ANEXOS

AnexoA.Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera.	147
AnexoB.Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera atacados con acido sulfúrico.	148
Anexo C. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera atacados con sulfato de magnesio.	150
Anexo D. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera atacados con altas temperaturas.....	151
Anexo E. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con pumita.	152
Anexo F. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera atacados con acido sulfúrico	153
Anexo G. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera atacados con sulfato de magnesio	154
Anexo H. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con pumita atacados con altas temperaturas.	155
Anexo I. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con diatomita.	156
Anexo J. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros sin aditivos.....	157
Anexo K. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros sin aditivos atacados con acido sulfúrico.....	158
Anexo L.Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros sin aditivos atacados con sulfato de magnesio.	159
Anexo M.Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros sin aditivos atacados con altas temperaturas.....	160

RESUMEN

TITULO

DETERMINACIÓN DEL CARÁCTER PUZOLÁNICO DE LATERITA NIQUELIFERA, PUMITA, DIATOMITA Y SU EFECTO COMO ADITIVO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I*

AUTORES

RUEDA Gualdrón María Carolina
KAREN Milena Vega Núñez**

PALABRAS CLAVES Aditivo, cemento portland, puzolana, laterita níquelífera, pumita, diatomita, resistencia, mortero, propiedades.

DESCRIPCIÓN

En este trabajo de Investigación se evalúa el comportamiento puzolanico de la Laterita Níquelífera, Pumita y Diatomita del Cerromatoso, Cemex- Boyacá, y Siatoca- Chivata respectivamente, basado en la caracterización química, caracterización de los aditivos según normas establecidas por NTC para agregados finos, ataques químicos como Acido Sulfúrico y Sulfato de Magnesio, ataque a Temperaturas de 300°, 600° y 1000°C y determinación de la resistencia a la compresión de morteros elaborados con adiciones de 2.5%, 5% y 10% como sustituto del Cemento Portland. De esta manera se obtienen resultados para la utilización o no de estos materiales como aditivos al Cemento Portland, demostrando bajo que ambientes estos materiales incrementan o disminuyen su grado de puzolanidad y el modo de funcionamiento de estos aditivos al interior de la mezcla de mortero en el tiempo, demostrando propiedades según su caracterización en análisis previos similares composicional como físico mecánicamente para ser mezclados con el cemento portland de esta manera estos aditivos son evaluados para ser utilizados a la mejora de la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad de los morteros, colaborando igualmente en la disminución energética que tiene el cemento portland mediante la utilización de estos aditivos a mejoras ambientales para ser añadidos al cemento portland. La iniciativa de usar la laterita níquelífera, pumita y diatomita buscan un aporte a la economía nacional buscando sustituir gran parte de estos materiales geológicos en la industria cementera,.

Proyecto de grado

Facultad de ingenierías fisicoquímicas director de proyecto: RIOS reyes Carlos Alberto PhD. geólogo Co-Director de proyecto CRUZ Hernández Ricardo Alfredo profesor escuela de Ing. civil

ABSTRACT

TITLE

CHARACTER DETERMINATION OF POZZOLANIC NICKEL
LATERITE, PUMICE, DIATOMITE AS ADDITIVE, AND ITS EFFECTS ON THE BEHAVIOR OF
PORTLAND CEMENT TYPE I

*

AUTORES

RUEDA Gualdrón María Carolina
KAREN Milena Vega Núñez**

KEYWORDS

Additive, Portland cement, pozzolan, laterite nickel, pumice, silica gel, strength, mortar, properties.

DESCRIPTION

This work evaluated the pozzolanic behavior of Nickel Laterite, Diatomite and Pumice, in Cerromatoso, Cemex-Boyaca, and Siatoca-Chivata respectively, based on the chemical characterization, characterization of the additives according to standards set by NTC to fine aggregate, chemical attacks such as sulfuric acid and magnesium sulfate, attack temperatures of 300 °, 600 ° and 1000 ° C and determining the compressive strength of mortars made with additions of 2.5%, 5% and 10% Portland cement substitute. Thus results are obtained for the use or nonuse of such materials as additives to Portland cement, demonstrating that environments under these materials increase or decrease the degree of pozzolanic and the operation mode of this additive into the mixture of mortar on the time, characterization properties as demonstrated in previous analyzes and physical compositional mechanically similar to be mixed with portland cement. Additives are evaluated to be used to improve the workability, strength and durability of the mortars, also working in the decreased energy having portland cement through the use of these additives to environmental improvements to be added to it. The initiative for using nickel laterite, diatomite and pumice seeks a contribution to the national economy looking to replace many of these geological materials in the cement industry.

Proyecto de grado

Facultad de ingenierías físicoquímicas director de proyecto: RIOS reyes Carlos Alberto PhD. geólogo Co-Director de proyecto CRUZ Hernández Ricardo Alfredo profesor escuela de Ing. civil

INTRODUCCION

El Hombre desde el inicio de las civilizaciones siempre se ha interesado por la construcción de espacios en los que pueda resguardarse de cualquier tipo de peligros utilizando para ello materias primas como el barro, arena ,arcilla ,algunas fibras vegetales e incluso pieles con las que adornaban sus chozas utilizándolas además como puertas y ventanas, de esta forma pudo construir sus primeras edificaciones; millones de años después, los primeros "materiales manufacturados" probablemente hayan sido los ladrillos de barro (adobe), que se remontan hasta el 13.000 a. C (Wender&Handle, 1982) .

Hoy en día el hombre ha perfeccionado no solo la arquitectura de sus construcciones sino también los materiales que utiliza, debido a un constante desarrollo en el que se busca diferentes alternativas tanto económicas como ambientales para disminuir las altas emisiones de CO₂ asociada a la preparación del cemento y mezclas donde se adhieren materiales de naturaleza orgánica hasta geomateriales que pueden ser desde orgánicos hasta geomateriales.

En los últimos 10 años la industria del cemento en Colombia ha presentado comportamientos inesperados. Registrando crecimientos considerables a finales de los noventa, después fluctuando hacia una crisis en 2005, y en adelante un crecimiento persistente hasta hoy (Latorre et al. 1996)

En su forma básica, el concreto es una mezcla de cemento portland, arena, agregado grueso y agua. El principal material cementante en el concreto es el cemento Portland. Hoy en día la mayoría de las mezclas de concreto contienen adiciones al cemento que constituyen una porción del material cementante en el concreto. Estos materiales son generalmente sub productos de otros procesos o materiales de origen natural. Ellos pueden o no ser procesados antes de ser

utilizados en los concretos. Algunos de estos materiales son denominados puzolanas, caolines, arcillas calcinadas, cenizas volantes, escorias, desechos vítreos y lodos (Reyes, 2007).

El principal material cementante (cemento Portland) contiene unos de los aditivos más conocidos Pumita con la cual se ha demostrado que mejora las características al ser mezclada con arena, agua y cemento dando así resultados de alta puzolanidad y resistencia.

Los aditivos pueden ser utilizados para el mejoramiento del desempeño del concreto en su estado fresco y endurecido. Son principalmente utilizados para mejorar la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia. Estos materiales le permiten al productor de concreto diseñar y modificar la mezcla de concreto para satisfacer la aplicación deseada. Las mezclas de concreto con elevados contenidos de cemento portland son susceptibles a la fisuración y a una mayor generación de calor. Estos efectos pueden ser controlados en alguna medida mediante la utilización de adiciones al cemento.

Los materiales cementantes suplementarios tales como las cenizas volantes, las escorias y el humo de sílice le permiten a la industria del concreto utilizar centenares de millones de toneladas de subproductos que de otra forma serían vertidos en el terreno como desechos. Por otro lado su utilización reduce el consumo de cemento portland por unidad de volumen de concreto. El cemento portland tiene un elevado consumo de energía y de emisiones asociadas con su producción, este consumo energético se disminuye cuando se reduce la cantidad de cemento portland utilizada en el concreto.

Es el objetivo de esta tesis analizar el comportamiento del cemento portland al anexar aditivos como laterita níquelífera, pumita y diatomita disminuyendo con ello

la cantidad de cemento portland a utilizar, igualando o mejorando las propiedades de los cementos sin aditivos. Se realizaron pruebas de laboratorio donde los morteros fabricados con dichos aditivos se sometieron a pruebas de resistencia a altas presiones, y altas temperaturas, resistencia al ataque de ácido sulfúrico y sulfato de magnesio y resistencia a la compresión y cambios químicos generando conclusiones aproximadas sobre la mejora en la resistencia y la puzolanidad registrada después de dichas pruebas. Los resultados obtenidos en el ensayo y a partir de la interpretación de los datos arrojados serán indicadores de la mejora en las propiedades al ser mezclados con el cemento Portland tipo I y determinando si estos materiales pueden o no ser utilizados como aditivos al cemento.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los efectos que generan la adición de laterita, pumita y diatomita al cemento Portland tipo I así como el desempeño y durabilidad de morteros.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el uso de laterita, pumita y diatomita como aditivos al cemento Portland tipo I en la preparación de morteros.
- Valorar el desempeño y durabilidad de morteros a base de laterita, pumita y diatomita en condiciones extremas.
- Analizar el comportamiento de laterita, pumita y diatomita como aditivos al cemento en razón a su carácter puzolánico.
- Interpretar el producto del experimento en términos de la calidad del concreto según su desempeño y durabilidad.

2. PROBLEMA

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años la industria cementera de Colombia ha tenido una gran demanda consecuencia del aumento en la construcción de viviendas, obras de infraestructura y la reconstrucción del país, sumadas a las bodegas y centros industriales, generando un buen desempeño en el sector cementero del país (Lopez,2011).

Para la elaboración del cemento se han utilizado materias primas tales como la caliza, escoria y puzolana, yeso y arcilla.

La caliza es una piedra cuya extracción se hace por explotación controlada de minas. Estas rocas son posteriormente molidas hasta llegar al tamaño requerido. Partículas de roca caliza de tamaño de 4.75 mm y forma cúbica las cuales se han obtenido de un proceso de trituración, lavado y cernido de piedra. El módulo de finura está entre 2.70 a 3.00.La forma cúbica del agregado permite un mejor desempeño en las mezclas de concreto y morteros. (Cementos Panama, 2011)

La escoria y puzolana son materiales que constituyen el principal aditivo en el proceso de fabricación, sus cualidades (hidráulicas y conglomerantes) hacen que al mezclarse con el clinker haya una reacción física que ensancha el volumen, lo que aumenta la capacidad de producción de las plantas. (Latorre, et al.2008)

El yeso controla el tiempo de fraguado, esto es un factor importante para la calidad final del cemento. Se extrae de una piedra natural, mediante deshidratación. (Latorre, et al.2008)

La arcilla: Producto natural que proviene de la descomposición de minerales de aluminio. Tiene una participación pequeña en los costos, pero su explotación es importante. Se las denomina arcillas cerámicas, arcillas para la construcción o arcillas comunes, son arcillas compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo).(Romero y Barrios,2011)

En los últimos años se ha venido implementado la propuesta del uso de otros aditivos en la preparación del cemento los cuales son generalmente subproductos de otros procesos o materiales de origen natural en donde el principal fin es aumentar sus propiedades cementantes, ahorro económico y disminución del impacto ambiental.

En general, las adiciones al cemento mejoran la consistencia y la trabajabilidad del concreto fresco, porque se le añade un volumen adicional de finos a la mezcla. Las mezclas de concreto pueden ser dosificadas para producir la resistencia requerida y la velocidad de ganancia de resistencia que sea requerida para la aplicación. (NRMCA, 2011)

La combinación óptima de materiales variará para diferentes requisitos de desempeño y para el tipo de adición. El productor de concreto premezclado, con conocimiento de los materiales disponibles localmente, puede establecer las proporciones de la mezcla para el desempeño requerido. Las restricciones prescriptivas sobre las proporciones de la mezcla pueden inhibir la optimización y la economía. (NRMCA, 2011)

Los materiales utilizados para la preparación de los concretos son materiales geológicos tales como:

* Laterita níquelífera: mineral del depósito laterético de Cerromatoso en Montelíbano (Córdoba).

- * Pumita: de exploración de CEMEX en Paipa (Boyacá). Esta una roca ígnea volcánica , muy porosa, de color blanco.
- * Diatomita: Aditivo de un deposito lagunar, vereda de Siatoca del Municipio de Chivata a la altura Km 7 a la margen derecha de la vía principal que comunica Tunja con Toca.

3. ANTECEDENTES

A continuación se expondrán los antecedentes requeridos para el desarrollo de este trabajo de investigación, entre los que se encuentran los referidos a la Pumita, Diatomita y Laterita y diversas aplicaciones estudiadas en el ámbito internacional y nacional para estos materiales llevándose a cabo resúmenes de los procedimientos experimentales a realizar, cabe mencionar que para la laterita no se han encontrado estudios anteriores.

Según Tobón (2000), en la búsqueda de nuevos materiales para la fabricación de un producto diferente y con menores costos en CEMENTOS EL CAIRO S.A., se propuso la exploración de materiales puzolánicos en las cercanías de su fábrica. Las puzolanas adicionadas en los porcentajes establecidos (20 al 40%) en el cemento no disminuyen la resistencia de los concretos. Las muestras tomadas en los alrededores de Irrá mostraron actividad puzolánica importante y una composición química dentro del promedio para las puzolanas, haciendo a este depósito interesante para la industria del cemento desde el punto de vista geológico y químico. Los niveles de mayor puzolanidad son los arenosos por estar más enriquecidos en pómez, el cual es un material amorfo.

Los estudios de Targan et al. (2003), se centraron en el efecto de la ceniza volcánica como puzolana natural en las propiedades del cemento Portland, remplazándola en un rango de 5% a 30% del cemento, en los resultados se obtuvo que el uso de un 5% de puzolana natural aumentaba la resistencia a la compresión de los especímenes comparados con la muestra de referencia a los 60 días.

De acuerdo a Rodríguez et al. (2005), al analizar las propiedades puzolánicas de algunos minerales, como las diatomitas, que potencialmente pueden reaccionar

con la portlandita contenida en las pastas y morteros de cemento Portland, y también si estas adiciones minerales pueden incrementar la resistencia térmica y la refractariedad de los morteros. En el comportamiento de estos agregados se sigue midiendo como parámetro el comportamiento puzolánico de las diatomitas en las pastas de cemento Portland, y las variaciones de la resistencia mecánica de probetas estandarizadas construidas con y sin agregado de diatomitas.

Del análisis de los resultados experimentales se puede informar que cuando las probetas confeccionadas sin agregado son sometidas a altas temperaturas su resistencia a la compresión disminuye abruptamente a partir de los 350 °C, mientras que las probetas confeccionadas con pastas de cemento Portland y con un 20% de diatomitas calcinadas como agregado exhiben, dentro del rango de temperaturas estudiado, un aumento de la resistencia, que disminuye levemente a temperaturas más altas, pero mantiene una resistencia mayor de que la que poseen las probetas sin agregados que no han sido sometidas a temperatura.

Las investigaciones de tobas pumíticas de Guadalajara realizadas por Vargas et al. (2005), con el fin de ser utilizadas para materiales básicos en la fabricación de conglomerantes hidráulicos que posean características específicas y de bajo costo. La investigación toma en cuenta la mineralogía, petrografía y composición química de los compuestos que se forman durante la reacción Puzolánica, mediante técnicas de microscopía óptica, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido. Los resultados obtenidos demuestran que el tiempo de curado hace que aumente la resistencia a compresión del cemento portland como era de esperarse, a mayor tiempo de curado aumenta la resistencia a compresión de las mezclas que contienen puzolana, al aumentar el grado de molienda de la puzolana se provoca que esta mejore su reacción con la cal hidratada, y por lo tanto, que la resistencia se optimice y cuando interactúan finuras altas y tiempos de curado prolongados, la resistencia de las mezclas de puzolana y cal aumenta.

Según Bonavetti et al. (2006), al analizar la influencia de la incorporación de puzolana natural al cemento Portland (hasta 20%) activada físicamente y/o escoria granulada de alto horno (hasta 35%) sobre la resistencia a flexión y a compresión de morteros. Los resultados indican que los cementos ternarios presentan un mejor comportamiento resistente que los cementos binarios. Las máximas resistencias a compresión en las primeras edades (2 y 7 días) se alcanzan con hasta 13% de puzolana natural y 5% de escoria, mientras que a edades más avanzadas se trasladan a mayores contenidos de puzolana y escoria.

Como lo reportan los ensayos experimentales de Orizola (2006), con tres cementos a los que se les realizó una diferenciación por la cantidad de escoria de cobre agregada en remplazo de cemento Portland, los cuales fueron los siguientes: cemento Portland con 25% de su peso remplazado por escoria de cobre, cemento Portland con 40% de su peso remplazado por escoria de cobre y el último idéntico al anterior, pero con aditivo reductor de agua. A estos cementos se les realizó una serie de ensayos estándar con el fin de estudiar los efectos de las adiciones de escoria de cobre en las propiedades de morteros en estado fresco y endurecido. Se pudo establecer que la resistencia mecánica de los morteros con adición de escoria de cobre disminuye al aumentar el porcentaje de adición. Pero esta resistencia se ve drásticamente aumentada al agregar al cemento experimental un aditivo reductor de agua, abriendo una interesante puerta a la utilización de la escoria de cobre. Cabe notar que el desarrollo de resistencia por aporte de la escoria de cobre es un proceso lento, pudiéndose notar de mejor manera en los resultados a una edad de 60 días.

De acuerdo a Falcone et al. (2006), se realizaron estudios con tres contenidos de álcali total (bajo, moderado y alto). La puzolana utilizada en este trabajo es una ceniza ácida levemente consolidada procedente de Mendoza, Se remplazó parte del cemento Portland normal por puzolana en tres porcentaje de 15, 25 y 35 % en peso de cemento. Con la adición de puzolana, el desarrollo de resistencia a

primeras edades es lento pero se considera que a mayor edad se obtendrá mayor desarrollo de resistencia para las mezcla con adiciones. Esto ya se observa en algunos casos a los 180 días.

En el cemento de bajo álcalis, el incremento de resistencia a compresión a los 5 años respecto a los 28 días es mayor en la mezcla sin adiciones. En el de moderado contenido de álcalis ocurre para el 15 y 35% de remplazo de puzolana y para el de alto álcalis el incremento de resistencia es mayor que el patrón para todo los porcentajes de remplazo por puzolana.

Como lo reportan Gómez et al. (2008) al analizar la variación en la resistencia a la compresión de la pasta de cemento añadiendo a su estado natural que es el cemento tipo I, diferentes porcentajes de Limolita con diferentes días de curado en agua. Se mezcla con un porcentaje de 20% del mineral Limolita para diferentes días de ensayo: 7, 14, 21 y 28 días, que una vez realizada se espera 24 horas para retirarlo del molde e inmediatamente sumergirlos en agua. Mediante análisis estadístico se determinó que el esfuerzo de ruptura más alto se produjo con la adición del 10% de Limolita y a los 21 días de curado en agua con lo cual se pudo determinar que si existe una mejora en la resistencia a la compresión con respecto al 0% de aditivo de Cemento Pórtland tipo I así como también se produjo una variación mucho más significativa con respecto al Cemento Pórtland Tipo IV. Existe una mejora del 8% de la resistencia a la compresión con respecto al 0% de Limolita en el Cemento Pórtland tipo I.

Según Costafedra (2008) tuvo la finalidad de caracterizar las rocas zeolíticas que afloran en el yacimiento San José-Los Escullos y sus alrededores, en la zona de Cabo de Gata, Almería, dentro del complejo volcánico del Sureste de España. Se determinaron las capacidades físicas y mecánicas de estos materiales a través de la elaboración de morteros y ensayos en probetas con diferentes proporciones de cemento-zeolita natural (70-75% cemento de referencia / 25-30% zeolita natural) a

diferentes edades (2, 7, 28 y 90 días). Se ha estudiado también la idoneidad de estos materiales, como adición a los cementos y morteros puzolánicos. Los morteros preparados con adición de zeolita natural, exhiben valores bajos de resistencias iniciales a edades tempranas (2 y 7 días); sin embargo, el cemento de referencia sin adiciones, para este intervalo de tiempo, adquiere resistencias cuyos valores duplican los de los morteros con adición de puzolana, demostrándose que la presencia de zeolita natural produce una evidente ralentización de los mecanismos que rigen la reacción hidráulica, postergando la ganancia de resistencias mecánicas. A los 28 días, las resistencias de los morteros con agregado de zeolita experimentan un incremento significativo que se manifiesta en sentido ascendente incluso a los 90 días de edad, superando en ocasiones las resistencias del cemento de referencia.

De tal manera Bodero&Perugachi (2009), analizaron los efectos que generan la adición de un 5% de zeolita ecuatoriana y el tiempo de curado en las propiedades mecánicas del cemento, específicamente la resistencia a la compresión uniaxial. En la etapa inicial se efectuaron ensayos de resistencia a la compresión uniaxial, de una mezcla cemento – zeolita (5%), a diferentes tiempos de curado al aire. Adicionalmente otros tesisas efectuaron experimentos bajo las mismas condiciones pero con porcentajes de zeolita de 10%, 15% 20% y 25%. Los resultados de este estudio permitieron establecer que no existe una diferencia significativa entre los valores de resistencia a la compresión del cemento sin aditivos y la mezcla cemento – zeolita (5%) a los 28 días de curado. En cambio, para porcentajes de zeolita mayores al 5% el valor de resistencia a la compresión es significativamente mayor para el cemento sin aditivos en todos los días de curado.

De acuerdo con Ospina et al. (2009), al evaluar el efecto de la adición de los diferentes tipos de Ceniza de Cascarilla de Arroz en las propiedades reológicas de pastas de cemento adicionadas con un 10% de remplazo de cemento por CCA.

Las partículas de CCA amorfas incrementan notablemente el valor de las principales constantes reológicas medidas en pastas de cemento, por el contrario las partículas cristalinas afectan de manera menos significativa estas constantes, aproximándose al comportamiento de las pastas sin adición. En este artículo se muestra como al modificar las propiedades morfológicas de dos tipos de CCA con diferente nivel de amorficidad a través de molienda convencional en un molino de bolas y por molienda de alta energía en un molino de atrición, se puede reducir el efecto de la incorporación de CCA en las propiedades reológicas de las pastas adicionadas. Lo anterior, manifiesta la importancia de la transformación por vía mecánica de la superficie de la CCA y viabiliza la posibilidad de utilizar en la industria de la construcción este residuo agroindustrial.

Hermenenejildo et al. (2010), llevaron a cabo la trituración, pulverización y molienda en molino de bolas de la Limolita hasta lograr una fineza del 90 al 94% que pase la malla # 325, se realiza el análisis mineralógico utilizando la técnica de difracción de rayos X en polvos menores que $45\mu\text{m}$, se llevo a cabo la fabricación de cubos de mortero para determinar la cinética de reacción mediante la resistencia mecánica a la compresión a las edades de 1, 3, 7 y 28 días de edad y evaluaron el índice de puzolanidad y establecen si es servible como material aditivo en el cemento, mediante los rangos establecidos. En los ensayos de resistencia a la compresión en diferentes tiempos de curado se obtuvo un promedio de 26.5 MPa a los 7 días y 36.4 MPa a los 28 días, en las especificaciones vigentes para los cementos mezclados, la resistencia a la compresión debe tener un mínimo de 25 MPa a los 28 días indicando que la Limolita es un buen material aditivo para la mezcla de cemento.

Según Tironi et al. (2010), al evaluar la activación térmica de arcillas caoliníticas Argentinas para su utilización como puzolanas, se analizaron 5 arcillas con diferentes contenido de Caolinita y distinto grado de orden/desorden de su estructura, con el fin de determinar si es posible a partir de análisis de

composición mineralógica y estructural en arcillas caoliníticas el potencial de las mismas como puzolanas, dando como resultado a los 28 días, la resistencia a la compresión de morteros con un 30% de remplazo de cemento por arcilla calcinada siendo superior a la del cemento puro, cuando se utilizaron arcillas con un porcentaje de Caolinita superior al 65% y con estructura desordenada. La utilización de arcillas calcinadas como puzolanas en cemento permite mitigar las emisiones de CO₂ a la atmósfera durante el proceso de obtención de los cementos así elaborados.

Como reportan Alujas et al. (2010), los resultados para la evaluación de la reactividad puzolánica de los productos de calcinación de una roca arcillosa cubana, y de su potencial empleado como sustituto parcial del cemento Portland. La fracción arcillosa de la roca, luego de ser separada por sedimentación, es calcinada a temperaturas de 600, 800 y 925 °C. La sedimentación demostró ser una eficaz herramienta para la concentración del componente activo arcilloso de la roca. Las principales fases mineralógicas identificadas son caolinita, montomorillonita e illita. La reactividad puzolánica en sistemas con un 30% de sustitución de CPO es evaluada mediante la determinación del consumo de Ca-(OH)₂ en pastas, utilizando TGA, y por ensayos de resistencia mecánica en morteros. Las fracciones arcillosas calcinadas a temperaturas de 600 y 800 °C muestran una alta actividad puzolánica, tanto en pastas como en morteros. Morteros con un 30% de sustitución de cemento Portland por fracción arcillosa calcinada a 800 °C muestran, a partir de los siete días, resistencias mecánicas comparables a las de la serie control.

De acuerdo a De la Cotera(2010), al indagar el estudio de un manto puzolánico los materiales que provienen generalmente de procesos de transcurso irregular y de masas de composición variable, que son alteradas en la parte expuesta a los agentes atmosféricos o al paso del agua freática. Se han desarrollado diversos métodos para determinar aceleradamente el grado de actividad de una puzolana.

Uno de ellos, usual en Norte América, estudia comparativamente las resistencias mecánicas de morteros con y sin puzolana. Por otra parte, se ha estudiado su velocidad de reacción con la cal; se ha investigado su comportamiento con relación a sus sustancias solubles en ácidos. También se ha determinado el contenido de óxido de calcio en fase líquida de una pasta de cemento y puzolana y comparado con el líquido saturado. El estudio químico de la puzolana no indica gran cosa sobre su comportamiento, requiriéndose conocer su constitución. Al efecto se ha empleado los métodos petrográficos, la difracción por rayos X y el análisis rontgenográfico. Se requiere igualmente, establecer la aptitud para la molienda de las puzolanas, su comportamiento a la calcinación, su exigencia de agua, generación de calor, etc. Finalmente cabe precisar su actitud puzolánica y realizar los diseños adecuados para su unión con el portland.

Finalmente según Pérez (2011), aborda la evaluación de las tobas vítreas y zeolitizadas de los yacimientos Sagua de Tánamo, Guaramanao, Caimanes y San Andrés, basándose en la caracterización química, granulométrica y en la determinación de la resistencia a la flexotracción y a la compresión de morteros elaborados con adiciones de 15 % de material tobáceo como sustituto del cemento portland. Los materiales de mejor comportamiento fueron las tobas de San Andrés y Guaramanao; este resultado puede estar dado por las características granulométricas y químicas de estos materiales al ser finos y con altos contenidos de los óxidos de silicio, aluminio e hierro (SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3) y gran contenido de material amorfo.

4. MARCO TEORICO

4.1 CEMENTO

Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (Norma Técnica Colombiana 31), capaz de cumplir lo establecido con los requisitos físicos y mecánicos del cemento donde la Tabla 1 presenta los ítems establecidos para ello.

Por otra parte en cuanto su composición química, además de los componentes principales (Ca y SiO₂) y de los secundarios (Al₂O₃, FeO y SO₃ Ca, 2H₂O-yeso-) en el cemento hay otras sustancias en pequeña proporción, como son: alcalis, que suelen provenir de las impurezas feldespáticas de las arcillas; MgO, aportado por arcilla o la caliza, y peligroso por encima de cierto límite (legalmente un 5%) por la lentitud con que se hidrata la magnesia calcinada y la dilatación que la acompaña; CaO libre, por exceso en la dosificación, o defecto de cocción o enfriamiento lento de clínker, que también hace expansivo al cemento. Así como lo muestra la figura 1 que presenta los campos de composición química aproximada de los materiales alternativos en un diagrama de composición SiO₂-CaO-Al₂O₃. Otros componentes menores son TiO₂ y P₂O₅, que el análisis da como Al₂O₃; SrO que se da como CaO y MnO, que se valora con el FeO. (Reyes, 2012).

FIGURA 1. Composición química aproximada de los materiales alternativos empleados en construcción.



TABLA 1. Analisis físico – mecánico cemento.

PARAMETRO	VALOR EXPERIMENTAL	ESPECIFICACION (NTC121)
PESO UNITARIO	1,04 gr/cm ³	-----
PESO ESPECIFICO	3	2,9-3,3
SUPERFICIE ESPECIFICA	4500cm ² /gr	2800 cm ² /gr(mínimo)
EXPANCIION	0,40%	0,8%(máximo)
TIEMPO DE FRAGUADO		
INICIAL	110	45 mínimo
FINAL	190	480 máximo
RESISTENCIA A LA COMPRECION		
3d(Mpa)	13,1	Min.7,84
7d(Mpa)	20,1	Min.14,7
28d (Mpa)	27,6	Min.23,5

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 121

4.2 CEMENTO PÓRTLAND

Tomando la definición de la NTC 31 el cemento portland es el producto que se obtiene por la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. La tabla 2 identifica la composición química que debe tener el cemento Portland después de la pulverización del Clinker. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el clínker.

TABLA 2. Composición química del cemento portland.

COMPONENTES PRINCIPALES	COMPONENTES SECUNDARIOS	OTROS COMPONENTES POSIBLES
CaO	MgO	Mn ₂ O ₃
SiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅
Al ₂ O ₃	K ₂ O v Na ₂ O (Álcalis)	TiO ₂

Fuente: Flores, 2004

4.2.1 Tipos de Cemento Portland

Existen varias clases de cemento, sus propiedades y características varían dependiendo del porcentaje de dosificación que se aplique de cada materia prima. La tabla 3 identifica las clases más comunes de cemento Portland en Colombia.

TABLA 3.Tipos de cemento

TIPO	USO
Cemento Pórtland tipo1	Es el destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales.
Cemento Pórtland tipo 2	Es el destinado en general a obras de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos y a obras donde se requiera moderado calor de hidratación.
Cemento Pórtland tipo3	Es el que desarrolla altas resistencias iniciales.
Cemento Pórtland tipo4	Es el que se desarrolla bajo calor de hidratación.
Cemento Pórtland tipo5	Es el que ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.
Cemento Pórtland tipo 6	Es el que se obtiene con materiales debidamente seleccionados que le confieren una coloración blanca.
Cemento Pórtland tipo7	Son aquellos a los que se les adiciona un material incorporador de aire durante la pulverización.

Fuente: CEMEX Colombia.

4.2.2 Clínter Pórtland

Componente del cemento en forma granulada, constituido principalmente por silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio y que se obtiene por la cocción, hasta fusión parcial (clinkerización), de una mezcla convenientemente proporcionada y homogenizada de materiales debidamente seleccionados. (Norma Técnica Colombiana 31).

4.3 CEMENTO PÓRTLAND PUZOLÁNICO

La Norma Técnica Colombiana se refiere al cemento puzolanico como el producto que se obtiene por la pulverización conjunta de clinkerPórtland y puzolana o de una mezcla íntima y uniforme de cemento Pórtland y puzolana finamente pulverizada con adición de una o más formas de sulfato de calcio. El contenido de puzolana debe estar comprendido entre el 25 % y el 50 % en masa de la masa total. (Norma Técnica Colombiana 31).

4.3.1 Propiedad Puzolánica

Aptitud de un material pulverizado de reaccionar químicamente en presencia de agua con hidróxido de calcio a la temperatura ambiente, formando compuestos que poseen propiedades hidráulicas. (Norma Técnica Colombiana 31).

4.3.2 Puzolana

Material silíceo o sílico-aluminoso que posee propiedad puzolánica. Puede ser en estado natural (tierra de diatomeas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, pumitas), de material calcinado (los nombrados anteriormente y algunos como las arcillas y esquistos más comunes) o de material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas volantes). (Norma Técnica Colombiana 31).

4.3.3 Tipos de Puzolanas

En una primera clasificación, las puzolanas se dividen en dos grandes grupos: naturales y artificiales, estos últimos, arcillas, pizarras, etc., calcinadas. Los dos grupos, a su vez, se han clasificado atendiendo a diversos criterios. El Bureau of Reclamation, entidad norteamericana con mayor experiencia en la materia, considera los siguientes tipos:

4.3.3.1 Arcillas y pizarras Este tipo de puzolanas requieren calcinarse para ser activas:

- a) Colinita
- b) Montmorillonita

4.3.3.2 Materiales Opalinos. En estos materiales la calcinación puede o no ser necesaria.

- a) Tierra de diatomeas, semiopalos y pizarras.

4.3.3.3 Tobas volcánicas y pumial que con lo materiales opalinos, la calcinación puede o no ser necesaria.

a) Riolíticos

b) Andesíticos

c) Fenolíticos.

4.3.3.4 Subproductos industriales

Escoria de alto horno.

Ceniza volante.

Humo silíceo.

4.4 PROPIEDAD HIDRÁULICA

Aptitud de un material pulverizado de fraguar y endurecer en presencia de agua y de formar compuestos estables. (Norma Técnica Colombiana 31).

4.4.1 Hidratación del Cemento

Según Bravo & Cornejo (1997), los cementos fraguan y endurecen al ser mezclados con agua, debido a las reacciones químicas que se producen a partir de la interacción de los componentes básicos del cemento con el agua. La hidratación del cemento es una reacción altamente exotérmica.

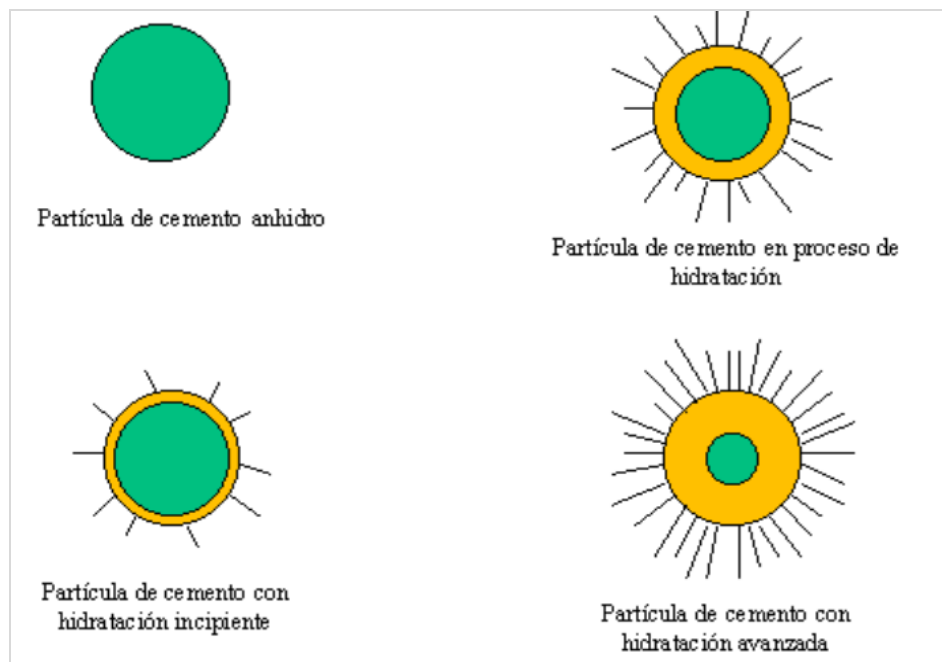
Luego del proceso de sintetización que le da origen, los constituyentes básicos del cemento son: silicato tricálcico C3S, silicato dicálcico C2S, aluminato tricálcico C3A y ferroaluminatotetracálcico C4FA.

Los silicatos son los principales responsables del desarrollo de la resistencia del cemento.

4.4.2 Progreso de la hidratación de una partícula de cemento.

Estos minerales, en contacto con el agua reaccionan dando los siguientes productos hidratados: Los silicatos cálcicos se transforman básicamente en silicatos cálcicos hidratados CSH e hidróxido de calcio CH, el aluminato tricálcico y el ferroaluminatotetracálcico forman Aft (etringita) y Afm (monosulfato) (Bravo & Cornejo, 1997).

FIGURA 2. Progreso de la hidratación de una partícula de cemento



Fuente: Becker, 2011.

En la figura 2 se observa el crecimiento de los cristales silico-calcáreos al ser hidratados, el grado de interrelación entre los productos de hidratación de las partículas del cemento afectan directamente la resistencia de la pasta, es por tal razón que se debe mantener una baja relación agua-cemento, para que dicha relación sea mucho más estrecha, de esta forma también se reduce la porosidad del cemento producido.

4.4.3 Fraguado

El fraguado es el cambio de las características de una pasta de cemento, con el aumento de la consistencia hasta adquirir las propiedades de un sólido. (Terrades, 2008).

4.5 ADITIVOS

De acuerdo con Matallana (2006), para modificar y mejorar las propiedades de las mezclas de cemento se han ensayado incluir dentro de la mismas materiales diferentes a los normales en la composición del cemento tradicional, estos materiales son conocidos como aditivos los resultados de estos ensayos demuestran que los aditivos permiten la producción de mezclas con características diferentes tales como resistencia, manejabilidad, fraguado, durabilidad, etc. (Aditivos para concreto de 2009)

4.5.1 Tipos de Aditivos

La Normativa Técnica Colombia No.1299 modificada en el año 2008, establece una clasificación para los aditivos de la forma siguiente:

- ✓ Aditivo acelerante: Un aditivo que acelera el fraguado y el desarrollo de resistencia temprana del concreto.
- ✓ Aditivo retardante: Un aditivo que retarda el fraguado del concreto.
- ✓ Aditivo reductor de agua. Un aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir concreto de una consistencia dada.
- ✓ Aditivo reductor de agua de alto rango. Un aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada en un 12 % o más.
- ✓ Aditivo reductor de agua y acelerarante. Un aditivo que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada y acelera el fraguado y el desarrollo de resistencia temprana del concreto.

4.6 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

Según lo establecido por la ASTM el agregado fino es aquel que pasa por la malla 3/8 y es retenido en el tamiz No. 200, indicando que el tamaño de partículas puede alcanzar hasta 10 mm de diámetro.

El método de granulometría del agregado fino consiste en la determinación del tamaño de las partículas por medio de una serie de tamices donde el material es separado en grupos según el material retenido en cada tamiz. La tabla 4 presenta la granulometría de agregados finos en los siguientes requisitos:

TABLA 4.Granulometría del agregado fino.

TAMIZ	PORCENTAJE DE MASA QUE PASA
4,75 mm (No. 4)	100
1,18 mm (No.16)	65 -75
300 µm (No. 50)	12 – 20
150 µm (No.100)	2 – 5

Fuente: Norma Técnica Colombiana1299

4.7 MORTEROS

Según Salamanca (2001), el mortero, en su definición más general es toda mezcla de [cemento + arena + agua]. Él puede tener función estructural, o no tenerla. Los pañetes, por ejemplo, no poseen función estructural; los morteros usados en mampostería (pega o relleno), o los usados para fundir elementos estructurales, sí poseen tal función.

Dentro de los usos más fundamentales de los morteros son los referidos a la mampostería, Salamanca (2001), propone la clasificación a continuación:

4.7.1 Morteros Premezclados Húmedos

Son los morteros constituidos por materiales cementantes, agregados, agua y eventualmente aditivos, los cuales son proporcionados y mezclados en planta. Puede tratarse de morteros convencionales o morteros de larga vida que permiten su almacenamiento en estado fresco hasta 48 horas, de forma que su proceso de fraguado sólo se inicia una vez entra en contacto con las unidades de mampostería.

4.7.2 Morteros Premezclados Secos

Son los morteros constituidos por materiales cementantes, agregados secos y aditivos en polvo, los cuales son proporcionados y mezclados en planta. El proceso de mezclado del mortero seco debe concluirse en el sitio de la obra, con la adición controlada de agua, siguiendo recomendaciones del fabricante.

En cada país la clasificación de los morteros obedece a propiedades específicas de resistencia a la compresión. En Colombia según la Tabla 5 la Normativa Técnica Colombiana (NTC) propone una clasificación de los morteros según sus propiedades fisicomecánicas.

Según Barluenga (2008) los factores que condicionan las características de los morteros son:

Porosidad: El agua que no se alcanza a combinar se evapora y al salir deja una huella porosa, esto condiciona la densidad, absorción, permeabilidad y por ende la resistencia del mortero.

Tipo de conglomerante: Si los conglomerantes no son los indicados afectan la adherencia, capacidad de absorción, la porosidad, rigidez y resistencia mecánica de los morteros.

Tipo de ambiente: Condiciona la durabilidad de los morteros ya que son afectados por ataque de cloruros, sulfatos y los procesos de carbonatación.

La Normativa Técnica Colombiana (NTC) propone una clasificación de los morteros según sus propiedades fisicomecánicas (Tabla 5).

TABLA 5. Clasificación de los morteros según sus características mecánicas y físicas.

TIPO DE MORTERO	RESISTENCIA A LA COMPRESION MPa	RETENCIÓN MINIMA DE AGUA %
M	17,5	75
S	12,5	75
N	7,5	75

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC1299.

Con las explicaciones anteriores y enfocándonos en realizar una breve descripción de los aditivos geológicos utilizados en esta tesis, se describe lo siguiente:

4.8 LATERITA NIQUELÍFERA

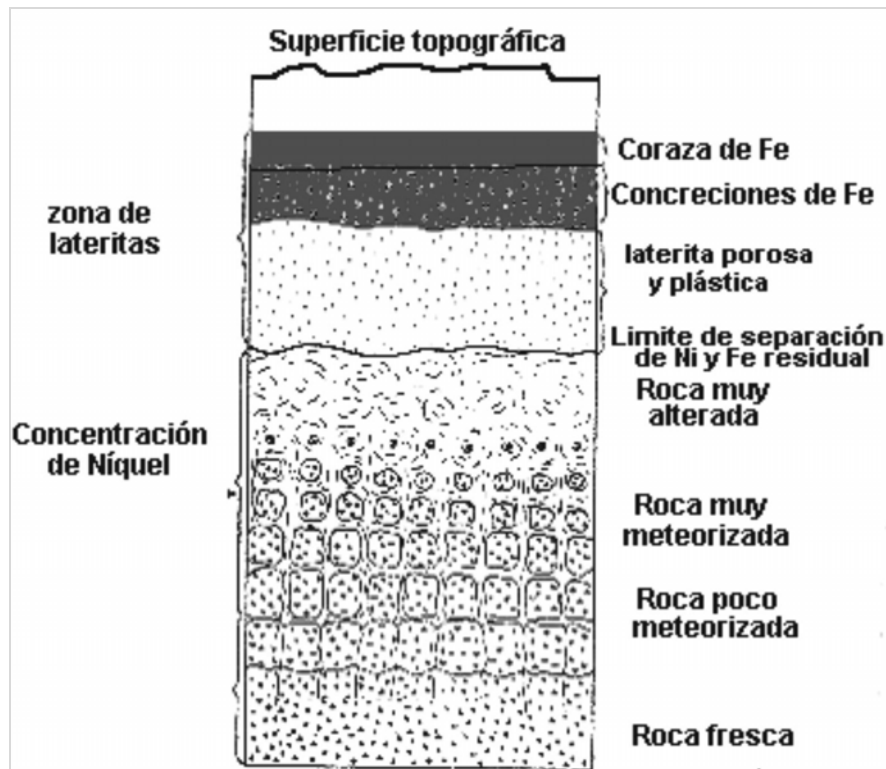
Las lateritas, se forman en zonas de relieve horizontal sobre rocas ricas en hierro, especialmente de rocas ígneas básicas o ultrabásicas, ricas en minerales ferromagnesianos como el olivino o el piroxeno. La hidrólisis de estos minerales, a través de serpentina y clorita principalmente, forma como productos finales óxidos/hidróxidos de hierro, sílice, y sales solubles de Mg y Ca (procedentes del clinopiroxeno). Algunos de los componentes minoritarios de estos minerales (Ni, Cr, Co) pueden también concentrarse en la laterita, aumentando sus posibilidades mineras. (Vargas, 2008)

Los yacimientos residuales relacionados con procesos exógenos, son mineralizaciones, que no han sufrido transporte, como las lateritas o bauxitas, es decir, son el resultado de una meteorización. Se produce una acumulación de minerales por separación gravitacional, pero sin transporte. Las condiciones necesarias para su formación son:

- ✓ La roca o los yacimientos subeconómicos que se alteran, deben tener concentraciones de los elementos (Ni, Fe) suficiente para ser considerado un yacimiento.
- ✓ Las Lateritas se forman en un clima que favorezca la alteración química, condiciones que se dan muy bien en zonas tropicales.
- ✓ Deben existir unas condiciones morfológicas adecuadas, el relieve no debe superar los 3.000 msnm por degradación fluvio-glacial.
- ✓ Son necesarios períodos de estabilidad cortical, que permitan las acumulaciones suficientes.

La laterización está caracterizada por los siguientes procesos (Figura3)

Figura 3. Perfil típico de una laterita de Hierro y Níquel.



Fuente: Vargas, 2008.

Presencia de rocas ultramáficas, sometidas a cambios bruscos de temperatura y la circulación subterránea de las aguas por infiltración que alteran gradual y hierro anhidros. En esta etapa de alteración, la peridotita conserva su estructura primitiva.

- El aumento de la porosidad y la permeabilidad de la peridotita, facilita la penetración y circulación de las aguas con reacciones geoquímicas. La peridotita alterada presenta texturas progresivamente más terrosas hacia la superficie. Las aguas superficiales que se infiltran, probablemente ácidas, atraviesan la laterita porosa y se mantienen durante algún tiempo en la porción inferior plástica de esta zona, poniendo a los minerales que se encuentran en la peridotita alterada

en soluciones que pueden precipitarse al descender constituyendo entonces las concentraciones explotables de níquel, o que también pueden ser arrastrados en solución.

- Después del eventual relleno de los espacios disponibles (poros y cavidades) las soluciones níquelíferas circularían a modo de aguas subterráneas sobre la superficie impermeable de la peridotita serpentizada situada a cierta profundidad deslizándose entre los bloques de peridotita y ciertas zonas serpentinosas impermeables. El níquel se concentraría únicamente al hallar las condiciones favorables para su precipitación en este proceso y a cierta profundidad, ya que estos precipitados no son estables ni insolubles sino al estar protegidos por una capa o recubrimiento laterítico

- El níquel se encuentra difuso en la masa peridotítica alterada. Esto sólo se evidencia en los análisis químicos; no es explotable, pero la mineralización contribuye a la concentración posterior

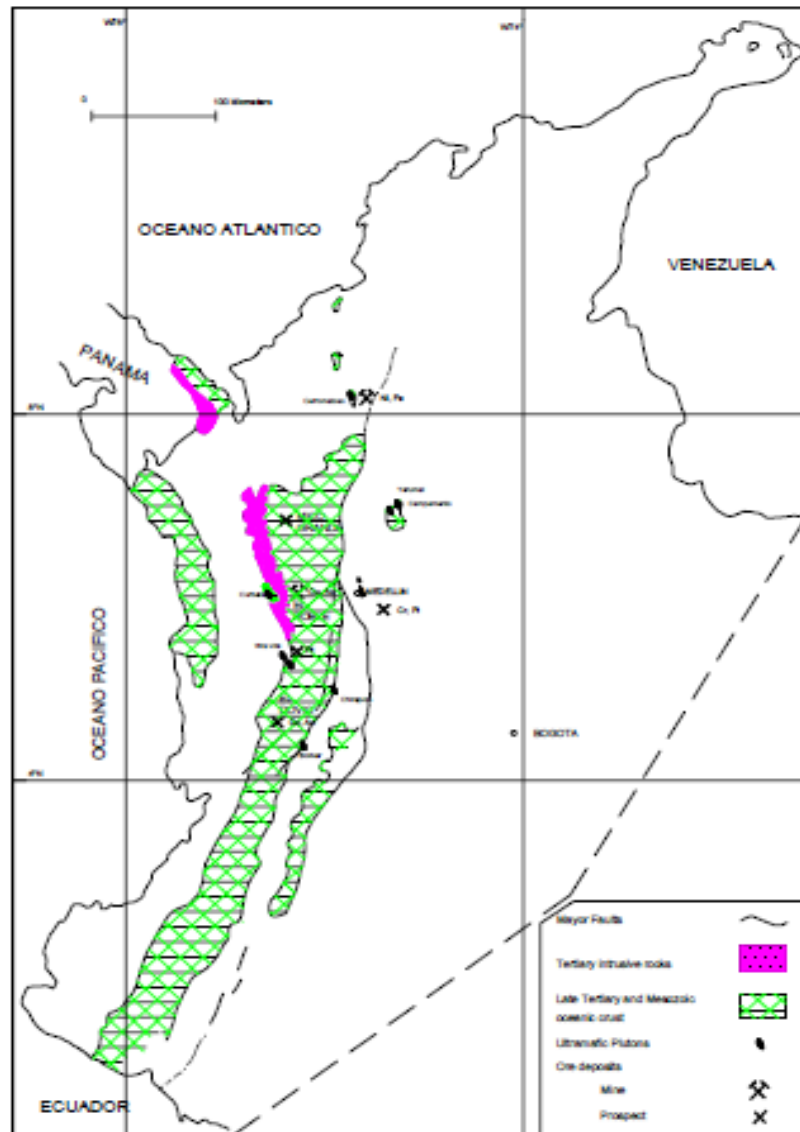
- Enriquecimiento en níquel, hierro y cobalto. El límite que separa las zonas enriquecidas en níquel de las enriquecidas en hierro generalmente es pronunciado y se manifiesta en un cambio de color que se convierte en marrón oscuro al pasar de la peridotita terrosa mineralizada a la laterita. Este límite níquelífero avanza progresivamente en sentido descendente a medida que se incorporan el magnesio simultáneamente el espesor de la laterita residual ferruginosa aumenta gradualmente. Este desplazamiento progresivo hacia la base del límite níquelhierro se denomina "descenso" de la laterita.

Según la USGS Mineral Deposit Models, por Donald A. Singer, el modelo geológico definido a este tipo de yacimientos minerales, corresponde al Tipo Superficial relacionado a inconformidades,

4.8.1 Rocas ultramáficas en Colombia

Las rocas ultramáficas en Colombia (Figura 4) se localizan en el occidente colombiano principalmente en la zona de sutura formada entre la Placa Pacífica y la Placa Suramericana denominada como Cauca Romeral, en la Península de la Guajira y en la Serranía del Baudó en el Pacífico colombiano.

FIGURA 4. Sistema de fallas Cauca Romeral con ofiolitas asociadas



.Fuente: Ortiz, 2004.

4.9 PUMITA

La pumita o piedra pómez es una roca magmática efusiva. Su componente principal es vidrio volcánico, y sus componentes secundarios son hornblenda y Piroxeno. Es de color blanco a gris claro y tiene numerosas cavidades, es muy ligera pudiendo flotar en el agua. Se origina a partir de proyecciones volcánicas muy ricas en gases, encontrándose en capas producidas por lavas ricas en ácido silícico.

Las rocas magmáticas son las que se han formado a partir de un mineral petrogénico en estado de fusión (magma). Si el material magmático se ha consolidado en la superficie o muy cerca de ella, reciben el nombre de rocas efusivas, volcánicas o eruptivas.

Existen fundamentalmente dos mecanismos que dan lugar a la formación de piroclastos:

a) Mecanismo magmático, por el que se produce una nudación vesicular, y crecimiento del magma al escapar violentamente los gases arrastrando porciones del fundido.

b) Mecanismo hidrovulcánico, que se produce durante el contacto del fundido con agua externa (marina, lacustre, fluvial o subterránea) en la superficie terrestre o cerca de ella.

Las rocas magmáticas pueden presentar aspectos muy diversos. Las rocas efusivas, se caracterizan por su masa fundamentalmente de grano fino que puede contener gran cantidad de sustancia vítrea. Así, el aspecto de estas rocas se debe a que se han consolidado con gran rapidez en la superficie terrestre, de modo que los minerales no han dispuesto de tiempo suficiente para la creación de grandes

cristales. La estructura es típica de una roca efusiva. Las cavidades redondeadas, ocupadas al principio por gases en la roca aun viscosa, han quedado recubiertos con formaciones minerales más recientes, generalmente de tipo zeolítico. (Larraz, 1998)

4.10 DIATOMITA

Las diatomeas son algas pardas unicelulares que reportan una valiosa ayuda en diferentes procesos industriales.

Las tierras de diatomeas diatomita constituyen un recurso mineral biogénico. La creciente importancia económica que este recurso ha adquirido, la complejidad del mineral y su amplio espectro de aplicaciones abren interesantes posibilidades para el desarrollo de técnicas de análisis y geología especializada. (Ballet, 1985)

Importantes depósitos de tierra diatomácea en Colombia se encuentran en el valle del Cauca, Zarzal y Obando principalmente (Sandoval, 1953), y no están siendo explotados adecuadamente lo que ocasiona que la tierra natural tenga aplicaciones muy limitadas por sus características que no permiten cumplir las mínimas especificaciones industriales para su uso (Zapata,1977).

4.10.1 Composición

En su aspecto físico, las tierras de diatomeas o diatomita se presentan como rocas silíceas sedimentarias, de color blanco. A no ser por el bajo peso específico de este mineral -del orden de 0.4 en roca-, los afloramientos naturales de diatomitas pueden confundirse con ocurrencia de caolines, dolomita o yeso. Visto el mineral al microscopio, sin embargo, su carácter único queda de manifiesto.

La diatomita está constituida por restos fosilizados de plantas unicelulares acuáticas relacionadas con las algas, las diatomeas. Estos organismos prosperan

comúnmente en medios lacustres o marinos de aguas poco profundas alrededor de los 40 metros-, con contenido relativamente abundante de sílice soluble y boro. La presencia de diatomeas es visible incluso en lagunas de aguas quietas, en la forma de una nata iridiscente en la superficie, o una película gelatinosa de color café en las rocas y vegetación acuáticas.

Los depósitos actuales de diatomita, sin embargo, se originaron hace unos cincuenta millones de años, durante el período terciario, y generalmente están asociados a presencia significativa de cenizas volcánicas. Durante el lapso indicado se mantuvieron, en formaciones lacustres, condiciones excepcionalmente aptas para la multiplicación de las diatomeas, las que al morir se fueron depositando sobre el fondo a manera de una persistente llovizna, perdurando sus esqueletos o frústulas hasta hoy.

Como mineral, la diatomita está constituida esencialmente por sílice diatomácea. Este apelativo circular se explica por las características de la sílice biogénica, que no son comunes a otras formas de sílice natural. En la diatomea, la sílice se encuentra en estado amorfo, hidratada, con un cierto grado de cristalinización (en forma de alfa y beta cristobalita). La dureza del mineral oscila entre 4 y 5 en la escala de Mohs, no siendo simple la determinación de este valor debido a la fragilidad del fósil silíceo de la diatomea.

Las impurezas constitutivas de la sílice diatomácea, esencialmente alúmina y hierro, así como los detritos sedimentarios que acompañan al mineral por su origen como deposición, distinguen aún más a la sílice biogénica de otras ocurrencias de minerales de sílice. Normalmente, un depósito de tierras de diatomeas de alta pureza contiene entre un 86% a un 92% de dióxido de silicio (SiO_2). Depósitos como los que existen en la provincia de Arica, asociados a la "Formación Lluta", con contenidos de SiO_2 de hasta un 96%, son considerados como excepcionalmente puros. (Ballet, 1985)

4.10.2 Usos industriales

La diatomita es utilizada como material abrasivo, filtrante, soporte inerte de explosivos y en las industrias del caucho, papel y cartón, pegantes, pinturas, detergentes y abrasivos, cosmética, como absorbente, material refractario, aislante de calderas y tubos. Además, las tierras diatomáceas pueden ser utilizadas como puzolana en la fabricación del cemento, en aplicaciones en la agricultura y en la elaboración de ladrillos (Taylor, 1978).

Por ser químicamente inertes y exhibir una gran área superficial por unidad de masa, las tierras de diatomeas son excelentes portadores y dispersantes de productos químicos. En agua, la diatomita es capaz de absorber hasta 2,5 veces su peso. De este modo, líquidos de transporte riesgoso, como los ácidos sulfúrico o fosfórico, pueden ser convertidos en un polvo de porteo considerablemente más seguro. Uno de los primeros usos, para este efecto, fue el de portador de la explosiva nitroglicerina.

4.10.3 Geología

Las diatomeas son algas muy comunes tanto en los cursos de aguas como en los ambientes límnicos y marinos actuales. Se conocen desde la Edad Jurásica (150 a 200 millones de años atrás). Una importancia económica, sin embargo, tienen sólo aquellos yacimientos de épocas geológicamente modernas, vale decir desde el terciario (50 millones de años atrás) hasta el Holoceno (actual). La mayoría de las especies existentes en el período terciario han perdurado hasta la actualidad. Este es un clásico caso del principio de actualismo en el cual se funda la geología.

4.10.4 Aspectos económicos

A escala mundial, la industria de las tierras de diatomeas procesa aproximadamente un millón de toneladas por año. El alto costo de transporte agravado por la baja densidad del mineral procesado -5 metros cúbicos por tonelada- ha incentivado la descentralización productiva. Países tradicionalmente

importadores como Australia, Sudáfrica y Brasil han desarrollado o están en vías de establecer instalaciones locales para explotar y procesar tierras de diatomeas.

El costo de una planta de capacidad intermedia -50.000 toneladas por año- se ha estimado en US\$ 8.000.000. Debido a que la tecnología de proceso no es estándar y está íntimamente ligada a las características de los depósitos minerales, una fracción considerable de la inversión debe dirigirse hacia prospecciones altamente especializadas, adaptación y desarrollo de técnicas de proceso adecuadas a la materia prima local. (Ballet, 1985)

5. FASE EXPERIMENTAL

5.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos propuestos en este proyecto se necesitaron las siguientes etapas o metodología de trabajo.

5.1.1 Fase de revisión y análisis bibliográfico

Esta fase se basó en la revisión de archivos bibliográficos la cual se realizó preliminarmente al proceso de desarrollo y elaboración del proyecto. Entre la bibliografía y documentos revisados en este proyecto, están la base de datos de red sciedirect, material bibliográfico recopilado en la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander y la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, además de libros y proyectos de grado, revistas especializadas y material certificado circulado en internet, proporcionando información valiosa acerca del contexto no solo geológico, sino también, información acerca de los materiales utilizados para la preparación de los morteros elaborados, los métodos de preparación de los morteros y la información precisa para los ensayos técnicos para determinar la resistencia y durabilidad de cada uno de estos morteros.

5.1.2 Fase de caracterización del material

Para esta fase se prosiguió a practicar trituración a los materiales (laterita niquelífera, pumita y diatomita), hasta total pulverización, tamizando estos con la malla 120, para así poder empezar la caracterización de estos en los laboratorios de las escuelas de Geología, Ingeniería Civil y escuela de Química, teniendo en cuenta normas técnicas colombianas y normas I.N.V.E. A continuación se presenta la Tabla 6 con las respectivas normas que se utilizaron durante el proceso de la investigación y otras que se tuvieron en cuenta, pero que no son precisamente hechas para este tipo de morteros.

Tabla 6. *Nomas técnicas Colombianas e internacionales con cada descripción*

NORMA TECNICA COLOMBIANA	DESCRIPCION	NORMA INTERNACIONAL
NTC 32	Tejido de alambre y tamices para propósitos de ensayo	ASTM E11
NTC 220	Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado	ASTM C 109M-2002
NTC 126	Ingeniería civil y arquitectura. método de ensayo para determinar la solidez (sanidad) de agregados para el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio	ASTM C88-90
NTC 127	Concretos. método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto	ASTM C 40
I.N.V.E.123 - 07	Análisis granulométrico de suelos por tamizado	
I.N.V.E. 323 -07	Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico.	
I.N.V.E. 222	Peso específico y absorción de agregados finos.	

Fuente: Modificado de NTC

5.1.2.1 Materiales utilizados

5.1.2.1.1 Cemento:.. Cemento Portland tipo I, resultante molienda de clínker, yeso y adicionales. Este producto está amparado por el sello de conformidad con norma Incontec con NTC 121/321 para cementos tipo I.

5.1.2.1.2 Arena. Arena de Ottawa de Estados Unidos, Illinois. Arena silica aprobada internacionalmente, suministrada por la Universidad Industrial de Santander.

5.1.2.1.3 Aditivos .Estos aditivos se incrementan en diferentes proporciones para evaluar la resistencia y carácter cementante al realizar los morteros compuestos por la arena de Ottawa y cemento Boyacá.

Los aditivos utilizados en este proceso son:

5.1.2.1.3.1 Laterita niquelífera: Este aditivo fue suministrado por la escuela de Ingeniería de Metalurgia de la Universidad Industrial de Santander la cual tiene muestras de laterita niquelífera del Cerro Matoso que se encuentra al sur del departamento de Córdoba, a unos 22 kilómetros por carretera al sur –oeste de municipio de Montelibano.

5.1.2.1.3.2 Pumita: Este aditivo de depósitos de rocas piroclásticas, suministrado por la cantera de explotación de CEMEX, alrededores del Volcán de Paipa (Boyacá).

5.1.2.1.3.3 Diatomita: Aditivo de un depósito lagunar, vereda de Siatoca del Municipio de Chivata sobre el Km 7 al margen derecha de la vía principal que comunica Tunja con Toca.

5.1.2.1.4 Agua. El agua debe estar limpia y libre de aceites, ácidos, álcalis, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser perjudiciales al mortero. (Norma Técnica Colombiana 3356)

5.1.2.1.5 Acido sulfúrico y sulfato de magnesio. Son materiales químicos el ácido sulfúrico es un compuesto químico muy corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . El sulfato de magnesio o sulfato magnésico o sal inglesa, es un compuesto químico que contiene magnesio, y cuya fórmula es $Mg SO_4$.

5.1.3 Equipos Utilizados

5.1.3.1 Triturador mecánico y tamizador mecánico: Maquinaria utilizada para la trituración de marca RETSCH y molinos de bolas de marca Reoland y tamizado de los materiales con marca y serie RO-TAP Testing Sieve Shaker, serial No. 21707

5.1.3.2 Balanza: Esta máquina debe cumplir con la NTC 112.. (NTC 220, 2004)

5.1.3.3 Mezcladora mecánica: La maquina mezcladora debe cumplir con la NTC 112. (NTC 220, 2004)

5.1.3.4 Moldes de 50mm x 50mm: Los moldes para las probetas cubicas de 50 mm o 58 mm deben tener más de tres compartimentos y deben ser separables en no más de dos partes sin incluir la base. Estos deben estar dotados de dispositivos que aseguren una perfecta y rígida unión. Deben ser fabricados de metal duro no atacable por las mezclas de cemento, con dureza Rockwel no menor de 55 HRB. Las caras inferiores de los moldes deben ser planas. (Figura 5B) (NTC 220 2004)

5.1.3.5 Palustre: La hoja de palustre debe ser de acero, con una longitud de 100mm a 150 mm y los bordes deben ser rectos. (NTC 220 2004)

5.1.3.6 Tamices: Estos tamices deben cumplir con la Norma Técnica Colombiana 32.

5.1.3.7 Probetas de 1000ml y envases: Probetas plásticas de 1000ml y envases de vidrio de 2000ml

5.1.3.8 Compactador de madera: Esta compactadora es simplemente es un listón de madera de 10 cm de largo con 2 cm de ancho.

5.1.3.9 Mufla

FIGURA 5. Materiales utilizados. **A.** Mezcladora mecánica y la balanza requeridas por las normas técnicas Colombianas NTC. **B,** Moldes utilizados para la elaboración de los morteros, compactador de madera y espátula. **C.** Tamizador mecánico y tamices. **D Y E** Trituradoras mecánicas. **F.** Mufla.



5.2 PROCESOS Y FASES DE LA CARACTERIZACION DE MATERIALES

En esta parte del trabajo se va a describir y caracterizar cada uno de los pasos realizados para llegar a las conclusiones hechas al final de este mismo, donde se explicara como fue el proceso al utilizar cada uno de los materiales y equipos descritos anteriormente.

5.2.1 Preparación y Tamizado de los Materiales

La preparación de los materiales está basada prácticamente en la pulverización y tamizado de estos. En esta fase se tamizó la pumita de la cantera de explotación de CEMEX, alrededores del Volcán de Paipa (Boyacá) suministrada por el director del proyecto; laterita niquelífera, del Cerro Matoso, suministrada por la escuela de Ingeniería de Metalurgia de la Universidad Industrial de Santander y la diatomita de la vereda de Siatoca del Municipio de Chivata a la altura Km 7 a la margen derecha de la vía principal que comunica Tunja con Toca, suministrada por el director del proyecto.

El primer paso que se llevo a cabo fue pulverizar debidamente la pumita, laterita niquelífera y la diatomita, esto se realizó con la máquina trituradora de placas, marca RETSCH la cual se puede observar en la figura 5D y para obtener un material un poco más homogéneo y pulverizado se utilizó la máquina trituradora Ángel de marca Reuland fotografía que se encuentra en la figura 5E; seguido a esto se tamizaron todos los materiales o aditivos, depositando cada uno de estos en una fila de tamices ordenándolos de arriba hacia abajo : Tamiz de malla N° 4, malla N° 8, malla N° 16, malla N° 50, malla N° 100, malla N° 120.

Teniendo en cuenta que el material precipitado en la malla No 120 (125µm) fue el que se utilizó como aditivo a los morteros, el tratamiento que se le aplicó a la arena sílica de Ottawa fue solo de tamizado para eliminar algo de impurezas ya que estas arenas vienen prácticamente lista para este tipo de usos.

5.2.2 Pruebas de Laboratorio

En esta fase se busca no solo identificar propiedades físicas y químicas de los materiales por medio de diferentes pruebas de laboratorio sino también cumplir con las normas técnicas colombianas que describen estos procesos.

Las pruebas de laboratorio son:

- Infrarrojo.
- Difracción de rayos X.
- Análisis granulométrico.
- Peso específico.
- Cantidad de materia orgánica.
- Resistencia a la compresión.

5.2.2.1 Análisis granulométrico de suelos por tamizado. Este análisis se realiza con la norma I.N.V.E 123 - 07. Se utilizan los siguientes tamices: Malla 16, Malla 20, Malla 30, Malla 40, Malla 50, Malla 100= 150 μm . (figura 6.)

Al tener organizados correctamente estos tamices se deposita 1000g (figura 6) de arena en el primer tamiz de malla No16, desde ese momento y durante un (1) minuto se debe agitar manualmente de arriba abajo o de izquierda a derecha, de tal forma que no se tenga ningún tipo de contacto con el material, después de pasado el minuto se puede determinar si realmente el proceso se termino y fue bien efectuado ya que después de este tiempo no pasa más del 1% de la masa retenida, seguidamente se debe pesar el material que pasa esta primera malla que según la tabla 7 debe ser del 100 %, siempre siguiendo como guía la norma I.N.V.E 323-07 (Tabla 7). De esta forma se sigue haciendo el mismo proceso con los tamices consecutivos , pero teniendo en cuenta que el porcentaje que pase de cada malla va disminuyendo debido a que ya que solo se tiene en cuenta el material que pasa del tamiz , el que se queda en el tamiz no se tiene en cuenta para pesar(figura 6).

FIGURA 6. Mozaico del análisis granulométrico **A.** Cantidad de arena necesaria para analizar granulometría. **B, C, D.** Masa retenida en el matiz de malla N° 30, 40,50. **E.** Material que paso de la malla N° 100.



TABLA 7 Tabla de tamices y porcentajes de arena que puede pasar de cada uno para la arena normalizada.

Tamices	Alternativo	% que pasa
118 μm	(No.16)	100
600 μm	(No.30)	96-100
425 μm	(No.40)	65-75
300 μm	(No.50)	20-30
150 μm	(No.100)	0 - 4

Fuente: I.N.V.E 323 -07 Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico.

5.2.2.2 Peso Específico. Se tomaron 300 gr de cada aditivo y se depositaron en frascos diferentes llenándolos con agua hasta superar el límite del aditivo o de cemento, según el caso, lo cual quiere decir, doblando en agua al material, tapándolo durante 24 horas. Seguido de esto, se deja secar en una plancha y frente a un ventilador hasta que esté totalmente seco el cemento, la pumita, laterita niquelífera y la diatomita, para después triturar como se muestra en la figura 7 A,B,C,D, repitiendo este proceso con cada uno de los aditivos y el cemento, después de estar totalmente molido se pesa y se saca 50 gr de el material pulverizado y se deposita en el en un balón aforado al cual se le agrega agua destilada hasta el límite del frasco sin dejar burbujas y agitando hasta tener una mezcla homogénea. Enseguida se pesa esta mezcla, para luego llevar esta mezcla al horno durante medio día a una temperatura de 250°C figura 7 E, F

FIGURA 7. Procedimiento para determinar el peso específico de cada material.



A. Primer pasó. Depositar los materiales en tarros separados con agua durante 24 horas. **B Y C.** Poner en secado cada material. **D.** Triturar **E.** Deposición del material triturado y pesado en el balón aforado con agua destilada. **F.** Muestras en el horno.

5.2.2.3 Análisis De Materia Orgánica. Se toman 100 g de cada aditivo y de cemento y se deposita en tarros de vidrio de 350 ml (Figura 8), a esto se le agrega hidróxido de sodio (NaOH) como se observa en la figura 8, se tapa la botella y se agita hasta quedar el material totalmente disuelto con el hidróxido de sodio, dejando durante 24 horas en reposo. Pasado el tiempo se observa el color tomado por cada material con la sustancia que se le agrego para comparar el color con el estándar de colores, con el fin de clasificar el grado de materia orgánica el cual presenta la muestra (tabla 8)

TABLA 8. Escala colorimétrica de GARDNER

Color Gardner estándar No.	Placa orgánica No.
5	1
8	2
11	3 (estándar)
14	4
16	5

Fuente: Norma Técnica Colombiana 127

FIGURA 8. Procedimiento para obtener la cantidad de materia orgánica de la laterita niquelífera.



5.3 FASE DE PREPARACIÓN DE CUBOS

Para la preparación de las probetas, primero se armaron y se ajustaron los moldes, luego se les fijó ACPM; como se muestra en la figura 9 y se comenzó la preparación de la mezcla según norma I.N.V.E. 323 en donde las proporciones indicadas son una (1) parte de cemento y 2.75 partes de arena gradada, usando una relación agua-cemento de 0.485 para los cementos Pórtland tomando en cuenta los pesos mostrados en la tabla 10. Este proceso se le aplicó a 261 probetas (tabla 9)

TABLA 9. Ensayos y número de probetas realizados con diferentes mezclas

Arena	Ensayo	MEZCLA			
		LATERITA	PUMITA	DIATOMITA	CEMENTO
Arena silica	Resistencia a la compresión	27	27	9	9
	Ataque de sulfatos	27	27		9
	Ataque de ácidos	27	27		9
	Altas temperaturas	27	27		9
		108	108	9	36
	TOTAL DE PROBETAS	261			

TABLA 10. Las cantidades que deben ser mezcladas para formar la bachada para seis (6) y nueve (9) cubos de ensayo

Material	6 cubos	9 cubos
Cemento, g	500	740
Arena, g	1375	2035
Agua, ml	242	359

Fuente. Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, I.N.V.E. 323-07.

FIGURA 8.Proceso de preparación de los morteros desde el ensamble de los mismos (figura 8A), hasta la aplicación del ACPM a cada uno de los morteros utilizados (figura8B, C)



5.3.1 Preparación de la mezcla.

Se pesan el cemento, la arena y cada uno de los aditivos según la tabla 10 teniendo en cuenta que para este proceso se cambian las proporciones del cemento debido a que se adhieren pumita, laterita níquelífera y diatomita en cada caso. Estudios hecho anteriormente recomiendan que las proporciones de los aditivos no sean mayor al 10 %, asumiendo que esa misma cantidad que se adhiera de cualquier material, disminuirá la cantidad de cemento a agregar y respecto al agua siempre será una cantidad constante, teniendo en cuenta las proporciones mostradas en la tabla 10 y en tabla 11, realizada durante este transcurso.

TABLA 11. Cantidades requeridas para arena, cemento, pumita, laterita niquelífera y diatomita teniendo en cuenta porcentaje de adición de cada aditivo.

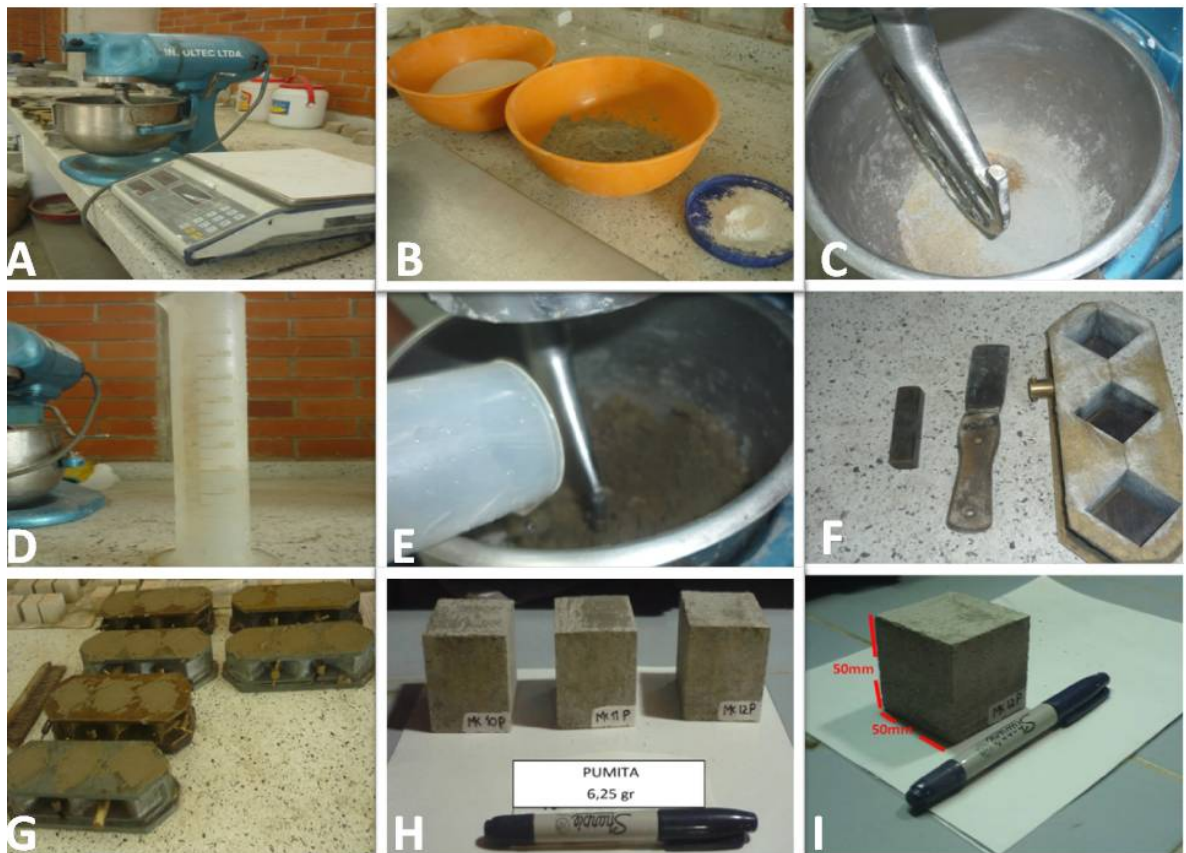
PRUEBA: Resistencia a la compresión a ataque de agua, acido, sulfato y temperatura												
NO. DE CUBOS	AGUA		ARENA		CEMENTO		RESIDUO		TOTAL DE PROBETA	SEMANAS DE INMERSION	TOTAL PESO RESIDUO	
	%	Grs	%	Grs	%	Grs	%	Grs				
1	11,4	40,3	65,0	229,2	23,6	83,3						
3					100,0	250,0	0,0	0,0	3	2,4,8	0	
3	11,4	121,0	65,0	687,5	97,5	243,7	2,5	6,3	3	2,4,8	74,99	
3					95,0	237,5	5,0	12,5	3	2,4,8	149,88	
3					90,0	225,0	10,0	25,0	3	2,4,8	299,88	
TOTAL		121		2749,89		956,21		43,73			524,75	

Teniendo las cantidades de cada material propuesto en la tabla 11, se procede a mezclar primero el agua, el cemento y el aditivo, en la maquina mezcladora a la velocidad más baja durante 30 segundos, después de mezclados estos componentes, se agrega la arena lentamente para seguir mezclando otros 30 segundos a una velocidad más baja. Seguido a esto se aumenta la velocidad de la manija de cambios de la mezcladora dejándose durante 30 segundos más y se deja reposar para finalizar la etapa de mezclado.

Inmediatamente a este proceso se deben llenar las probetas. Para este paso se adhieren cuatro capas de mezcla de 25 mm cada una teniendo en cuenta que por cada capa se apisona 8 golpes con el compactador en 10 segundos, debe tenerse presente que según la norma NTC 220 cada golpe tiene que ser perpendicular al golpe anterior y así sucesivamente hasta terminar las cuatro capas. La última capa donde sobresale una parte de la mezcla se retira con el palustre. Seguidamente se dejaron en reposo los moldes rellenos por la mezcla en un tiempo estimado de 24 horas para luego desarmar las probetas y sacar los cubos ya compactos de los moldes para proseguir a la marcación de los cubos; en este caso se utilizaron las iniciales de los nombres de cada una de las autoras,

seguido del número del cubo y por último la inicial del material que se estaba utilizando (figura 9H).

FIGURA 9. Materiales y procedimiento utilizado para el relleno de morteros.



5.3.2 Curados y ataques de las probetas

Finalizando la etapa de llenado de las probetas se dejan por 24 horas en reposo en un cuarto húmedo evitando la caída de gotas de agua sobre las probetas. Pasadas las 24 horas se desmoldaron las probetas, los cubos se colocaron sobre papel periódico húmedo y se cubrieron con otra capa de papel periódico, humedeciéndolos con agua tres veces al día (figura 10) por un tiempo de fraguado de 7, 14 y 28 días según el caso. Después de cumplir este tiempo de fraguado se sometieron las probetas a la prueba de resistencia a la compresión.

Para los cubos que se sometieron a ataques de ácido sulfúrico, ataques de sulfato de magnesio, se elaboraron fraguados de 21 días

En la figura 10 se presentan filas de morteros donde las dos primeras son morteros de cemento, arena y cantidades de 6,25 y 12,49 gr de diatomita. La tercera fila son representadas por morteros patrones (mezcla de arena, cemento y agua).

FIGURA 10. Curado o fraguado de los Morteros.



5.3.2.1 Ataque de ácido sulfúrico. Este tipo de pruebas se realizaron con el fin de simular la disolución de compuestos solubles en el agua que se propagan en el interior del concreto, como es el caso de las aguas ácidas que pueden provocar debilitamiento de la estructura de la pasta de cemento. (Gonzales, 1991).

El procedimiento para llevar a cabo este ataque se empezó pesando y hallando el volumen de cada uno de los cubos tanto patrones como los morteros con aditivos para luego sumarse. Para este paso se utilizaron probetas de capacidad de 2000 ml de plástico (figura 11) en las cuales se depositó 800 ml de agua totalmente limpia y seguido a esto se depositó cada uno de los cubos necesarios

para el ataque, los cuales eran veintiuno (21) en total, en donde se tenían en cuenta morteros con curados de 7, 14, 21 y 28 días con diferentes cantidades de aditivos, con el fin de hallar el volumen de estos; para determinar el volumen hallado se sumerge el cubo en los 800 ml de agua depositados en las probetas, observando cuánto asciende el nivel del agua de la probeta y midiendo el cambio que tenía esta antes y después de introducir el cubo (figura 11). El cual denotaría el volumen de estos morteros. Como se especificó anteriormente después de pesar individualmente los cubos se suma todos los volúmenes con el fin de saber cuánta agua se necesitaría para el total de los cubos utilizados. El total de agua fue de 2699.97 ml pero para este paso se necesita en agua 4 veces el total de la suma de todos los cubos requeridos, por lo tanto el agua necesaria para los 21 cubos fue de 10,79 lt. (Álvarez, 2010)

Por otra parte se preparó la cantidad de ácido sulfúrico de concentración del 95-98 % de marca MERK y teniendo en cuenta otros estudios (Caballero, Sánchez, 2010) se tomó una concentración de 0,4 M para adicionarle a los 10,79 lt de agua medidos anteriormente. Teniendo en cuenta la siguiente ecuación se halló la cantidad necesaria de ácido sulfúrico necesario para este proceso.

- $(0,4M)(10799,88ml)=4319,952\text{moles}$
- $(4319,952\text{moles})(98\text{gr/mol})=423355,29\text{gr}$
- $(423355,29\text{gr})(1\text{cm}^3/1,84\text{gr})=234.98\text{ cm}^3$

Teniendo estas dos cantidades el paso a seguir fue mezclar el ácido con el agua cuidadosamente durante un minuto como muestra la figura 11 F. Culminando esta etapa, y al cabo de 24 horas se continuó a depositar los 21 cubos con gran cuidado a la solución y por último se tapa el balde durante 21 días tiempo en el cual no se debe ni mover ni destapar.

FIGURA 11. Proceso para la preparación de la mezcla de ácido. A, B. Volumen reales de cubos. C, D, E. Preparación de solución de Acido Sulfúrico. F, G, H. Se sumergen los cubos en la solución después de 24 horas para ser seguidamente tapados (I).



Fuente: Autores

5.3.2.2 Ataque de sulfato de magnesio. En este caso se da la expansión que se debe a los compuesto débilmente solubles, que se forman en el interior del concreto y que dan origen al crecimiento de cristales como la etringita y la thaumacita que originan una presión capaz de llevar a la rotura de la estructura. (Gonzales, 1991). El primer paso de este ataque es el mismo que se realizó en el ataque de ácido, hallar pesos y volúmenes de los morteros. También se tomó en

cuenta la misma concentración que se utilizó con el ácido sulfúrico de 0.4 M entonces tenemos:

- $(0,4M)(10,79lt)=4,316moles$
- $(4,316moles)(98gr/mol)=422,96g$
- $(422,96gr)(1cm^3/1,84gr)=519,47g$

Obtenido esto, se realizó la mezcla de los 519,47 gr de sulfato de magnesio y 10,79lt de agua, depositando lentamente el sulfato ya que de no hacerlo se podrían formar grumos y esto no es favorable para este proceso. Nuevamente el proceso a seguir es el mismo que se practicó con la prueba de ataque de ácido. Se depositan los 21 cubos en el balde y se prosigue a tapar durante 21 días (figura 12).

FIGURA 12.Proceso realizado para el ataque de sulfato. A. Cantidad de gramos de sulfato previamente calculados. B. Preparación y disolución de Sulfato y agua. C. Después de disolver la mezcla se agregan los cubos después de 24 horas y seguidamente ser tapados (E).



5.3.2.3 Ataque a altas temperaturas. Este ataque se usa con el fin de prevenir causas internas y externas en el deterioro del concreto. La reacción química del cemento con agua conocida como hidratación genera distintas reacciones químicas que pueden llegar a producir daños al concreto por el efecto de aumento de volumen generando un fuerte aumento en la temperatura del concreto, el cual al comenzar a enfriarse puede producir grietas de consideración. Como causa externa sobre la estructura la más típicas se refieren a las acciones de las cargas, ya sean estáticas o dinámicas la acción del fuego, sismos, temperatura y viento extremo (Cerna y Dalici, 2010).

Para este ataque las probetas permanecieron en un tiempo de curado durante 28 días como se describió anteriormente con periódico humedecido en la base y en el techo remojándolo tres veces al día durante los 28 días.

Al momento de llevar al horno, los cubos se deben dejar de humedecer dos horas antes de poner en el horno a 300 °C, 600°C Y 1000°C. (Figura 13)

FIGURA 13. Morteros que fueron llevados al horno con temperaturas de 300°C, 600°C, 1000°C.



6. FASE DE ENSAYOS DE DESEMPEÑO Y DURABILIDAD DE LOS ADITIVOS

En esta etapa se llevaron cada uno de los cubos a prueba de resistencia a la compresión después del tiempo de curado y de los ataques de ácido, sulfato y temperatura. En la figura 14 se muestra la prensa eléctrica instrumento utilizado para hacer la compresión.

FIGURA 14. Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162, modelo PS 25 –M
Fuente: Autores



La fase para realizar la prueba de compresión se llevo a cabo en la prensa eléctrica para cada uno de los cubos después del tiempo de curado y de los ataques de ácido, sulfato y temperatura para ensayos de concretos PC162, modelo PS 25 –M; esto con el fin de analizar propiedades físicas de cada una de

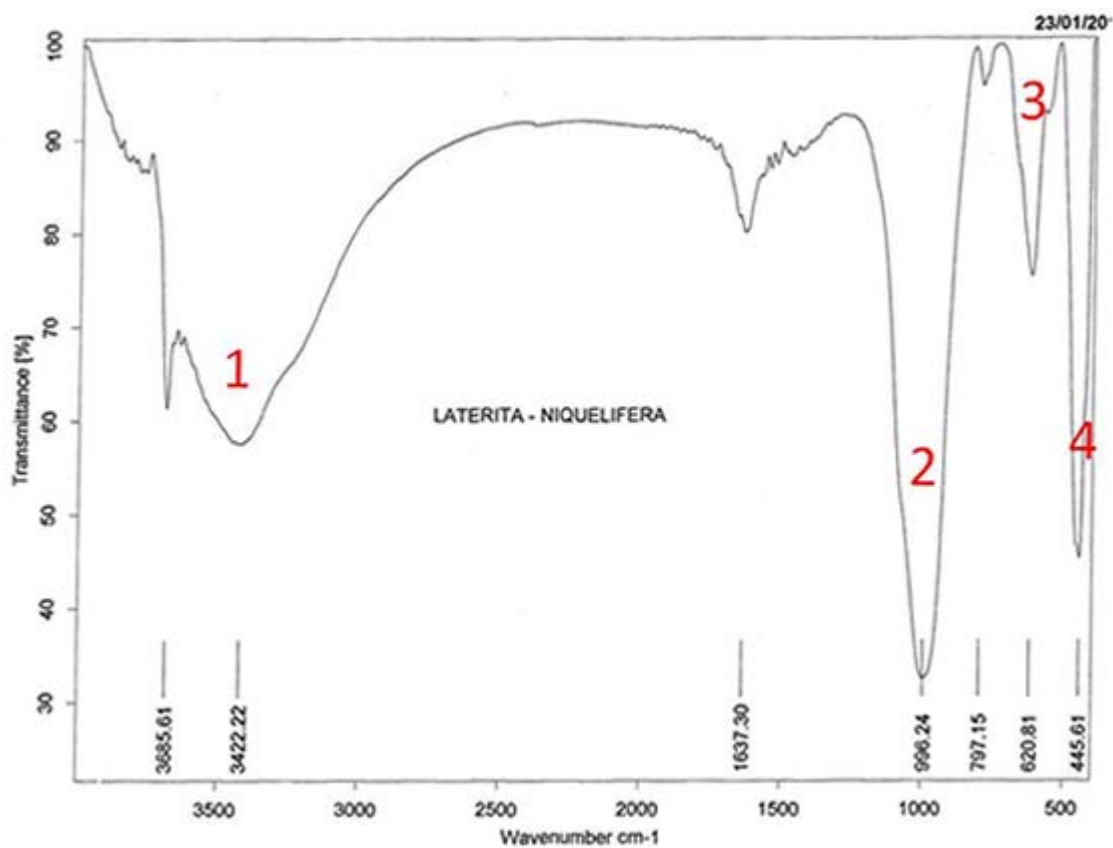
las probetas, además de tener en cuenta las mezcla realizadas comparándolas con las muestras patrones los cuales son solo mezcla de agua, arena y cemento.

7. FASE DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta fase se analiza cada uno de los resultados obtenidos en las pruebas de caracterización de los materiales.

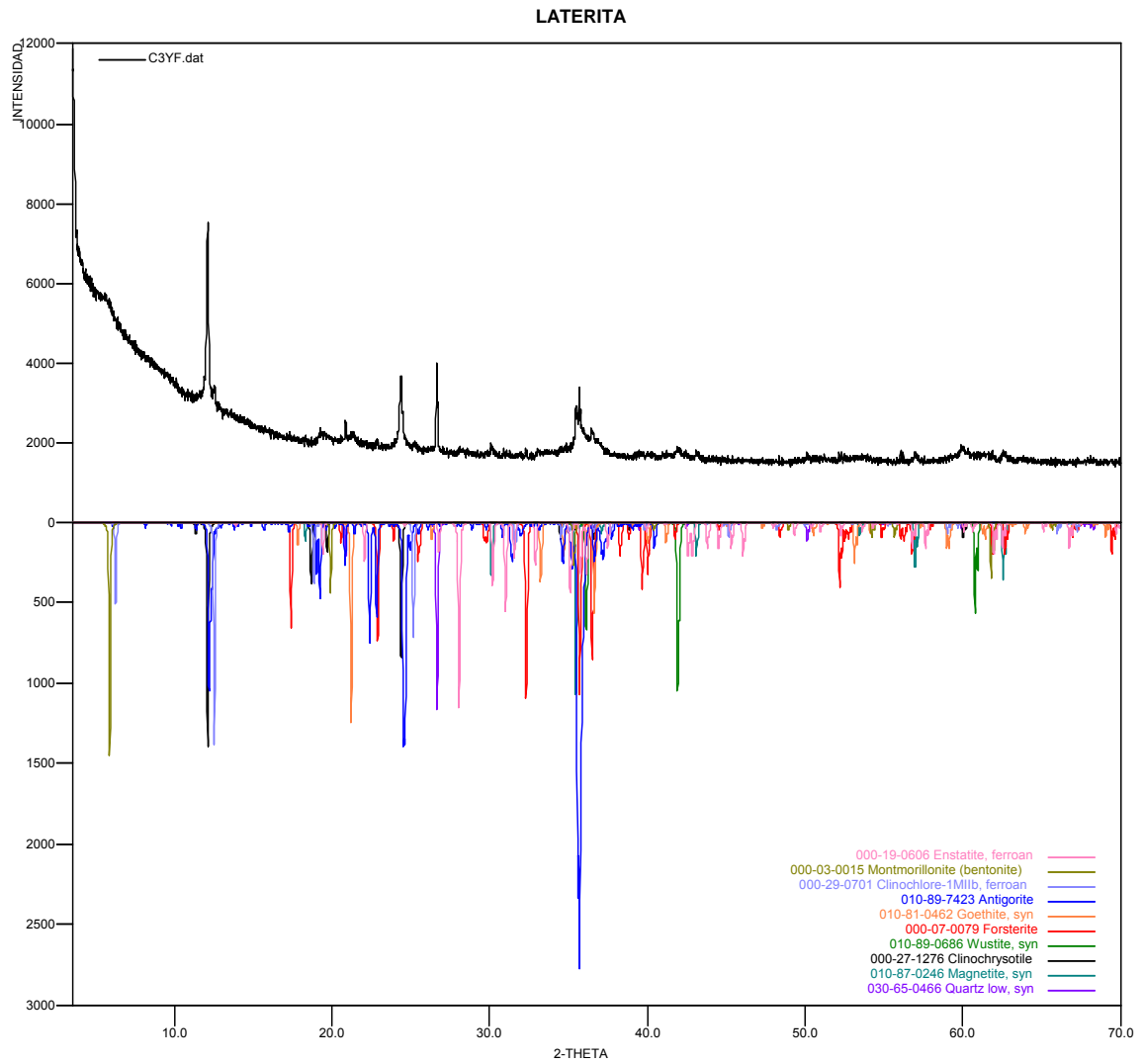
7.1 ANÁLISIS QUIMICO DE INFRARROJO Y DIFRACCION DE RAYOS- X.

FIGURA 15. Espectro infrarrojo para el aditivo Laterita Niquelífera tomado en disco de KBr.



Fuente: Laboratorio de Infrarrojo. UIS

FIGURA 16. Espectrograma correspondiente al aditivo Laterita Niquelífera. Equipo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con geometría DA VINCI.



Fuente: Laboratorio de Difracción de Rayos-X. UIS

TABLA 12. Datos de difracción de rayos X de la laterita niquelífera.

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O ₂	030-65-0466	Cuarzo
	Mg ₂₄ Si ₁₇ (OH) ₃₁ O _{42.5}	010-89-7423	Antigorita
	(Fe, Mg) Si O ₃	000-19-0606	Enstatita
	2 (Mg _{0.91} Fe _{0.09}) O · Si O ₂	000-07-0079	Forsterita
	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	000-29-0701	Clinocloro
	Fe O (OH)	010-810462	Goetita
	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-27-1276	Clinocrisotilo
	Fe _{0.925} O	010-89-0686	Wuestita
	Fe _{2.9} O ₄	010-87-0246	Magnetita
	(Na, Ca) _{0.3} (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ · x H ₂ O	000-03-0015	Montmorillonita

Fuente: Laboratorio de Difracción de Rayos-X. UIS

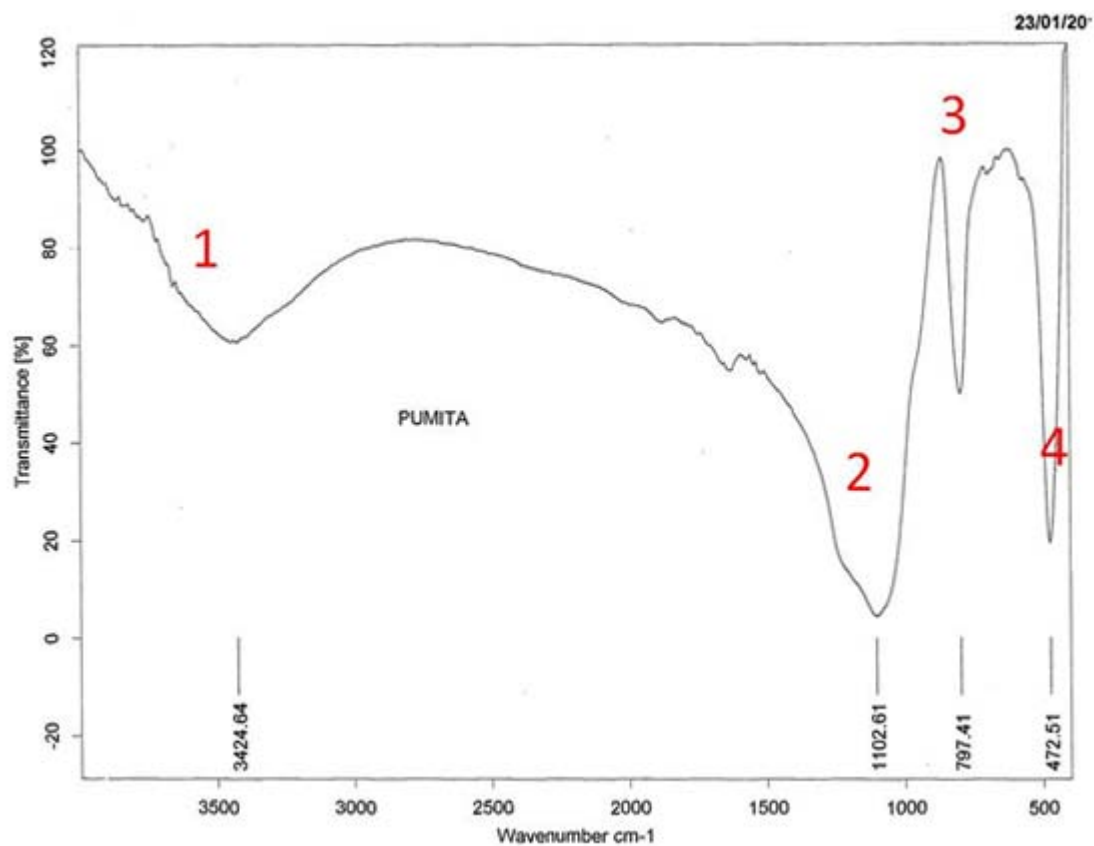
Se obtiene el espectro IR (Figura 15) con aproximadamente 0,5mg de la muestra en discos de KBr utilizando un Espectrofotómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier FTIR Tensor 27 BRUKER.

Las bandas obtenidas indicaron en 3685cm^{-1} una tensión característica de ondas vibratorias localizadas de grupos OH en relación proporcional con iones Mg; no obstante, no se encontraron evidencias para esta muestra en la cantidad de combinaciones de OH con iones adyacentes de Mg, sin embargo, el número de posibles combinaciones es muy grande. Además, la serie de picos de baja densidad que se observa en la (figura 16) confirma en 620cm^{-1} la banda de ocupación de Mg. En 1637cm^{-1} se observó un estiramiento para Si-O y en 797cm^{-1} flexiones Si-O.

Finalmente debería existir una frecuencia característica de Hierro, pero ésta no puede ser lo suficientemente intensa para ser detectada por IR, para observar este tipo de señales es necesario emplear otras técnicas instrumentales tales como Ultravioleta o Absorción Atómica.

En cuanto al espectrograma para la misma muestra arrojó picos característicos a fases de Sílice en combinación de Magnesio con grupos OH, asimismo de Aluminio y Sodio hidrata (Tabla 12)

FIGURA 17. Espectro infrarrojo para el aditivo Pumita tomado en disco de KBr

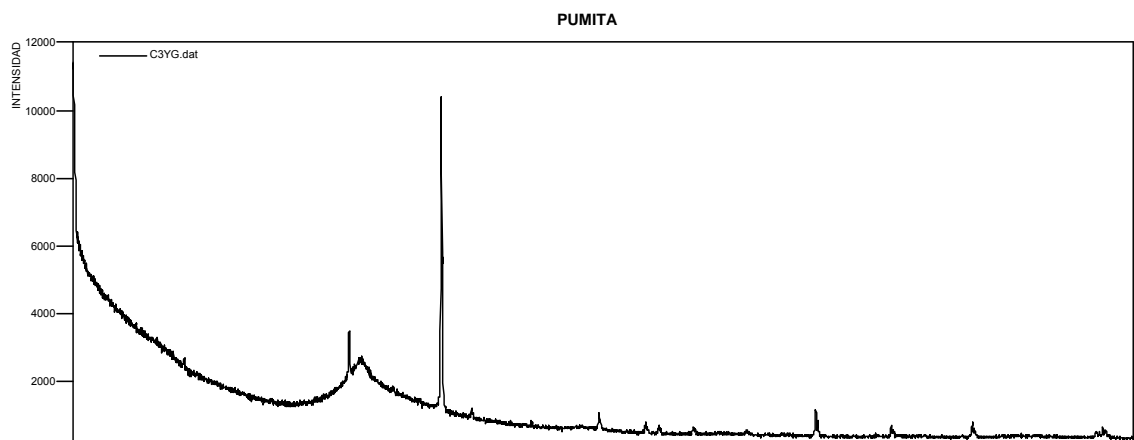


Fuente: Laboratorio de Difracción de Rayos-X. UIS

TABLA 13. Datos obtenidos en Infrarrojo para Pumita

LONGITUD DE ONDA cm-1	SUSTANCIA	LONGITUD LITERATURA	TIPO DE VIBRACIÓN
1102	Sales de aril sulfatos RSO4M	1075 - 1140	Vibración simetrica de extensión de SO2
797	CH3-Metal o CH2-metal	700 - 900	Vibración de blanco de CH3-metal o CH2-metal
472	SO4	400 -500	Vibración debida sulfato

FIGURA 18. Espectrograma correspondiente al aditivo Pumita. Equipo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con geometría DA VINCI.



Fuente: Laboratorio de Difracción de Rayos-X. UIS

TABLA 14. Datos de difracción de rayos X de la pumita.

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O ₂	030-65-0466	Cuarzo
	Si O ₂	010-79-1915	Cuarzo
	Si O ₂	010-89-3435	Cristobalita
	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-52-1573	Antigorita
	(Na ₂ O) _{1.52} Al ₂ O ₃ (Si O ₂) ₆₅ · x H ₂ O	000-42-0359	Aluminosilicato de Sodio hidratado

000-42-0359 Sodium Aluminum Silicate Hydrate
010-89-3435 Cristobalite, beta
000-52-1573 Antigorite
030-65-0466 Quartz low, syn

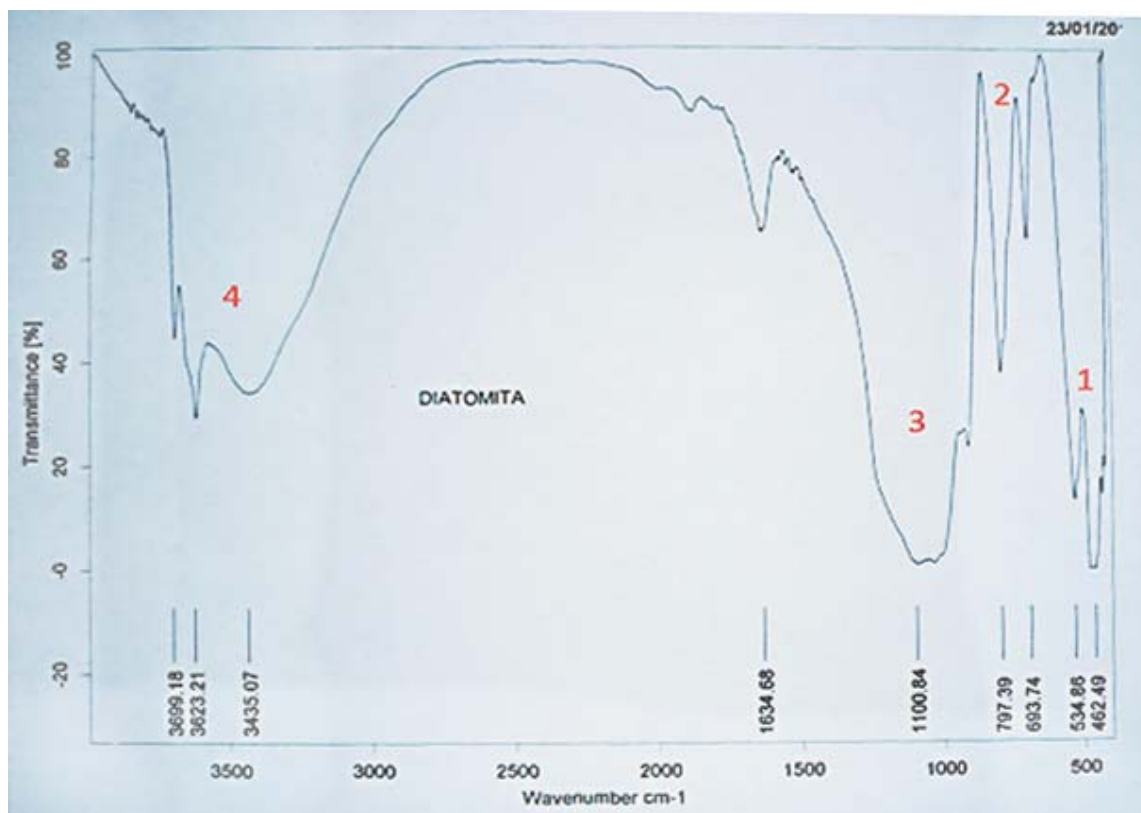
Fuente: Laboratorio de Difracción de Rayos-X. UIS

La composición química en la muestra correspondiente a Pumita se caracterizó por Espectrofotómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier FTIR Tensor 27 BRUKER obteniendo un rango de adsorción entre $4000-400\text{cm}^{-1}$. De acuerdo a la literatura, las bandas particulares para la Pumita en un alto porcentaje de pureza se ubican en $3566,1635,1015,770,543\text{cm}^{-1}$ con unas bandas generalmente más amplias que las analizadas en la (Figura 17); a partir de estos soportes bibliográficos se analizó el espectro infrarrojo obtenido. En 3424cm^{-1} se identifica una banda ancha poco pronunciada por adsorción de OH en la superficie del mineral, de hecho, la presencia de esta señal indica intercambio de los grupos OH con moléculas de agua originada por la porosidad de la roca. Seguidamente, la banda observada en 1102cm^{-1} se atribuye al enlace O-Si-O, mientras que en 797cm^{-1} se identifica una señal correspondiente a las vibraciones causadas posiblemente por la deformación provocada por moléculas de agua en la capa intermedia de la roca debido a su alta capacidad de retención. La banda 4 en la región de la huella digital es característica de espectros de rocas silíceas positiva para vibraciones de iones sulfato (Tabla 14)

No obstante es indispensable sugerir que cuanto menor fue la tensión dinámica impuesta, mayor se produjo la adsorción en IR; es decir, la diferencia puede atribuirse a la variación del contenido de agua y la ubicación de los enlaces OH en los materiales aditivos.

Cada uno de las señales analizadas en IR fue corroborado por análisis cualitativo a través de la técnica Difracción de Rayos X (Figura 18), determinando un alto porcentaje de cuarzo de acuerdo a los resultados expedidos por el laboratorio, además de Cristobalita, Antigorita y Aluminosacato de Sodio Hidratado. En la Tabla 14 es importante aclarar que los resultados arrojados por el laboratorio de Rayos X indican presencia de material amorfo muy probablemente por impurezas típicas en la obtención y manipulación de las muestras.

FIGURA 19. Espectro infrarrojo para el aditivo Ditolmita tomado en disco de KBr



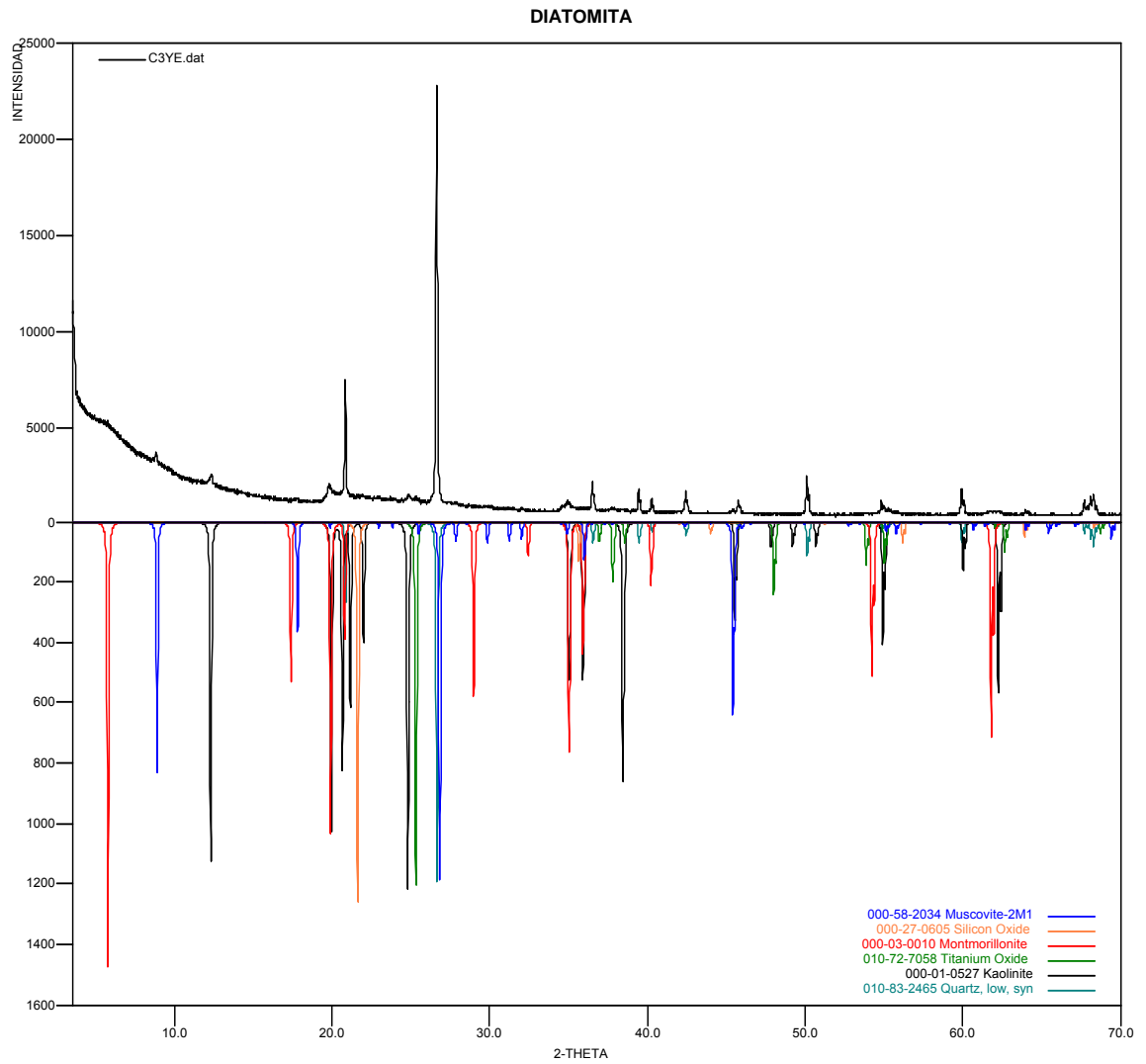
Fuente: Laboratorio de Infrarrojo. UIS

TABLA 15. Datos de Infrarrojo de Diatomita.

LONGITUD DE ONDA cm-1	SUSTANCIA	LONGITUD LLITERATURA	TIPO DE VIBRACIÓN
1634	Vibración debida un enlace Si-C=O	1635 - 1645	Vibración de extensión del C=O
1100	Sales de aril sulfatos RSO4M	1075 - 1140	Vibración simetrica de extensión de SO2
797	Compuesto Si-C	700 - 900	Vibración media
693	Sales de sulfato ionico	600 - 700	Vibración de flexión del SO3
534	Sulfato covalente R-O-SO2-R	515 - 555	Vibracion de deformación del SO2
462	sulfato ionico R-SO2	440 - 575	vibracion de torsión

Fuente: Autores

FIGURA 20. Espectrograma correspondiente al aditivo Diatomita. Equipo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con geometría DA VINCI.



Fuente: Laboratorio de Difracción de Rayos-X. UIS

TABLA 16.Datos de difracción de rayos X de la diatomita.

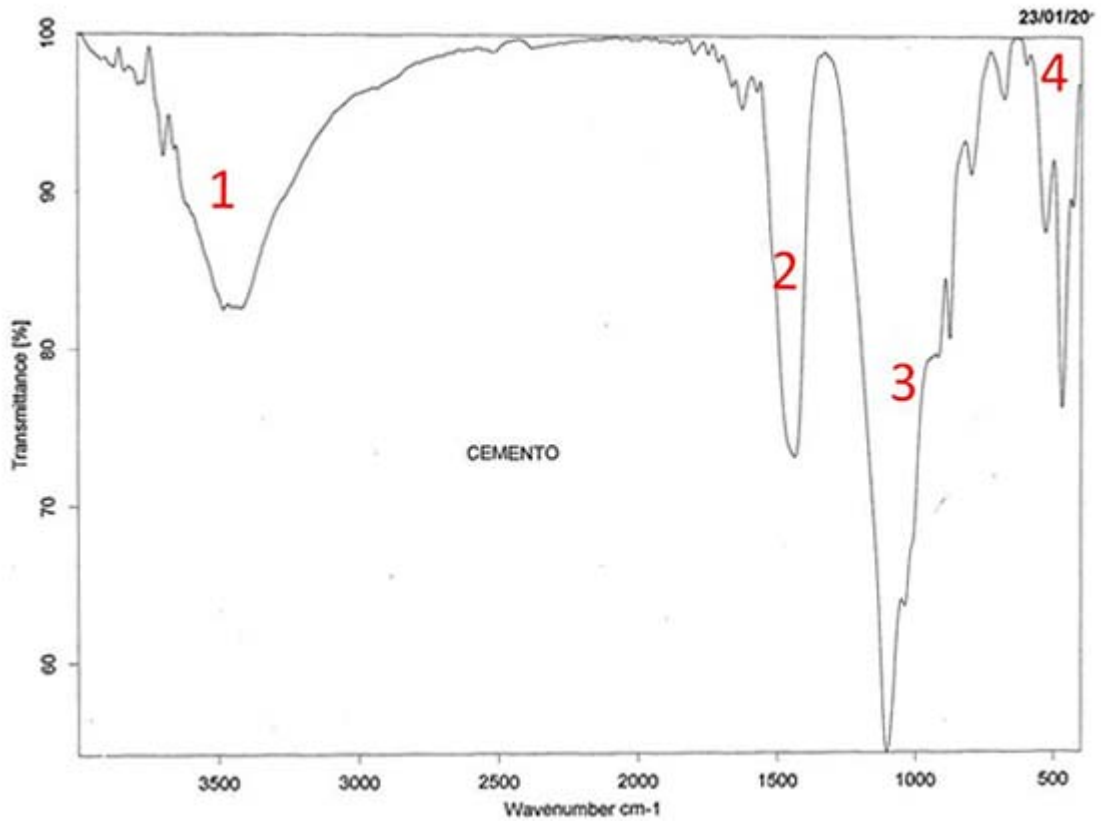
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O ₂	010-83-2465	Cuarzo
	Ti O ₂	010-72-7058	Anatasa
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-01-0527	Caolinita
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2034	Moscovita
	Si O ₂	000-27-0605	Cristobalita
	(Na, Ca) _{0.3} (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ · x H ₂ O	000-03-0010	Montmorillonita

Para el caso del espectro IR correspondiente a la Diatomita (Figura 20) se observaron vibraciones características de enlaces SiO-H en 3699cm^{-1} con un desplazamiento a frecuencias más bajas en 3623cm^{-1} y 3435cm^{-1} respectivamente. Esto podría ser causado por enlaces de Hidrógeno en la superficie de la roca o compuestos externos de la muestra. El estiramiento alrededor de los 1100cm^{-1} confirmó algunos cambios resultantes de los enlaces de hidrógeno y es propia de sales de aril sulfatos.

No obstante, la Tabla 15 muestra la identificación de una vibración de extensión propia del grupo orgánico C=O en 1634cm^{-1} . La presencia de sulfatos covalentes y sulfatos iónicos se confirmaron en las flexiones 534cm^{-1} (para covalentes) y 693cm^{-1} , 462cm^{-1} (para iónicos).

Por otro lado la caracterización de la muestra a través de Difracción de Rayos X mostró picos específicos (Figura 20) de Cuarzo, Anatasa, Caolinita, Moscovita, Cristobalita y Montmorillonita. como lo demuestra la Tabla 17.

FIGURA 21. Espectro infrarrojo para el Cemento tomado en disco de KBr



Fuente: Laboratorio de Infrarrojo. UIS

Las principales señales observadas para el cemento analizado por espectroscopia infrarroja (figura 21) en la región comprendida entre 4000cm^{-1} a 400cm^{-1} , son inicialmente bandas en 3500cm^{-1} (1) causadas por trazas de agua en la muestra; este tipo de determinaciones fue comparada con espectros registrados en bases de datos avalados por importantes centros de investigación en diferentes clases de cementos, hormigón y concreto.

Además, encontrar señales en este rango sugiere la intervención de enlaces metal-hidróxidos o especies con enlaces en OH adsorbidos por el material.

Seguidamente, alrededor de 1500cm^{-1} (3) se determinó un estiramiento originado por vibraciones de SOY se confirmó por bandas débiles de SO entre 500cm^{-1} a 600cm^{-1} (4) debido a vibraciones de flexión característica en Silicatos SO_4^{-2} .

Finalmente, se observaron bandas vibracionales asimétricas propias de Si-O por encima de 1000cm^{-1} (3). Esta señal en especial corrobora un alto porcentaje de Sílice en la muestra.

7.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

Teniendo en cuenta el proceso realizado para la arena se tiene la siguiente tabla 17.

TABLA 17. Tabla de Porcentaje retenido y porcentaje que pasa.

MALLA N°	ABERTURA	PESO SUELO	% RETENIDO	% QUE PASA
	(mm)	RETENIDO (gr)	PARCIAL	LA MALLA
N°16	9,5	0	0,00	100,00
N° 30	4,75	5	0,50	99,50
N° 40	2,00	249	24,90	74,60
N° 50	0,425	510	51,00	23,60
N° 100	0,075	223	22,30	1,30
P100 =		13	1,30	0,00

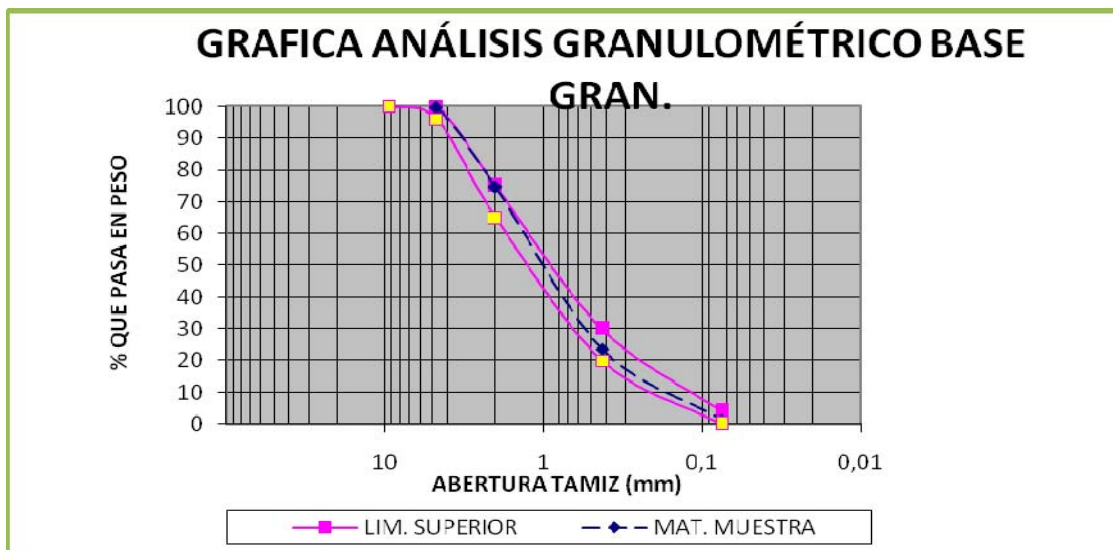
Con el porcentaje retenido se suman cada uno de las cantidades y se divide en 100 para así poder hallar el modulo de finura, el cual es 1,003

TABLA 18.Limites inferior y superior del que porcentaje que pasa

% QUE PASA EN PESO PARA BASE GRAN.	
LIM. INFERIOR	LIM. SUPERIOR
100	100
96	100
65	75
20	30
0	4

Teniendo en cuenta la Tabla 17 y Tabla 18 se define la grafica de granulometría de la arena de Ottawa.

FIGURA 22 .Grafica de análisis granulométrico.



Fuente: Ingeandina.

Además se pudo observar que esta arena presento 0,50% de gravas, 98,20 % de arenas y 1,30 % de finos. Lo cual indica según la Figura 22 que esta arena se encuentra entre los parámetros propuestos.

7.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

Teniendo en cuenta el proceso realizado anteriormente las Tablas 19, 20 y 21 muestran los cálculos a realizar para los aditivos de Laterita Niquelífera, Pumita y Diatomita de sus pesos específicos y absorción de agregados finos:

TABLA 19. Peso específico de la Laterita niquelífera

DATOS TOMADOS		Datos
A	Peso al aire de la muestra secada en el horno, (gr).	666,1 g
B	Peso de la muestra en condición SSS en el aire.	300 g
C	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (gr).	788,7g
D	Peso de la muestra secada al horno	282,9
DATOS CALCULADOS		Cálculos
	Peso específico real = $D/(A-C+D)$	1,76g
	Peso específico aparente = $.D/(A+B-C)$	1,59g
	Peso específico aparente SSS= $B/(B+A-C)$	1,69g
Am	Absorción máxima (%) = $((B-D)/C)*100$	2,16%

TABLA 20. Peso específico de la pumita.

DATOS TOMADOS		Datos
A	Peso al aire de la muestra secada en el horno, (gr).	666,1 g
B	Peso de la muestra en condición SSS en el aire.	300 g
C	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (gr).	837,6g
D	Peso de la muestra secada al horno	299,2
DATOS CALCULADOS		Cálculos
	Peso específico real = $D/(A-C+D)$	2,34g
	Peso específico aparente = $.D/(A+B-C)$	2,32g
	Peso específico aparente SSS= $B/(B+A-C)$	2,33g
Am	Absorción máxima (%) = $((B-D)/C)*100$	0,095%

TABLA 21. Peso específico de la diatomita.

DATOS TOMADOS		Datos
A	Peso al aire de la muestra secada en el horno, (gr).	666,1 g
B	Peso de la muestra en condición SSS en el aire.	52,2 g
C	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (gr).	682,1g
D	Peso de la muestra secada al horno	50,4g
DATOS CALCULADOS		Cálculos
	Peso específico real = $D/(A-C+D)$	1,46g
	Peso específico aparente = $.D/(A+B-C)$	1,39g
	Peso específico aparente SSS= $B/(B+A-C)$	1,44g
Am	Absorción máxima (%) = $((B-D)/C)*100$	0,095%

7.4 ANÁLISIS DE IMPUREZAS ORGANICAS

Después de someter los aditivos al análisis de impurezas orgánicas por 24 horas (Figura 23), se consideraron los resultados obtenidos como óptimos ya que se mantuvieron en el rango permitido (de 1-3) para la norma NTC 127 (Tabla 8).

FIGURA 23. Ensayos de materia orgánica. **A.** Laterita **B.** Diatomita.



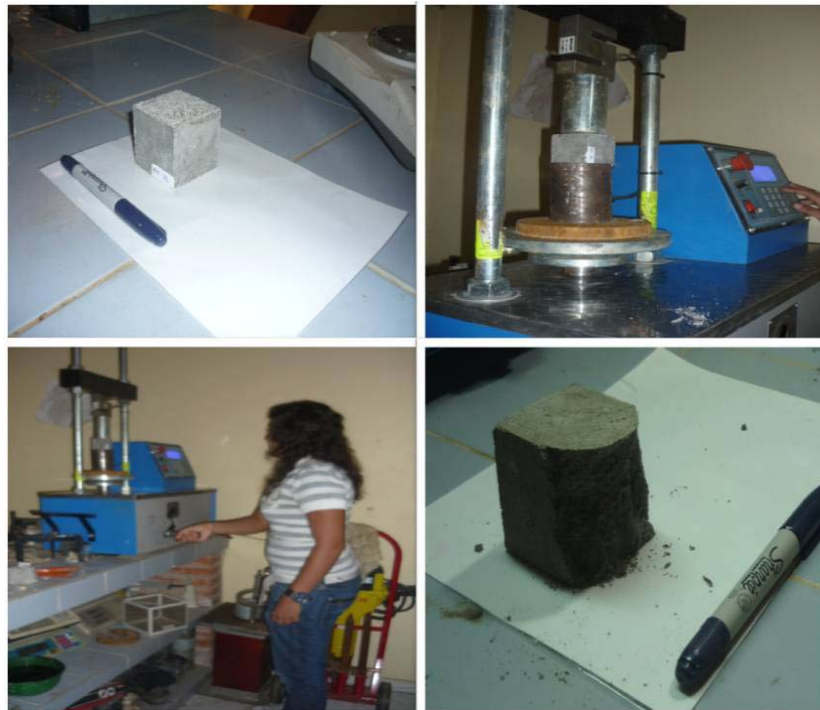
7.5 RESISTENCIA A LA COMPRESION

Para realizar el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas se uso un tiempo de curado de siete (7), catorce (14) y veintiocho (28) días, tiempo en el que

los cubos estuvieron en curado, teniendo en la base y en el techo de estos papel periódico, humedeciéndolo tres veces al día como se había explicado anteriormente. Después de pasados los 7 días de curado, el deterioro que presentaban los cubos era prácticamente nulo, al igual que sucedió con los cubos que estuvieron durante 14 y 28 días.

Por otra parte para poder llevar a cabo la compresión de estos cubos se dejaron secar durante 24 horas de lo contrario se correría el riesgo para las probetas con el más mínimo esfuerzo estas se disgregarían rápidamente debido a la saturación de agua a la que se habían sometido (Figura 24). Además se aclara que para la prueba de compresión fue la única prueba usada para el material diatomita y se orienta a curado de solo 14 días.

FIGURA 24.Compresión del cubo MK2L.



Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para la prueba de resistencia a la compresión se lograron realizar unas graficas que serán analizadas a continuación.

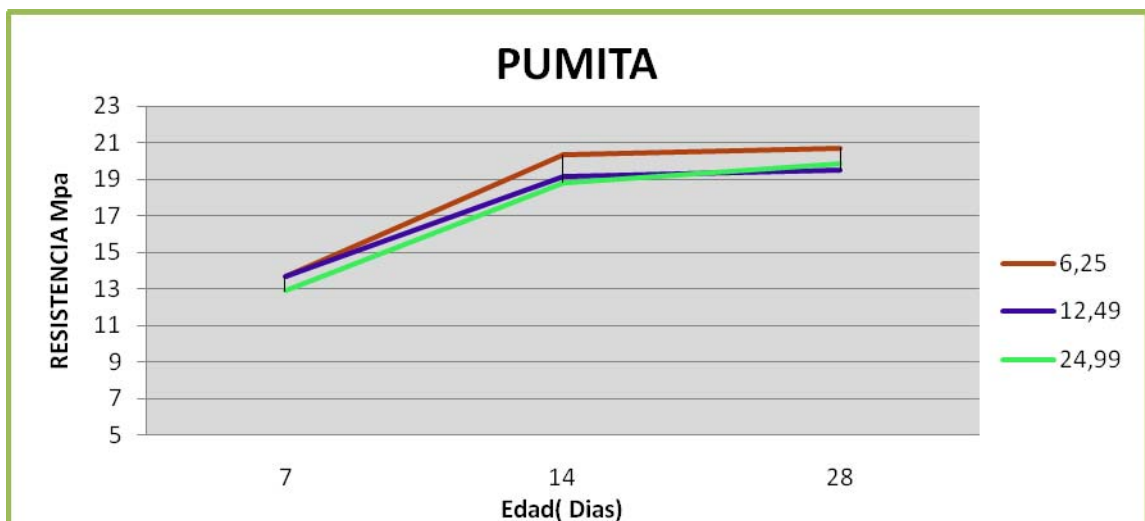
7.5.1 Pumita

En la tabla 23 se encuentran datos de resistencia a la compresión de la pumita con adiciones de 6.25, 12.49 y 24.99 g con cubos sometidos a curados de 7, 14 y 28 días.

Tabla 22. Datos de resistencia a la compresión de la pumita

PUMITA			
DIAS	6,25	12,49	24,99
7	13,6626667	13,6626667	12,9013333
14	20,3093333	19,1586667	18,8173333
28	20,7093333	19,4997667	19,8173333

FIGURA 25. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros de pumita.

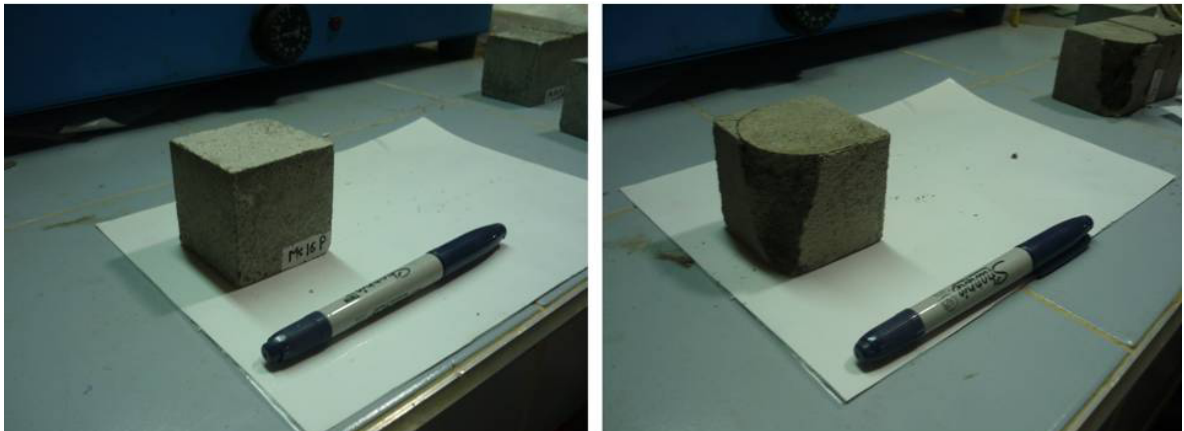


Fuente: Autores.

En esta grafica (Figura 25) se puede observar que al adicionar solo 6,25 gr de pumita la resistencia a la compresión es un poco más alta con diferencia a las adiciones de 12,49 y 24,99 además de también observar que las resistencias son directamente proporcional a los días de curado, por ende a mayor días de curado, mayor resistencia se identificara, como lo indica Targan et al. (2003) al usar ceniza volcánica donde obtuvo con un 5% de esta puzolana el aumento de la resistencia a la compresión a los 60 días de curado.

La figura 26 se observa la muestra antes y después de la compresión

FIGURA 26. Resistencia de morteros MK16P. Antes y después de la compresión del mortero MK16P con aditivo de 24,99 y con una resistencia de 15,132Mpa



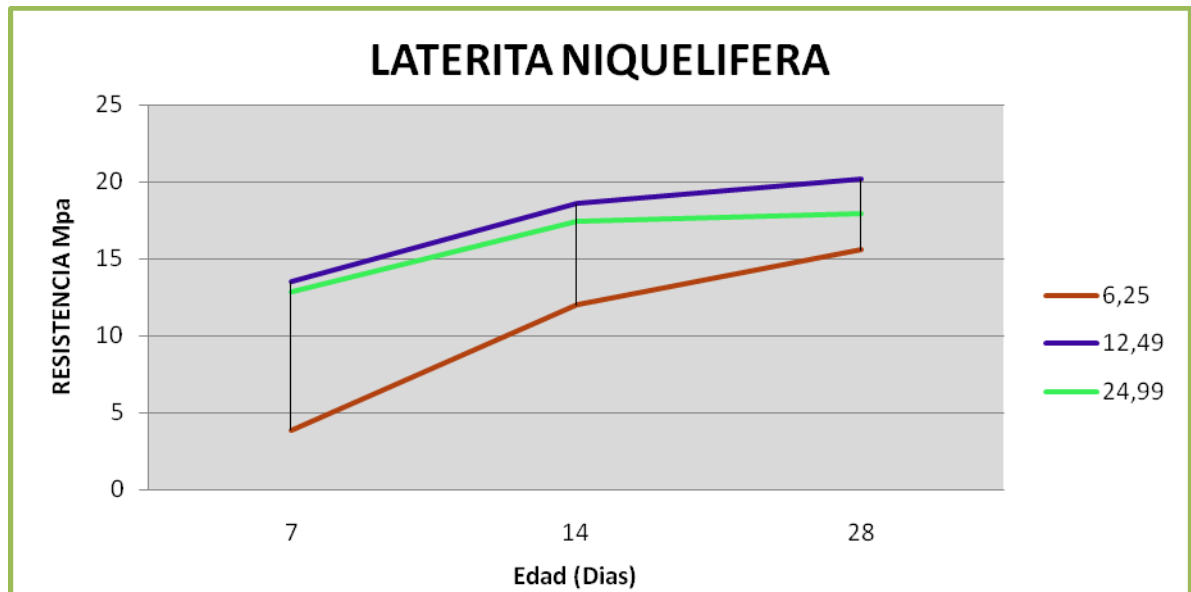
7.5.2 Laterita Niquelífera

En la tabla 23 se encuentran datos de resistencia a la compresión de laterita niquelífera con adiciones de 6.25, 12.49 y 24.99 gr con cubos sometidos a curados de 7, 14 y 28 días.

Tabla 23. Datos de resistencia a la compresión de la laterita niquelífera

LATERITA NIQUELIFERA			
DIAS	6,25	12,49	24,99
7	3,87866667	13,52	12,88
14	12,01333333	18,556	17,4506667
28	15,59733333	20,15733333	17,952

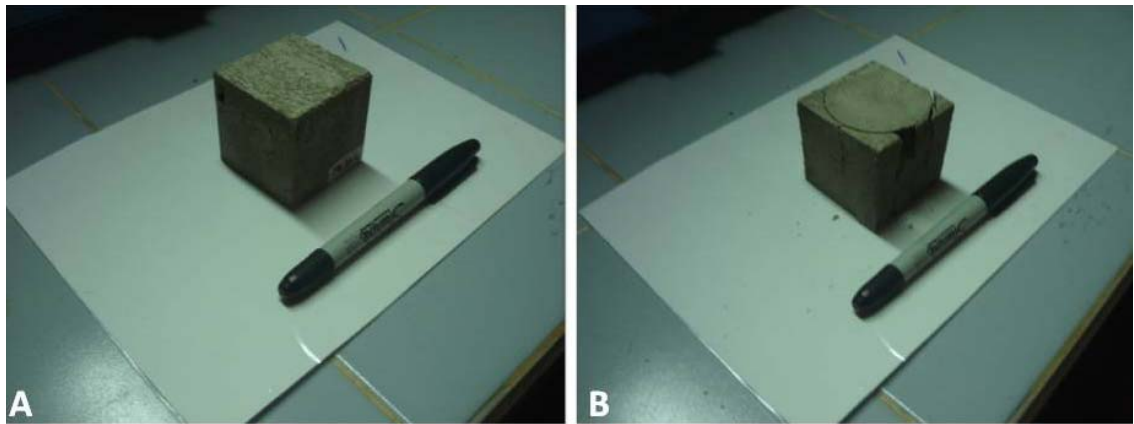
FIGURA 27. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros de laterita niquelífera.



Para la realización de esta grafica se practico el mismo proceso que para los morteros de pumita, pese a esto, en la grafica de laterita niquelífera (Figura 27) contrario a la anterior de pumita se observa que la adición más optima es la adición de 12,49 gr de aditivos ya que en esta se presentaron resistencias mucho más altas (Figura 28), mientras que la más baja o menos recomendable es la de 6,25 gr, así mismo Bonavetti et al. (2006) establece que usando hasta el 13% de puzolana natural y el 5% de escoria las resistencias de compresión son las máximas. Además hay que tener en cuenta que como se observa en la tabla 16

en los datos obtenidos para la adición de 6,25 gr con curado de 7 días son prácticamente inservibles ya que las resistencias son muy bajas

FIGURA 28. Resistencia del mortero MK2L. Antes y después de la compresión del mortero.



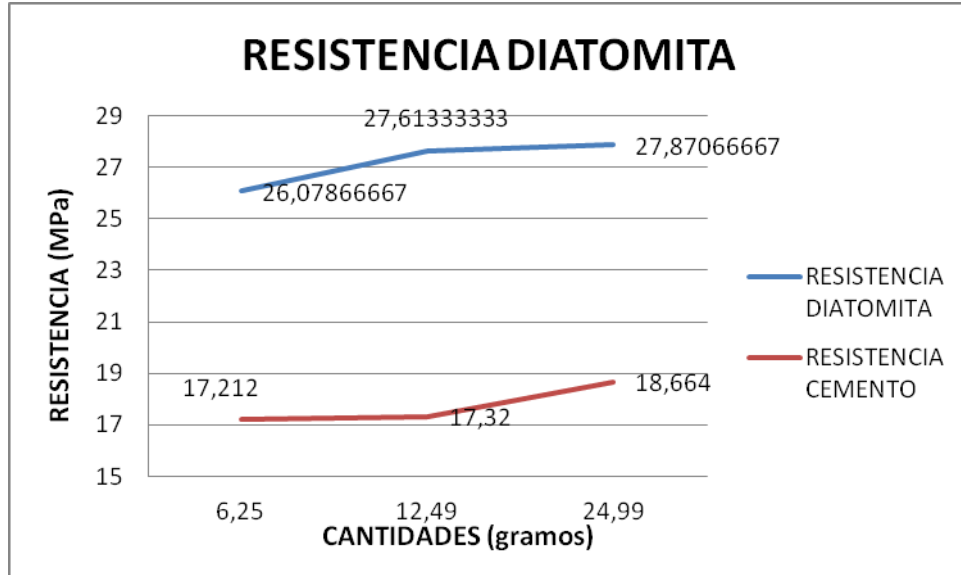
7.5.3 Diatomita

La Tabla 24 representa datos de resistencia a la compresión del aditivo de Diatomita con adiciones de 6.25, 12.49 y 24.99.

Tabla 24. Datos de resistencia a la compresión de la diatomita

CANTIDAD	RESITSTENCIA
6,25	26,078
12,49	27,613
24,99	29,3

FIGURA 29. Resistencia a la compresión vs cantidades del material de los morteros de diatomita sometidos a curados de 14 días.



Fuente: Autores.

En la figura 29 se puede observar que la diatomita sin importar cual sea su porcentaje de adición, siempre se encuentra en un constante incremento de resistencia la cual a los 24.99 gr se alcanza una resistencia máxima de 28 Mpa indicando que este resultado es seguramente muy similar para una puzolana como una ceniza acida, Falcone et al. (2006) considera que un alto contenido de álcalis y un 15% y 35% de puzolana natural la resistencia va aumentando a comparación de las muestras patrón.

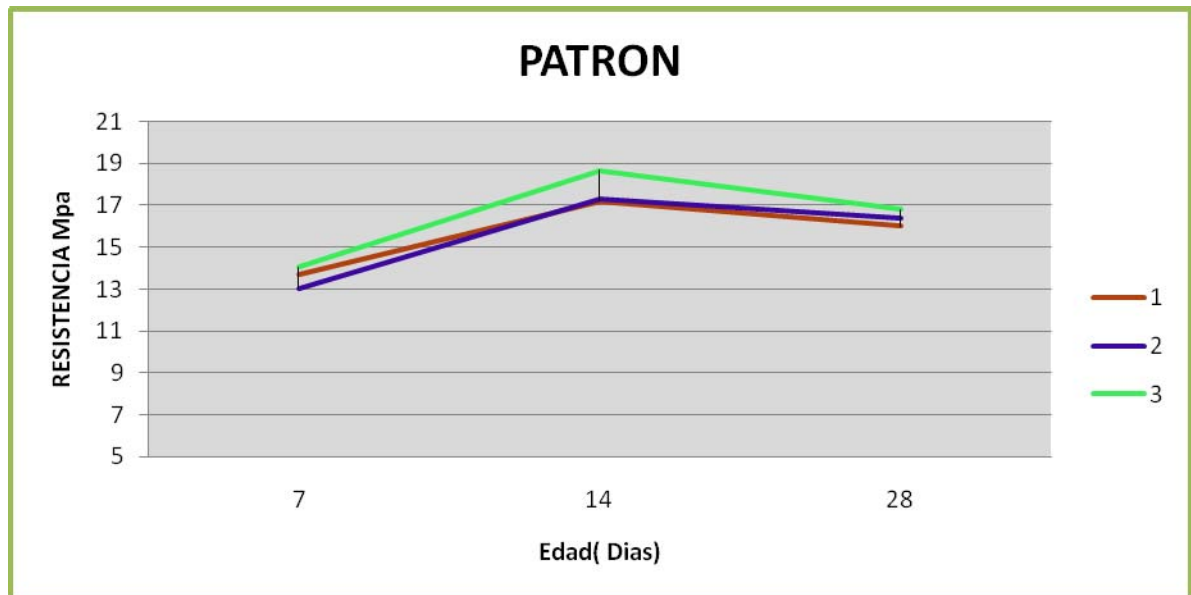
7.5.4 Patron

En la tabla 25 se encuentran datos de resistencia a la compresión de la muestra patrón sometidos a curados de 7, 14 y 28 días.

Tabla 25. Datos de resistencia a la compresión de la muestra patrón

PATRON			
DIAS	1	2	3
7	13,72	13,04	14,044
14	17,212	17,32	18,664
28	16	16,4	16,8

FIGURA 30. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros patrones.



En la Figura 30 se observan las muestras patrones 1, 2 y 3, morteros que se realizaron para la comparación de estos con los morteros que se les adiciono pumita, laterita niquelífera y diatomita, pero estos morteros por el contrario solo son mezcla de agua, cemento y arena con las proporciones mostradas en la tabla

10. Se debe tener en cuenta que estos morteros se sometieron a los mismos días de curados que los morteros con adiciones, de esta forma por cada 3 bloques de morteros (9 morteros o cubos) que se hicieron se realizo un bloque de morteros (3 morteros o cubos) (Figura 31).

FIGURA 31. A. Bloque (mostrado a lo largo de toda la probeta) y morteros (señalados por las flechas de color rojo). B y C. Resistencia del mortero MK20C. Antes y después de la compresión del mortero MK20C del patrón y con una resistencia de 13,04Mpa



7.5.5 Graficas de comparación de compresión

Por medio de estas graficas se evaluaron los aditivos para tener más claridad de cuál de los aditivos es el más recomendable, pero también cabe aclarar que para estas graficas solo se tuvo en cuenta los aditivos de pumita y laterita níquelífera y las resistencias de los morteros; la diatomita no se pudo tener en cuenta debido a que a estos morteros con este tipo de adición solo le aplico curados de 14 días, debido al poco material que de esta roca se tenía.

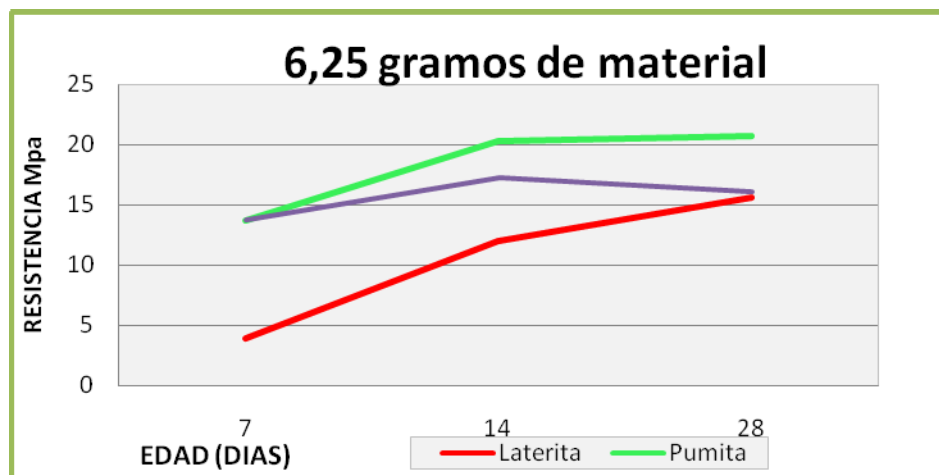
En la tabla 25 se muestran los datos de los aditivos (laterita y pumita) versus la muestra patrón.

7.5.5.1 Mezcla De 6,25 Gramos De Aditivo. En la tabla 26 se muestran los datos de resistencia a la compresión de los aditivos (laterita y pumita) para una cantidad de 6,25 gramos versus la muestra patrón.

Tabla 26. Comparación datos de resistencia de muestras con 6.25 gramos

DIAS	6,25 GRAMOS		
	Laterita	Pumita	Patrón
7	3,87866667	13,6626667	13,72
14	12,01333333	20,30933333	17,212
28	15,59733333	20,70933333	16

FIGURA 32. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita, laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25gr de materiales.



En la Figura 32 se puede observar que entre los aditivos y el patrón hay una similitud y es que a medida que se aumenta el tiempo de curado, aumenta la resistencia en cada uno de ellos, pero inevitablemente la pumita con relación tanto al aditivo de laterita níquelífera como de los patrones, con la pumita se observa una resistencia más alta. Por el contrario la laterita níquelífera es la que presenta resistencias más bajas sin importar si el tiempo de curado es de 7, 14 y 28 días, confirmando los resultados de Vargas et al. (2005) y Costafreda (2008) al experimentar de igual manera que tanto para las pumitas como para las zeolitas

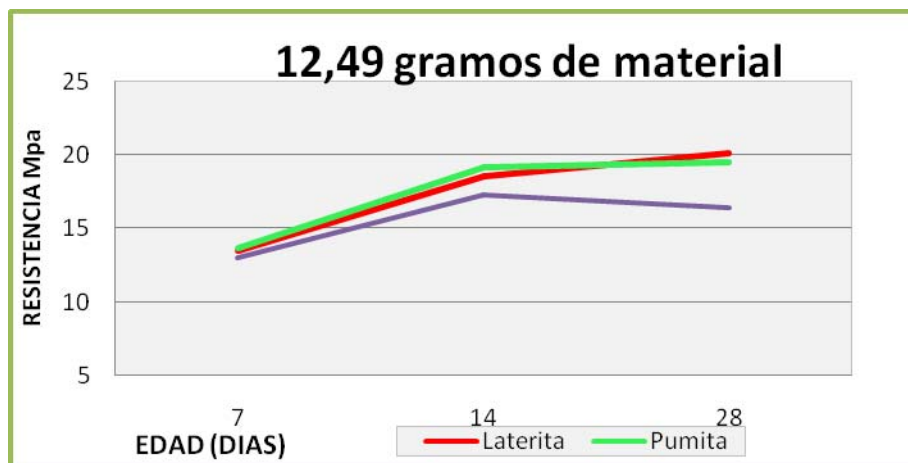
respectivamente a mayor tiempo de curado mayor será su resistencia a la compresión.

7.5.5.2 Mezcla de 12,49 gramos de aditivo. En la tabla 27 se muestran los datos de resistencia a la compresión de los aditivos (laterita y pumita) para una cantidad de 12.49 gramos versus la muestra patrón.

Tabla 27. Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos

DIAS	12,49 gr		
	Laterita	Pumita	Patrón
7	13,52	13,6626667	13,04
14	18,556	19,1586667	17,32
28	20,1573333	19,4997667	16,4

FIGURA 33. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 12,49gr de materiales.



Para la Figura 33 y la Tabla 27 se observa algo totalmente diferente a la anterior grafica con cantidades de aditivos de 6,25 gr. Los aditivos de laterita niquelífera y pumita con curados de 7 días tienen la misma resistencia y al pasar a curados de 14 días la pumita empieza a incrementar su resistencia, pero hacia los 28 días de curado la laterita niquelífera alcanza resistencias de hasta 20,15Mpa mientras que la pumita solo de 19,49Mpa, podríamos decir que para esta cantidad de aditivo la laterita es la más recomendable, pero se debe tener en cuenta que no hay mucha diferencia entre las resistencias de la laterita niquelífera y las de la pumita, mientras que por el contrario las resistencias de los patrones desde el curado de 7 días a 14 días van en aumento, al alcanzar los 28 días de curado alcanza resistencias de 16,4 Mpa muy debajo de los otros dos aditivos, por tanto en este caso sería recomendable adicionar laterita niquelífera y pumita, menciona Bodero y Perugachi (2009) en sus estudios que cuando se adiciona una mezcla de cemento y zeolita al 5 % no hay una diferencia significativa entre el aditivo y las muestras patrón a los 28 días. Mientras que cuando el aditivo supera en cantidad el 5% de aditivo, la resistencia a la compresión es mucho mayor.

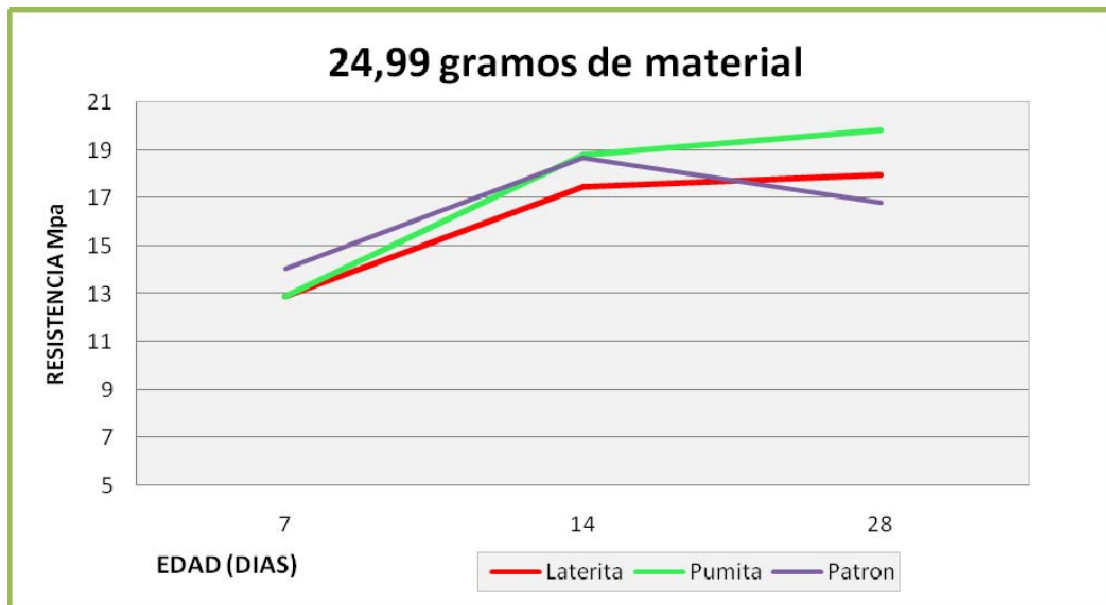
7.5.5.3 Mezcla de 24,99 Gramos de Aditivo

En la tabla 28 se muestran los datos de resistencia a la compresión de los aditivos (laterita y pumita) para una cantidad de 12.49 gramos versus la muestra patrón.

Tabla 28. Comparación datos de resistencia de muestras con 24.99 gramos

DIAS	24,99 gr		
	Laterita	Pumita	Patron
7	12,88	12,9013333	14,044
14	17,4506667	18,8173333	18,664
28	17,952	19,8173333	16,8

FIGURA 34. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 24,99gr de materiales.



En este caso, con adiciones de 24,99 gr, en la Figura 34 se observa nuevamente que la pumita es el material aditivo protagonista, debido a que este alcanza 19,81Mpa solo aumentando en comparación con la prueba anterior 0,317Mpa, mientras por el contrario, para la laterita con 17,952Mpa de resistencia disminuye 1,547Mpa con respecto al caso anterior.

7.6 ATAQUE DE SULFATO DE MAGNESIO

Como se comentó anteriormente este proceso se dio después de 21 días de curado para después de esto, adicionar la solución previamente preparada de sulfato de magnesio.

Para estos morteros los cambios visuales son en algunos casos muy notorios ya que, al momento de cumplir las semanas estipuladas para el ataque de sulfato de magnesio, los cubos toman un color blanco en todas sus paredes debido a la

concentración 0,4M de sulfato de magnesio. Los resultados de esta prueba están sintetizados en las siguientes tablas y figuras.

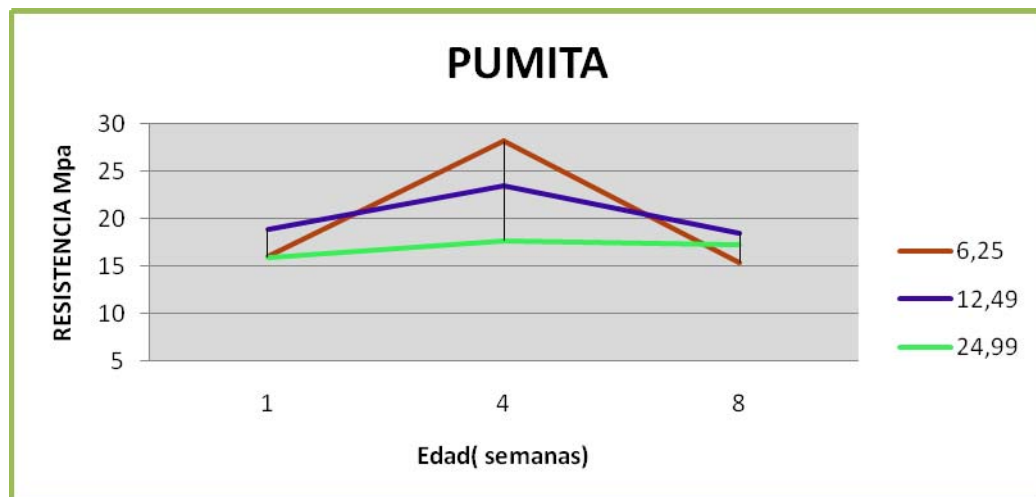
7.6.1 Pumita

En la tabla 29 se muestran los datos de resistencia de los aditivos pumita, cubos sometidos a curados durante 7, 14 y 28 días.

Tabla 29. Datos de resistencia a la compresión de los aditivos pumita

PUMITA			
	6,25	12,49	24,99
1	15,972	18,8733333	15,9506667
4	28,152	23,4933333	17,7026667
8	15,3746667	18,5186667	17,192

FIGURA 35. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con sulfato de magnesio, con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 gr, 1249gr, 24,99gr de materiales.



En La Figura 35 se puede observar para esta prueba que sin importar la cantidad que sea de aditivos las parábolas que toma esta grafica son mas cóncavas, alcanzando su punto máximo de resistencia a la 4 semana donde 12.49 gr de aditivo se comporta óptimamente bajo están condiciones, destacando que las probetas al cumplir su curado de 8 semanas y ser sometidos a pruebas de compresión los morteros ya están demasiado débiles por tal su resistencia disminuye considerablemente. En la figura 36 se observa como se trabajo con el mortero MK157P.

Figura 36 .Resistencia del mortero MK157P Antes y después de la compresión del mortero MK157P y con una resistencia de 17,88Mpa.



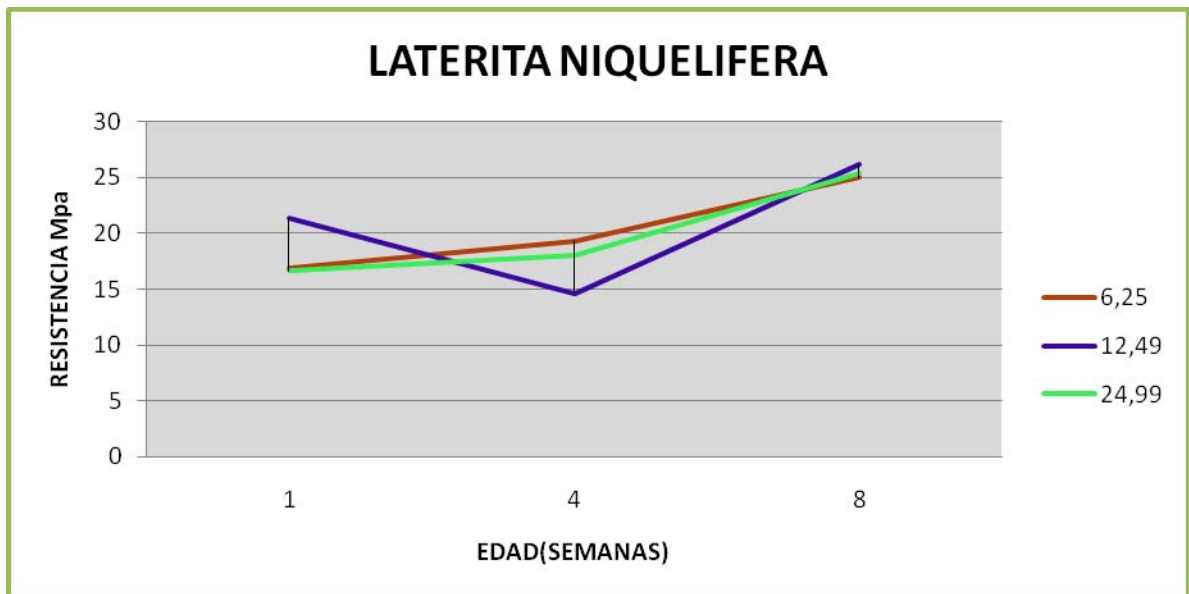
7.6.2 Laterita Niquelifera

En la tabla 30 se muestran los datos de resistencia de los aditivos laterita con ataque de sulfato, cubos sometidos a curados durante 7, 14 y 28 días.

Tabla 30. Datos de resistencia a la compresión de los aditivos laterita niquelífera

LATERITA NIQUELIFERA			
	6,25	12,49	24,99
1	16,9066667	21,3733333	16,5986667
4	19,3186667	14,64	17,988
8	25,016	26,1373333	25,42

FIGURA 37. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con sulfato de magnesio, con aditivo de laterita niquelífera sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 gr, 1249gr, 24,99gr de materiales



Al realizar los ensayos de ataque al sulfato y teniendo como resultados los valores mostrados en la Figura 37 se demuestra que el aditivo de Laterita Niquelífera al cabo de la primera semana con una resistencia de 21.37 Mpa en un contenido de aditivo de 12.49 gr, tuvo las mejores condiciones de curado que con otra cantidad en gramos de aditivo, disminuyendo su resistencia al cabo de 4 semanas pero después de utilizar probetas con un curado de 8 semanas se observa que su

resistencia fue incrementando hasta lograr una resistencia de 25,42 gr por lo que se compara con el aditivo de Limolita ya que después de alcanzar un curado de 28 días esta alcanza resistencias hasta de 36.4 gr por la cual Hermenejildo et al. (2010) confirma que se cumple las especificaciones vigentes para los cementos mezclados. Cuando se observa la grafica de Pumita se destaca que la mejor cantidad en gramos de aditivo utilizada fue de 6,25 gr no superando considerablemente la cantidad de aditivo de 24.99 gr. La Figura 38 nos refleja el estado de una probeta de Laterita niquelífera después de ser sometida a una solución de ácido sulfúrico, para luego realizarse una prueba de resistencia a la compresión a esta probeta.

FIGURA 38. Antes y después de la compresión del mortero MK149L y con una resistencia de 20,04Mpa.



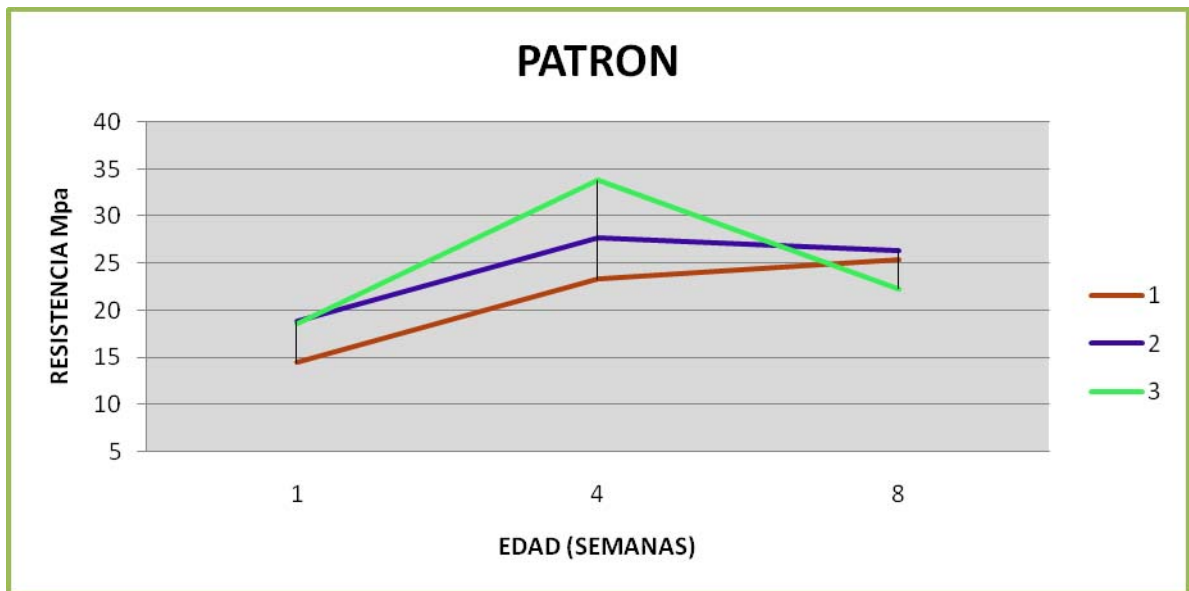
7.6.3 Patrón

En la tabla 31 se muestran los datos de resistencia del patrón con ataque de sulfato, cubos sometidos a curados durante 7, 14 y 28 días.

Tabla 31. Datos de resistencia del patrón.

PATRON			
	1	2	3
1	14,48	18,824	18,52
4	23,28	27,76	33,8
8	25,432	26,312	22,248

FIGURA 39. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con sulfato de magnesio, patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 gr, 1249gr, 24,99gr de materiales.



La Figura 39 muestra para el primer patrón un aumento de manera secuencial en su resistencia hasta llegar a la 8 semana de curado, situación similar para el segundo patrón, se observa que para el patrón 3 que inicia la primera semana de ataque con buenas resistencias y alcanza su punto de equilibrio en la 4 semana, presentando una lectura de 33,8 Mpa, y a partir de ese tiempo curado la curva desciende considerablemente hasta la 8 semana de curado, la cual demuestra que estas probetas al ser sometidos a ataques de sulfatos, su punto de mayor

resistencia se da a un curado de 4 semanas. En la Figura 40 se observa el estado una probeta patrón después de ser sometido a un ataque de sulfato de magnesio para luego llevar a cabo la prueba de resistencia a la compresión.

FIGURA 40. El antes y después de la compresión del mortero MK163C y con una resistencia de 18,52Mpa.



7.6.4 Graficas de comparación de sulfato de magnesio

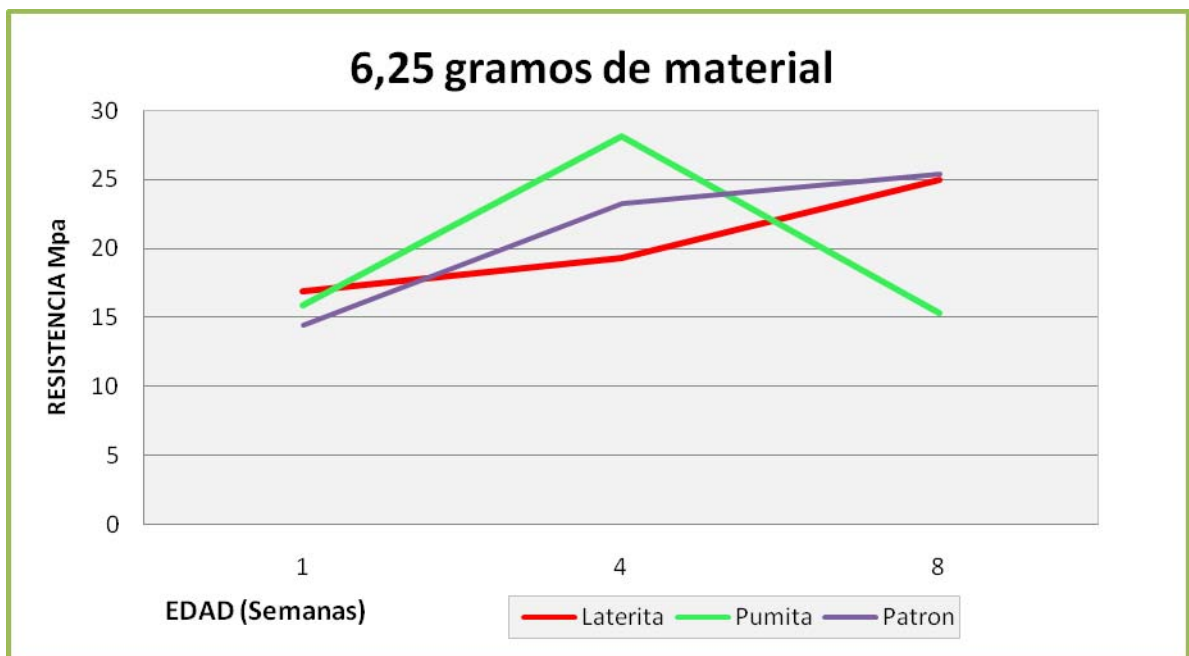
Al igual que en la parte de la compresión solo con 7, 14 y 28 días de curado, aquí para las pruebas de ataque de sulfato de magnesio también se tuvo en cuenta los materiales adicionados (pumita y laterita níquelífera) con cemento, arena y agua y las mezclas de solo agua cemento y arena, a continuación los resultados de cada comparación hecha para la resistencia de los morteros con ataque de sulfato de magnesio se encuentran sintetizados en las tablas siguientes.

7.6.4.1 Mezclas con adiciones de 6,25 gramos. En la tabla 32 se muestran los datos de los aditivos (laterita y pumita) versus la muestra patrón en la prueba de sulfato de magnesio con curados de 21 días.

Tabla 32. Comparación datos de resistencia de muestras con 6.5 gramos

SEMANAS	6,5 GRAMOS		
	Laterita	Pumita	Patron
2	16,9066667	15,972	14,48
4	19,3186667	28,152	23,28
8	25,016	15,3746667	25,432

FIGURA 41 .Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25gr de materiales.



Fuente: Autores.

En la Figura 41 se percibe para el aditivo de Pumita una mayor resistencia hacia la 4 semana (28,152Mpa), pero presenta luego hacia las 8 semanas de ataque un descenso abrupto con una resistencia de 15,37 Mpa, disminuyendo en 12,77 Mpa. Por otra parte se encuentra el aditivo de laterita niquelífera con un aumento gradual conforme aumenta su tiempo de curado alcanzando hasta 25,016Mpa. Y por último el patrón que presenta la menor resistencia hacia la primera semana de

ataque pero aumento gradualmente, hasta llegar a la mayor resistencia de 25,43 Mpa. Por ende se puede analizar que aunque este patrón presento la mayor resistencia no hubo cambios significativos entre la laterita níquelífera y el patrón hacia las 8 semanas de ataque, mientras que para la pumita aunque alcanzó una gran resistencia mostro cambios significativos hacia las 8 semanas de ataque de sulfato de magnesio.

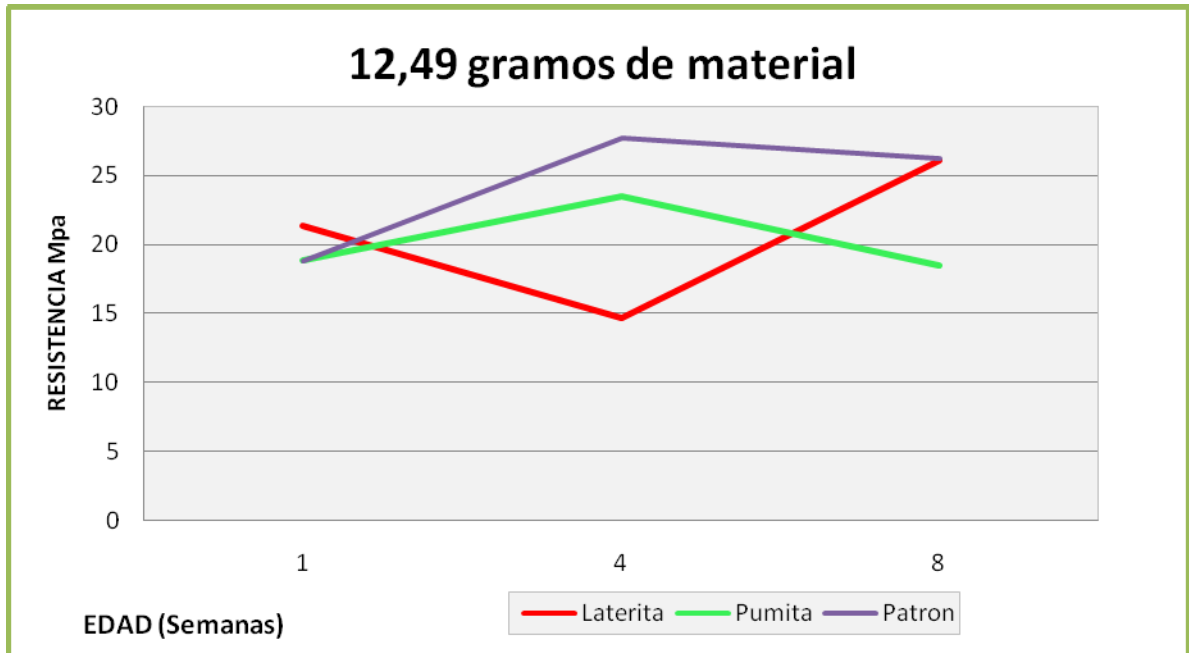
Por otra parte también se resalta que aunque se haya tenido una disminución de resistencia en la pumita, los dos aditivos no presentan resistencias menores a 15 Mpa

7.6.4.2 Mezcla con adiciones de 12,49 gramos. En la tabla 33 se muestran los datos de los aditivos (laterita y pumita) versus la muestra patrón en la prueba de sulfato de magnesio con curados de 21 días.

Tabla 33. Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos

SEMANAS	12,49 gr		
	Laterita	Pumita	Patron
1	21,3733333	18,8733333	18,824
4	14,64	23,4933333	27,76
8	26,1373333	18,5186667	26,312

FIGURA 42. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 12,49gr de materiales.



Fuente: Autores.

Para la Figura 42 se observa por el contrario a la anterior, que al aumentar la adición en gramos de los materiales hay una degeneración de los morteros con aditivos tanto de pumita como de laterita níquelífera en sus resistencia a la compresión comparadas con la muestra patrón el cual por el contrario alcanza una gran resistencia pasadas las 4 semanas de ataque, alcanzando 27,76 Mpa de resistencia.

En cuanto a los aditivos, la pumita empieza la primera semana con una resistencia de 18,873 Mpa aumentando en las 4 semanas de hasta 23,493 Mpa, pero después de estas 4 semanas disminuye hasta llegar a los 18,518 Mpa. La situación para la laterita es diferente ya q por el contrario hacia las 4 semanas de tiene una resistencia de 14,64 pero hacia las 8 semanas alcanza una resistencia

de 26,13Mpa, presentando solo una diferencia de 0,17466667 Mpa con morteros de patrones.

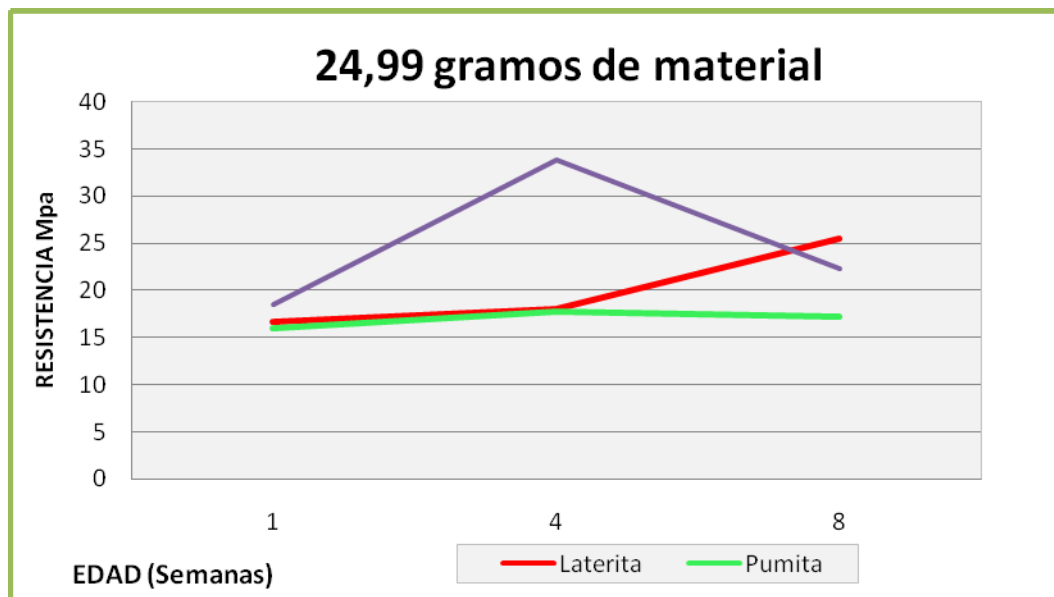
7.6.4.3 Mezclas de adiciones de 24,99 gramos

En la tabla 34 se muestran los datos de los aditivos (laterita y pumita) versus la muestra patrón en la prueba de sulfato de magnesio con curados de 21 días.

Tabla 34. Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos

SEMANAS	24,99 gr		
	Laterita	Pumita	Patron
1	16,59866667	15,95066667	18,52
4	17,988	17,70266667	33,8
8	25,42	17,192	22,248

FIGURA 43. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 24,99gr de materiales.



Fuente: Autores.

Para esta grafica (figura 43) inevitablemente se muestra que la muestra patrón alcanza una gran resistencia 33,8Mpa hacia las 4 semanas, mientras que para los materiales aditivos conservan una constante resistencia así como lo demuestra el aditivo de pumita en una acción lineal a comparación de la laterita esta a la 8 semana alcanza una resistencia máxima de 25,42 Mpa.

7.7 ATAQUE A ACIDO SULFURICO

Para este ataque también se utilizó la técnica de hallar el volumen de agua necesaria para mezclar con el acido, todo este proceso teniendo en cuenta que para someter a estos morteros a este ataque, debieron dejarse en curado durante 21 días con periódico tanto en la base como en el techo de los morteros humedecido 3 veces al día. Entonces con 234.98 cm³ y con 10,79 lt de agua se obtuvo la mezcla para el ataque y así se proseguir sumergir los 21 cubos para diferentes semanas de ataques. A continuación se presenta en la tabla 35 los diferentes datos obtenidos con los diferentes tiempos de ataque para la laterita niquelífera.

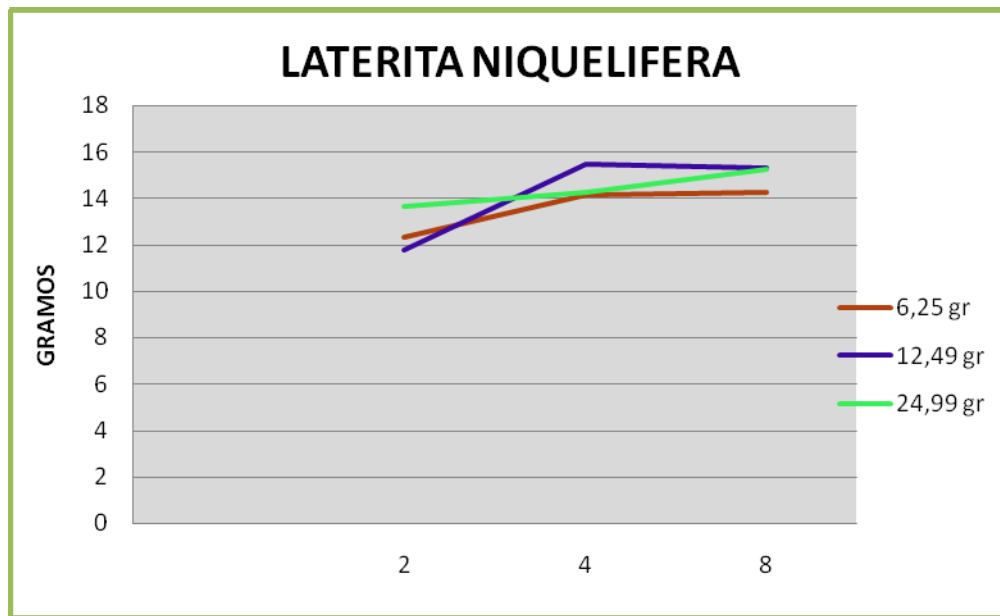
7.7.1 Laterita niquelífera

En la tabla 35 se muestran los datos del aditivo de Laterita Niquelífera en la prueba de ataque de acido sulfúrico con curados de 21 días.

Tabla 35. Datos de resistencia del Laterita niquelífera

LATERITA NIQUELIFERA			
SEMANAS	6,25 gr	12,49 gr	24,99 gr
2	12,33733333	11,75733333	13,6666
4	14,12	15,49333333	14,248
8	14,22666667	15,34666667	15,25333333

FIGURA 44. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con ácido sulfúrico, morteros de laterita niquelífera sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 g, 12,49g, 24,99g de materiales.



En la Figura 44 se determina que la proporción de 12,49 g de aditivo de laterita es la que presenta un mejor comportamiento frente a este ataque, no menospreciando la proporción de 24,99 gr la cual se mantiene a la par con la mencionada alcanzando en conjunto para un tiempo de curado de 8 semanas una resistencia de 15.25 MPa. En la Figura 45 se percibe el estado de una probeta de laterita niquelífera sometida a un ataque de ácido sulfúrico, donde se percibe su cambio de color y volumen.

FIGURA 45. Proceso realizado para compresión de ataque de acido. **A y B** Antes y después de la compactación de mortero MK115L.**C y D.** Manchas presentadas después del ataque de acido sulfúrico a los morteros.



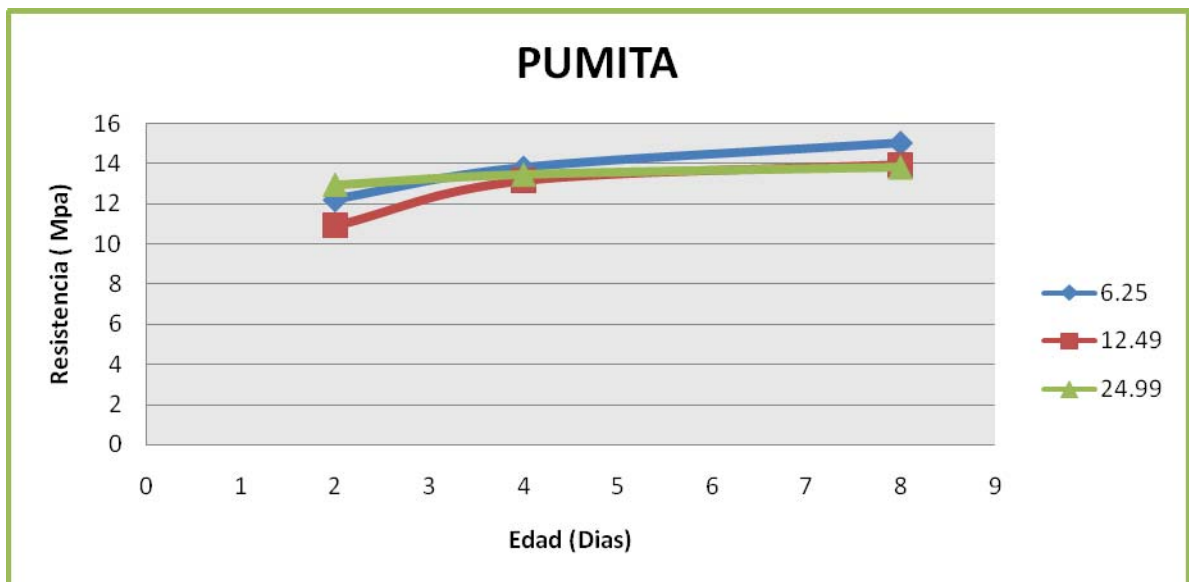
7.7.2 Pumita

En la tabla 36 se muestran los datos del aditivo de Pumita en la prueba de ataque de acido sulfúrico con curados de 21 días.

Tabla 36. Datos de resistencia de la pumita

PUMITA			
SEMANAS	6,25 gr	12,49 gr	24,99 gr
2	12,2133333	10,916	12,9506667
4	13,8133333	13,1466667	13,4666667
8	15,056	13,9466667	13,8266667

FIGURA 46. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con acido sulfúrico, morteros de pumita sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 g, 1249g, 24,99g.



La elaboración de esta grafica(figura 46)nos resume que sus resultados no son muy diferentes a los resultados de la grafica anterior (figura 45), en el sentido en que los efectos con el aditivo de la laterita niquelífera no estuvieron tan dispersos unos de otros , lo que sucede con la Pumita , las resistencias son muy parecidas entre sí, y aunque es muy arriesgado dictaminar cual de las tres componentes fue la adición

más adecuada, la proporción de 6,25g es la que de muestra un mejor comportamiento. Se observa en la Figura 46 el antes y después de una probeta de pumita después de un ataque de ácido sulfúrico en una prueba de resistencia a la compresión

FIGURA 47. Mortero.MK106P. Antes y después de la compactación, registró una resistencia de 18,95 MPa.



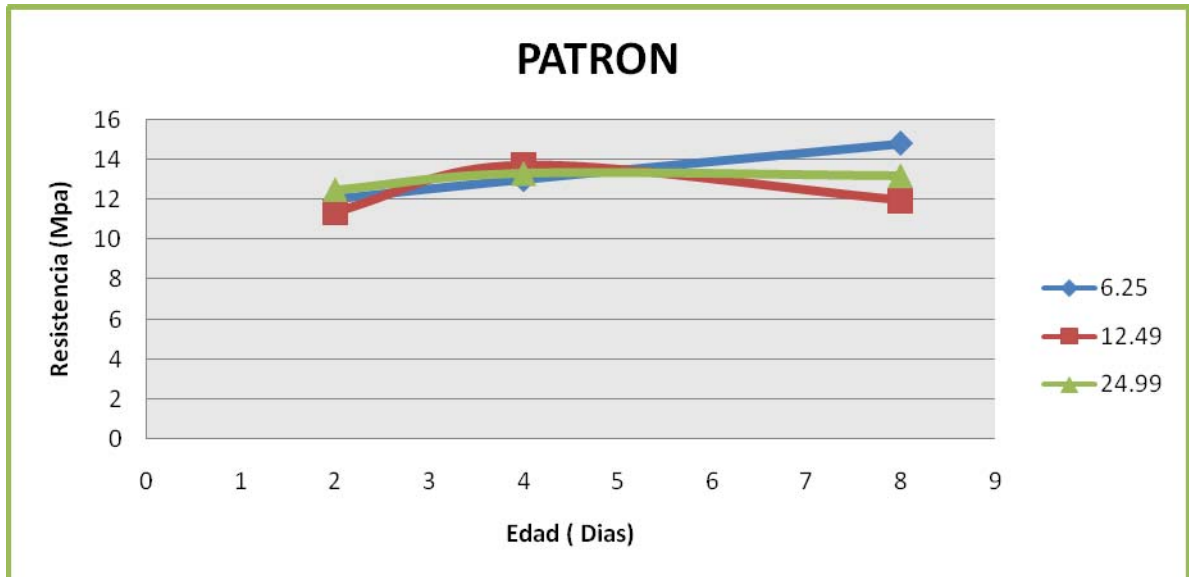
7.7.3 Patrón

En la tabla 37 se muestran los datos de resistencia a la compresión de la muestra patrón en la prueba de ataque de ácido sulfúrico con curados de 21 días.

Tabla 37. Datos de resistencia de patrones

PATRON			
SEMANAS	Mezcla1	Mezcla 2	Mezcla 3
2	12	11,36	12,496
4	13	13,72	13,32
8	14,812	11,96	13,2

FIGURA 48. Resistencia a la compresión vs edad de ataque de los morteros con acido sulfúrico, patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25 g, 1249g, 24,99g.



Fuente: Autores.

La grafica 48 muestra el comportamiento de los patrones usados para este ataque, aquí se obtiene que estas tres muestras se encontraron con resistencias muy similares desde las 2 primeras, pareciendo prometedoras, pero al llegar a las 8 semanas, el único patrón que sigue su acenso en la resistencia es el patrón que se realizo para la cantidad de aditivo de 6,25g De esta forma se determina que es preferible la proporción de 6,25g porque aumenta su resistencia en la 8 semana.

7.7.4 Graficas de comparación de acido sulfúrico

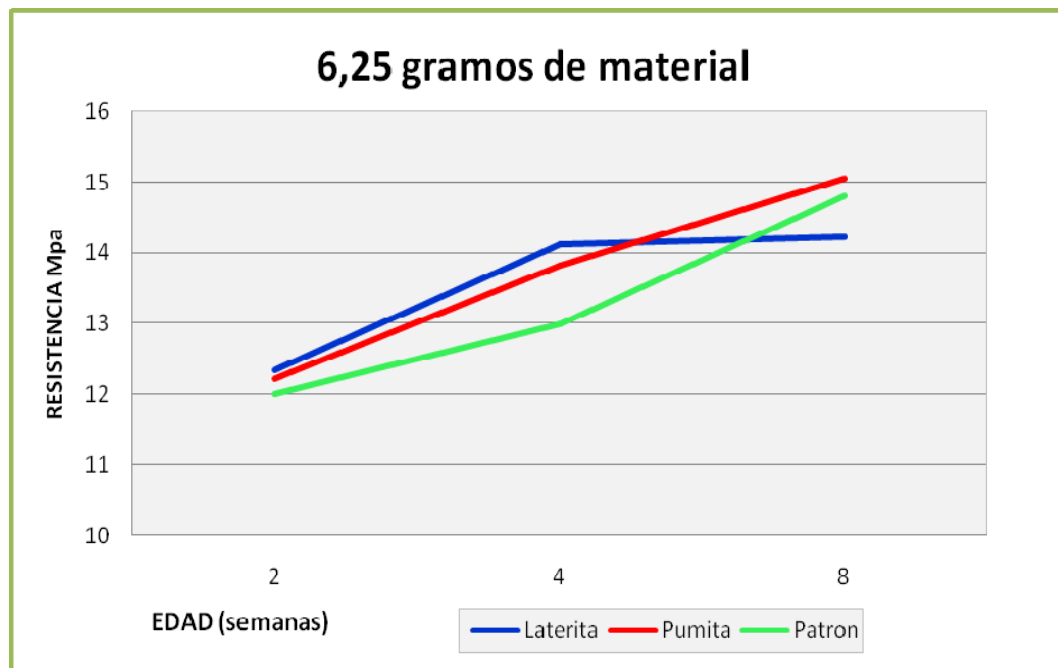
En la tabla 38 se muestran los datos de resistencia a la compresión de los aditivos (laterita y pumita) para una cantidad de 6,25 gramos versus la muestra patrón.

7.8.4.1 Mezclas con aditivos de 6,25 gramos

Tabla 38. Comparación datos de resistencia de muestras con 6.5 gramos, para todos los materiales utilizados

SEMANAS	6,5 GRAMOS		
	Laterita	Pumita	Patron
2	12,33733333	12,21333333	12
4	14,12	13,81333333	13
8	14,22666667	15,056	14,812

FIGURA 49. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 6,25g de materiales.



Para esta grafica (figura 49) se obtuvo resistencias menores a 13Mpa con un desempeño no muy óptimo, teniendo en cuenta que el mortero sin ningún tipo de aditivo, puede llegar a tener resistencias de 21 MPa hasta 24 Mpa. Aquí se

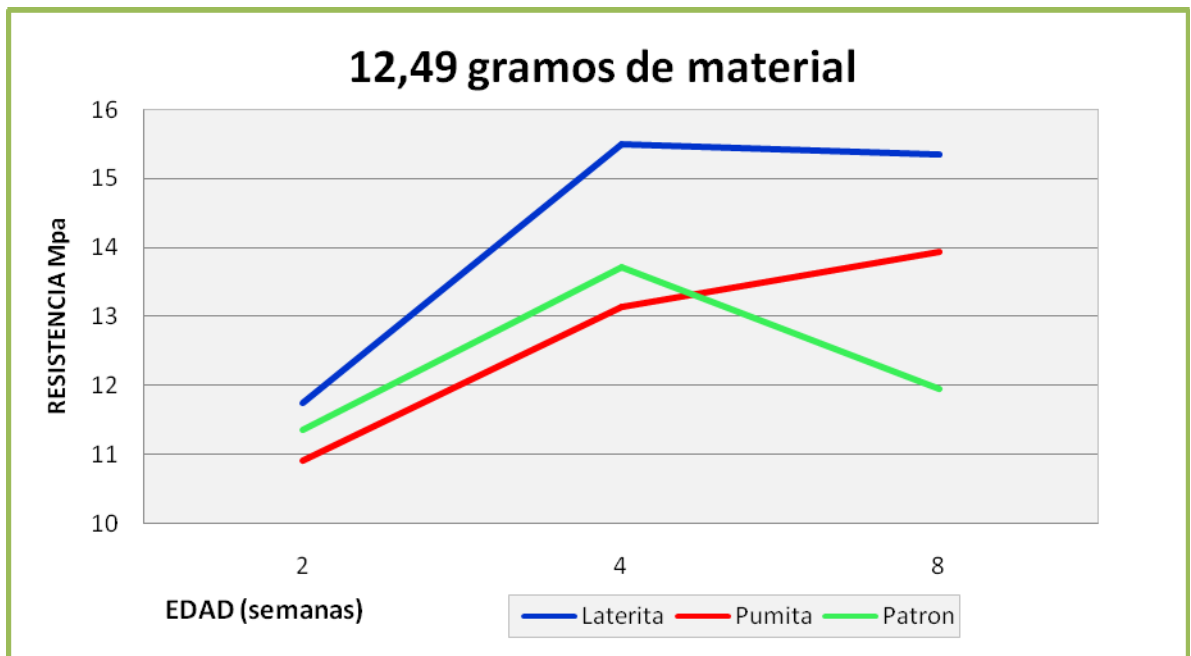
puede observar que la pumita en este caso es la más resistente como lo ha venido demostrando para adiciones de 6,25 gr en pruebas realizadas a resistencia a la compresión y a ataque al sulfato ya que empieza con una resistencia de 12,21 y termina con una resistencia de 15,56 Mpa siendo por esta ultima resistencia mejor que el patrón debido a que esta muestra hacia las 4 semana presenta un resistencia aproximada de 13 Mpa,La adición de laterita en esta cantidad hacia las dos primeras semanas parece ser prometedora , pero después de la 4 semana de curado este material mantiene su resistencia sin notables cambios.

7.7.4.2 Mezclas con aditivos de 12,49 gramos.. En la tabla 39 se muestran los datos de resistencia a la compresión de los aditivos (laterita y pumita) para una cantidad de 12.49 gramos versus la muestra patrón.

Tabla 39 Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos, para todos los materiales utilizados.

SEMANAS	12,49 GRAMOS		
	Laterita	Pumita	Patrón
2	11,75733333	10,916	11,36
4	15,49333333	13,1466667	13,72
8	15,3466667	13,9466667	11,96

FIGURA 50. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 12,49g de materiales.



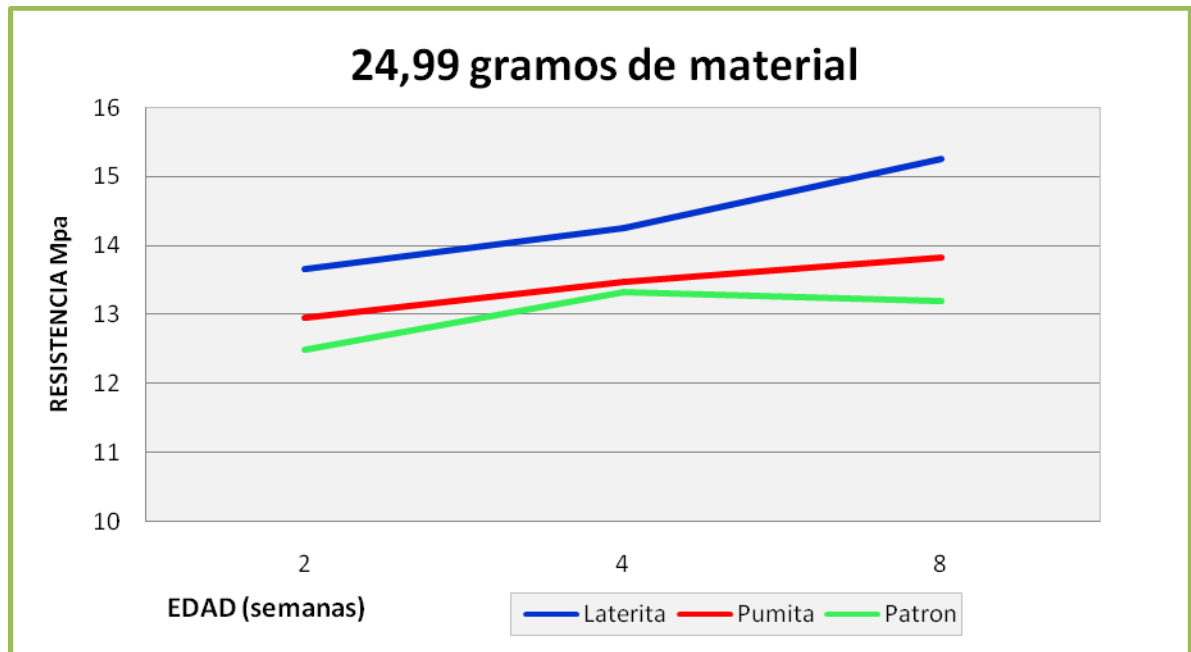
Se puede observar en la Figura 50 que para esta cantidad de aditivo lo obtenido ya es un poco más claro, pero teniendo en cuenta que las resistencias no son muy diferentes a las obtenidas anteriormente, aquí el patrón tiene una declinación muy fuerte después de las 4 semanas de ataque del ácido, hasta tener una resistencia menor a 12 Mpa. Por el contrario la laterita níquelífera y la pumita llegan hasta 15,49 y 13,94 Mpa, respectivamente.

7.7.4.3 Mezclas con aditivos de 24,99 gramos

Tabla 40. Comparación datos de resistencia de muestras con 12.49 gramos, para todos los materiales utilizados

SEMANAS	12,49 GRAMOS		
	Laterita	Pumita	Patrón
2	13,6666	12,9506667	12,496
4	14,248	13,4666667	13,32
8	15,2533333	13,8266667	13,2

FIGURA 51. Resistencia a la compresión vs edad de curado de los morteros con aditivos de pumita y laterita y los patrones sometidos a diferentes tipos de curado, con adiciones de 24,99g de materiales.



Nuevamente en esta grafica (figura 51) se observa que el patrón obtiene resistencias muy bajas y decrece cada vez que aumenta el tiempo de ataque del acido, contrario a lo que sucede con la pumita y laterita niquelífera que aunque sus resistencias no son optimas la resistencia que presentan los morteros con respecto a los patrones es mayor. Se destaca para este análisis que el aditivo de Laterita Niquelífera es quien demuestra ser más resistente a ataques a acido sulfúrico con una adición de 24.99 gr en una mezcla de cemento ,agua y arena, lo que sigue demostrando que este aditivo se comporta en mejor condiciones cuando su porcentaje en peso es mucho mayor.

7.8 ATAQUE A ALTAS TEMPERATURAS

Como se explico anteriormente para este ataque solo se necesito de curados de 28 días, para proseguir a un secado durante 2 horas y así llevar al horno las probetas a 250 °C durante 12 horas, para al siguiente día someter las probetas a Temperaturas de 300, 600 y 1000°C.

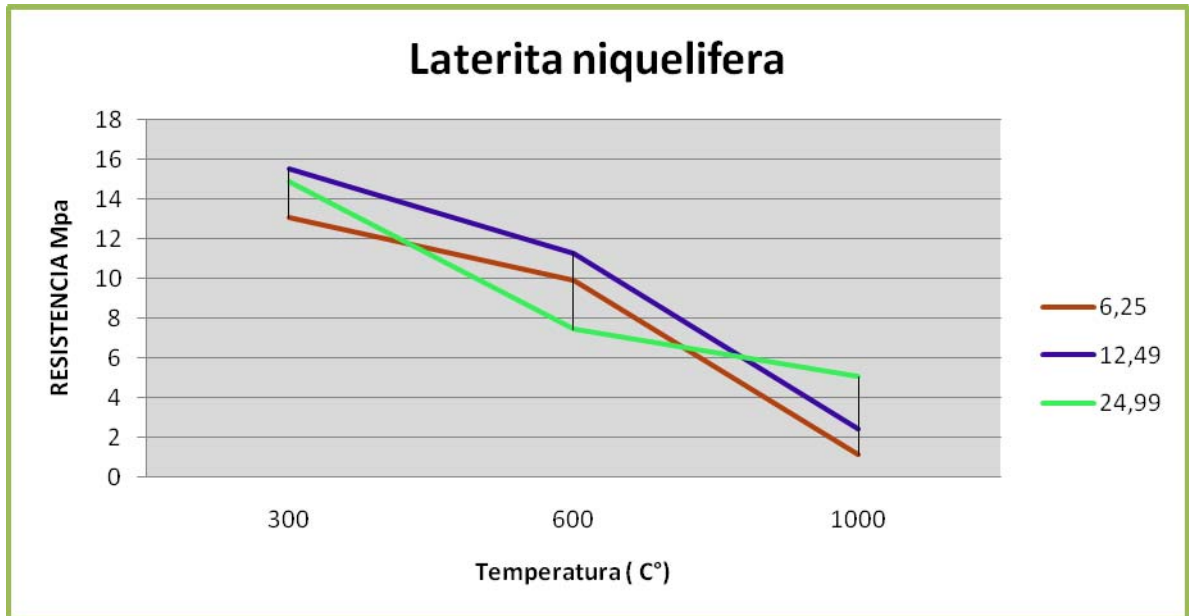
7.8.1 Laterita niquelífera.

En la tabla 41 se muestran los datos de resistencia a la compresión del aditivo de Laterita Niquelífera después de ser sometidas las probetas a ataques de Temperaturas a 300°, 600° y 1000°

Tabla 41. Datos de resistencia la compresión de laterita niquelífera, sometidas a ataques de temperatura.

LATERITA NIQUELIFERA			
T°	6,25	12,49	24,99
300	13,0666667	15,5386667	14,876
600	9,868	11,2733333	7,41866667
1000	1,10253333	2,39586667	5,044

FIGURA 52. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros con aditivos laterita sometidas a 28 días curado, con adiciones de 6, 25, 12,49 24,99g de materiales.



Fuente: Autores.

Para la Figura 52 se observa que se obtienen mayores resistencias a Temperaturas de 300 a 600°C, pero cuando la temperatura aumenta las resistencias son casi nulas comparando este aditivo con arcillas calcinadas quienes Alujas et al. (2010) obtienen resultados a 600 y 800°C una alta actividad puzolanica tanto en pastas como en morteros.

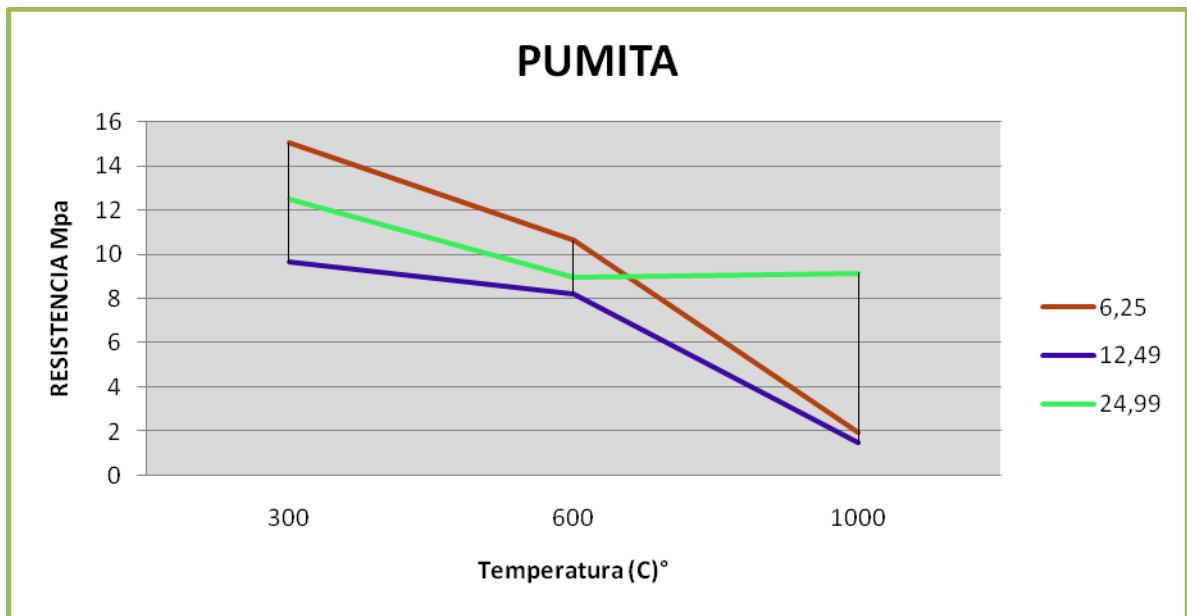
7.8.2 Pumita

En la tabla 43 se exponen los datos de resistencia a la compresión del aditivo de Pumita después de ser sometidas las probetas a ataques de Temperaturas a 300°, 600° y 1000°

Tabla 42. Datos de resistencia a la compresión de pumita, sometidos a ataques de temperatura

PUMITA			
T°	6,25	12,49	24,99
300	15,0266667	9,656	12,4764
600	10,644	8,18	8,98266667
1000	1,962	1,47746667	9,16266667

FIGURA 53. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros con aditivos laterita sometidos a 28 días de curado, con adiciones de 6, 25, 12,49 24,99g de materiales.



Para la Figura 53 se aprecia que al someter a temperaturas de 300°C morteros de adiciones de 6,25 gramos de Pumita , se observa un buen desempeño en la prueba de compresión , pero a medida que se aumenta la temperatura ,sus resistencias a la compresión decrecen hasta casi 2 Mpa, resistencias prácticamente nulas, Se destaca que para 24, 99 gramos de aditivo de Pumita al

llegar a Temperaturas de 600 °C con resistencia nos mayores de 10 Mpa, se mantiene constante hasta llegar a los 1000°C.

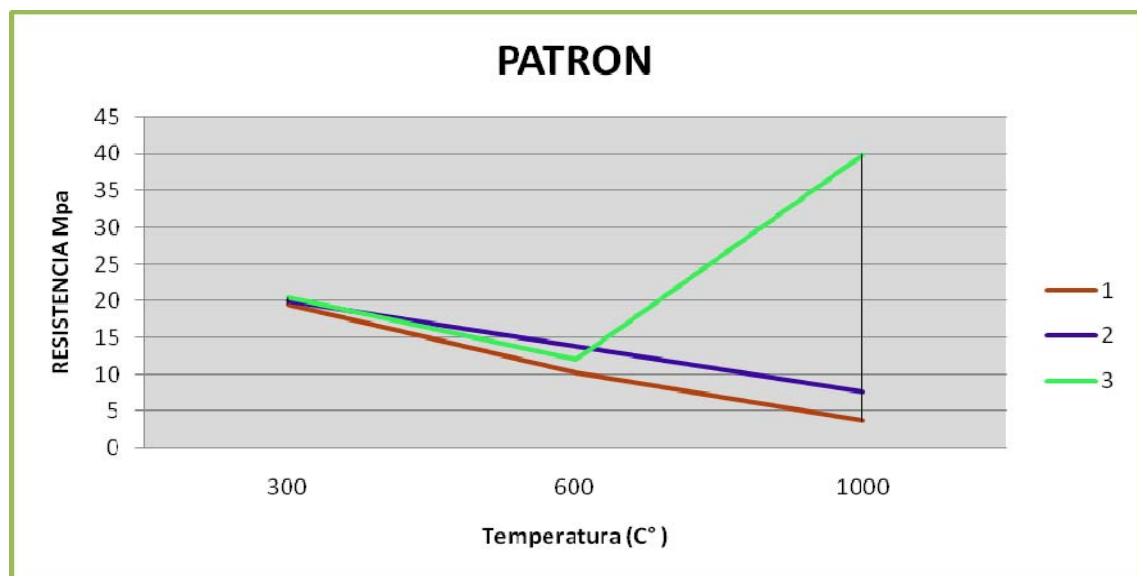
7.8.3 Patrón

En la tabla 43 se exponen los datos de resistencia a la compresión la Muestra Patrón después de ser sometidas las probetas a ataques de Temperaturas a 300°, 600° y 1000°

Tabla 43. Datos de resistencia la compresión de patrón, sometidos a ataques de temperatura

PATRON			
T°	6,25	12,49	24,99
300	19,6	20,068	20,488
600	10,244	13,824	12,048
1000	3,6956	7,648	39,944

FIGURA 54. Respuesta a la compresión de los morteros patrones sometidas a 28 días de curado.



Se observa en la Figura 54 que las probetas patrones presentan mayores resistencias, además presentan la peculiaridad que probetas Patrón 3 sometidas a 1000°C alcanzan hasta 40 Mpa de resistencia, mientras que para las otras mezclas a los 1000 °C se alcanzan resistencias por debajo de 5 Mpa.

7.8.4. Graficas de comparación de temperatura

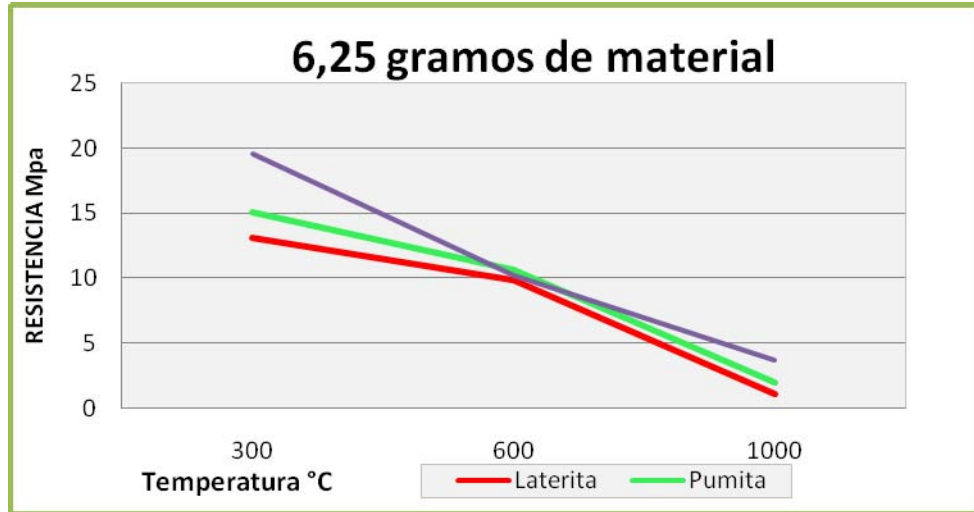
En la tabla 44 se muestran los datos de resistencia a la compresión de los aditivos (laterita y pumita) después de un ataque a Temperaturas de 300°, 600 y 1000° con una cantidad de aditivo de 6,25 gramos versus la muestra patrón.

7.8.4.1 Mezcla de aditivos de 6,25 gramos

Tabla 44. Comparación datos de resistencia la compresión de muestras con 6.5 gramos, 12,49g, 24,99g, sometidos a ataques de temperatura

TEMPERATURAS C°	6,5 GRAMOS		
	Laterita	Pumita	Patron
300	13,0666667	15,0266667	19,6
600	9,868	10,644	10,244
1000	1,10253333	1,962	3,6956

FIGURA 55. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros patrones y morteros con aditivos sometidos a 28 días de curado.



En la Figura 55 se puede observar que al haber una temperatura de 300 °C el mortero patrón alcanza su máxima resistencia con 19,6 Mpa mientras que las mezclas con aditivos obtuvieron resistencia menores de 15 Mpa a 600 °C prácticamente se obtiene que tanto para las mezclas con aditivos como los patrones, al llegar a Temperaturas de 1000 °C las resistencia de los morteros con o sin aditivos presentan un gran declive. Se aprecia en la Figura 55 el proceso llevado a cabo para someter una probeta a un ataque de Temperaturas, antes y después de la prueba de resistencia a la compresión.

FIGURA 56. Proceso realizados para el ataqué de temperatura.



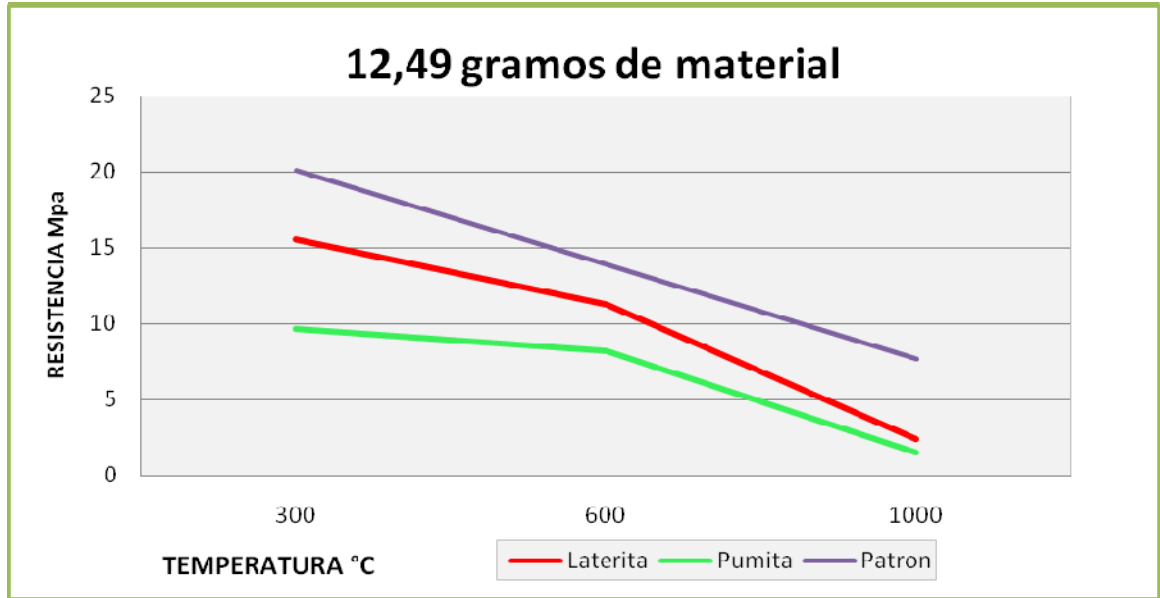
7.8.4.2 Mezcla de aditivo de 12,49 gramos

En la tabla 45 se muestran los datos de resistencia a la compresión de los aditivos (laterita y pumita) después de un ataque a Temperaturas de 300°, 600 y 1000° con una cantidad de aditivo de 12, 49 gramos versus la muestra patrón.

Tabla 45. Comparación datos de resistencia de muestras con 6.5 gramos, 12,49g, 24,99g, sometidos a ataques de temperatura.

TEMPERATURAS C°	612,49 GRAMOS		
	Laterita	Pumita	Patron
300	15,5386667	9,656	20,068
600	11,2733333	8,18	13,824
1000	2,39586667	1,47746667	7,648

FIGURA 57. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros patrones y morteros con aditivos sometidos a 28 días de curado.



Fuente: Autores.

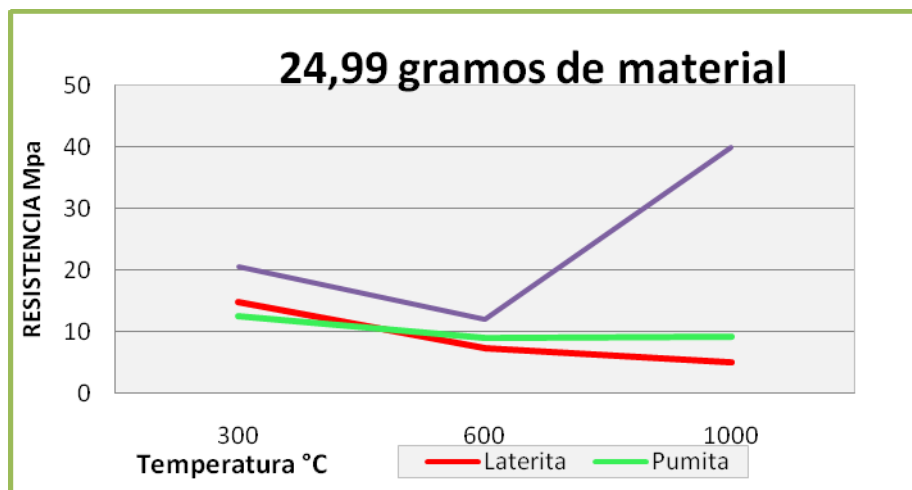
La Figura 57 demuestra un paralelismo entre las tres mezclas utilizadas obteniendo las mejores resistencias en la mezcla de cemento, arena y agua, con una mínima resistencia de 7,64 MPa y una máxima resistencia de 20,68 MPa mientras que para las mezclas de de cemento, arena laterita y agua obtuvo una máxima resistencia de 11,73 MPa, por otra parte la mezcla menos optima es la que presenta pumita, debido a que su máxima resistencia es de tan solo 8,18 MPa

7.8.4.3 Mezcla de aditivos de 24,99 gramos. En la tabla 46 se muestran los datos de resistencia a la compresión de los aditivos (laterita y pumita) después de un ataque a Temperaturas de 300°, 600 y 1000° con una cantidad de aditivo de 24,99 gramos versus la muestra patrón.

Tabla 46. Comparación datos de resistencia a la compresión con de muestras con 6.5 gramos, 12,49g, 24,99g, sometidas a ataques de temperatura.

TEMPERATURAS C°	24,99 GRAMOS		
	Laterita	Pumita	Patron
300	14,876	12,4764	20,488
600	7,41866667	8,98266667	12,048
1000	5,044	9,16266667	39,944

FIGURA 58. Resistencia a la compresión vs temperatura de los morteros patrones y morteros con aditivos sometidas a 28 días de curado.



En la Figura 58 se observa que se obtuvo mayores resistencias para las muestras patrón empezando desde el ataque a los 300 °C con una resistencia mayor a los 20 MPa, teniendo una caída en su resistencia de 12,048 MPa, aumentando la temperatura a los 600 °C con una resistencia máxima de casi 40 Mpa a los 1000°C, determinándolo como el motero mezcla más adecuado, mientras que para las adiciones de pumita y lateritalogran su máxima resistencia a los 300 °C con 14,87 MPa y 12,47 MPa respectivamente, presentando la pumita una reacción lineal decreciente ,mientras que la laterita níquelífera mantiene un descenso

progresivo hasta los 1000 °C, cuando Rodríguez et al. (2005) someten diatomitas a altas temperaturas su resultados demuestran lo contrario para muestras patrón ya que su resistencia a la compresión disminuye abruptamente mientras que para adiciones de un 20% de diatomita en mezclas de cemento, agua y arena estas exhiben un aumento de la resistencia, que disminuye levemente a temperaturas más altas.

CONCLUSIONES

Al caracterizar los aditivos por análisis de infrarrojo y Difracción de Rayos X se confirman grandes contenidos de Sílice, Óxidos de Fe y Arcillas tales como Caolinita y Montmorillonita, las cuales ofrecen una mayor durabilidad en los morteros.

Debido a las altas resistencias obtenidas, estos morteros se clasifican como morteros tipo M, superando el valor establecido de 17,5 MPa.

Para morteros sin ningún tipo de ataque se confirma que para las mezclas que contienen los aditivos en diferentes proporciones de laterita, pumita y diatomita a medida que aumenta el tiempo de fraguado, aumenta la resistencia a la compresión.

Para morteros con Diatomita se obtuvo la mayor resistencia a la compresión con 27,7 MPa para un 10% de sustituto de cemento.

El deterioro de los morteros con Pumita y Laterita Niquelífera, frente a ataques de ácido sulfúrico, no fue tan elevado debido al contenido de Sílice que estos aditivos presentan.

Los morteros con 2,5%, 5%, 10% de aditivos sometidos a 300 °C de Temperatura presentan las mejores resistencias, destacándose el mortero patrón, con la cual se obtuvo las mejores resistencias.

La ventaja de estos aditivos es que presentan muy poco o nada de materia orgánica y la reutilización de residuos mineros en el caso de la Laterita Niquelífera mientras que la desventaja principal de estos aditivos radica en la poca extracción de estos materiales a excepción de la Laterita.

RECOMENDACIONES

Para cualquiera de los tres aditivos es considerable someterlos a mas días de curado, mayores a 28 días, con el fin de que posiblemente halla un aumento en su resistencia.

Para el aditivo de Laterita Niquelífera es recomendable hacer pruebas Ultravioletas y de absorción atómica para poder reconocer totalmente su composición.

Es recomendable aumentar el grado de molienda de la Puzolana con la cual se aumentara su resistencia cuando interactúan finuras altas.

Es recomendable aumentar la cantidad de sulfato de magnesio

BIBLIOGRAFÍA

ALUJAS A., FERNÁNDEZ R., MARTIRENA F., Scrivener K., Quintana R. Evaluación del empleo de una roca arcillosa calcinada a diferentes temperaturas como material puzolánico para el remplazo de altos volúmenes de cpo. En: Revista Cubana de Química. Vol. 22, No 2, (2010). 64 p.

ALVAREZ MANTILLA, Hernando. Síntesis y caracterización de las propiedades fisicomecánicas de geopolímeros a partir de puzolana para su aplicación en la industria. Santander, 2010, 118p. Trabajo de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. Facultad Fisicoquímica. Departamento de Geología.

BALLET Jorge. Tierras de diatomeas, curiosidad natural al servicio de la industria. En: Revista Creces, Ciencia y Tecnología. Div. Minerales Industriales, Eprom. Ltda. (Mayo, 2005).

BECKER Edgardo. Cemento Portland: Características y recomendaciones de uso. En: Boletín Arqcon. Vol. I, N°22. (Septiembre, 2011).

BARLUENGA BADIOLA, Gonzalo. Cementos y morteros: Curso Materiales de Construcción. (En línea). [https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MAASIG/32912/TAB42351/Tema%208%20\(II\)%20\(Cementos%20y%20Morteros\)%20Materiales%20TSA.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MAASIG/32912/TAB42351/Tema%208%20(II)%20(Cementos%20y%20Morteros)%20Materiales%20TSA.pdf). (Citado en 18 de Febrero de 2012)

BODERO, C., PERUGACHI, R. Estudio y Simulación del Comportamiento del Cemento Portland Tipo I con la adición del 5% de Zeolita Ecuatoriana mediante Curado al Aire. En: Repositorio Digital de la Producción Intelectual Institucional (en línea), Febrero de 2009. (Citado 7 de Diciembre de 2011). Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/81>

BONAVETTI, V. L., MENÉNDEZ, G., DONZA, H. A., RAHHAL, V. F., IRASSAR, E. F. Cementos compuestos elaborados con puzolana natural y escoria granulada de alto horno. En: Materiales de Construcción (en línea), Vol. 56, N. 283, 25-36 p, (Julio-septiembre 2006) (Citado en 12 de enero de 2012). Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/6/5>

CABALLERO MOYA, Erich, SANCHEZ OSORIO, Wilson. Síntesis de nuevos cementos geopoliméricos a partir de subproductos mineros (colas no cianuradas) de la Mina La Baja, Distrito de California, Santander. Santander, 2010, 94 p. Trabajo de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. Facultad Físicoquímica. Departamento de Geología.

Cemento Panama. Arena caliza para concretos y morteros. [en línea] <http://www.cementopanama.com/Portals/0/productos/agregados/arena_caliza_para_concretos_y_morteros.pdf < [19 de abril del 2012]

CEMEX COLOMBIA. Tipos de cemento. [En línea].

<http://www.cemexcolombia.com/np/np_ce_sa.html. [Citado en 13 de enero de 2012]

CORONADO LIZARAZO, Fabiola, FLOREZ ARIAS, Paola. Estudio Comparativo de las propiedades físico-mecánicas de geopolímeros utilizando granito y residuos de la industria ladrillera como materias primas alternativas al cemento Portland Tipo I. Santander, 2010, 100 p. Trabajo de grado (Geóloga). Universidad Industrial de Santander. Facultad Físicoquímica. Departamento de Geología.

COSTAFREDA, JORGE LUIS. Geología, caracterización y aplicaciones de las rocas zeolíticas del complejo volcánico de Cabo de Gata (Almería): Madrid, 2008., 78 p. Doctorado (Ingeniería Geológica). Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de Ingeniería Geológica

ESCALANTE GARCIA, José. Materiales alternativos al cemento Portland. En: Avance y Perspectiva. Vol.21, (Marzo- Abril, 2002); 81-87 p

FALCONE, D. D., SOTA, J. D., BATIC, O. R. Evolución de la resistencia mecánica de morteros con cemento Pórtland y puzolanas naturales. En: Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales. CONAMET/SAM (2006: La Plata, Argentina). Memorias del 6° Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales.

GOMEZ, H., CORNEJO, M. Determinación de la Variación que se Genera en la Resistencia a la Compresión cuando se Adiciona 20% de Limolita con un Curado bajo Agua al Cemento Portland Tipo I. En: Revista Tecnológica ESPOL (en línea), Vol. 20, N.1. 6p (Octubre 2008), (Citado en 14 de enero de 2012). Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2383/1/4723.pdf>

GONZALES, Manuel. Ataque químico al concreto. En: Exposición en el ciclo organizado por el ACI, Capítulo Peruano sobre Corrosión en Estructuras de Concreto. Perú, 1991.

HERMENEJILDO, Andrea, LEON, Joyce, PROAÑO, Gaston. Caracterización básica de la Limolita (Formación Las Masas – Guayaquil) como material puzolánico y su influencia como aditivo en las propiedades del cemento tipo I. En: Repositorio Digital de la Producción Intelectual Institucional (en línea), (Abril de 2010). Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10049>(Citado en 10 de Diciembre de 2011)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION, NTC 31Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento Portland. Definiciones.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION, NTC 121 Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento Portland. Especificaciones físicas y mecánicas.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. NTC 127 Concretos. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION, NTC 220. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION, NTC 1299. Concretos. Aditivos químicos para concreto.

I.N.V.E 323 -07. Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico.

JARAMILLO PEREZ, Eliana, PLATA CHAVES, Josue. Caracterización de geomateriales y evaluación de su uso en la preparación de materiales para la construcción de vivienda sustentable en Bucaramanga. Santander, 2012, 128 p. Trabajo de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. Facultad Físicoquímica. Departamento de Geología.

LATORRE CAÑÓN, Andrés., LRIEU ALCARAZ, Juan Carlos., RODRIGUEZ SANMIGUEL, Narciso: Bogotá, 2008, 58 p .La industria del cemento en Colombia determinantes y comportamiento de la demanda. Tesis de Maestría Analista Económico. Universidad Pontificia Javeriana. Facultad de Ciencias Económicas.

MATALLANA RODRIGUEZ, RICARDO. Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Bogotá: Instituto Colombiano de Productores de Cemento, 2006. 150 p. ISBN 9589741169, 9789589741160

MOLINA BAS, Omar I., GALVEZ RUIZ, Jaime C., MORAQUES Terrades, Amparo. La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Portland en la durabilidad del hormigón. Madrid, 2008. Trabajo doctoral (Ingeniero Civil). Universidad E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). Facultad de Ingeniería Civil.

National ready.Mixed concrete asociation (NRMCA).Adiciones al cement.[en linea]<<http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP30es.pdf>< [19 de abril del 2012]

ORIZOLA, SEBASTIÁN ANDRÉS. Uso de escoria de cobre en cementos: Santiago de Chile, 2006, 86 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Chile. Facultad de Ingeniería Civil.

ORTIZ, Eduardo. Guías para la localización de metales preciosos en ofiolitas colombianas: características mineralógicas y petrográficas del yacimiento de níquel de cerro matoso. En: Revista Dyna, Nro.142 (Julio, 2004) 11-23 p. ISSN 0012- 7353

OSPINA, M., DE GUTIERREZ, R.M., DELVASTO, S., MONZO, J., BORRACHERO, M.V., PAYA, J. Modificación de la morfología de la ceniza de cascarilla de arroz por molienda de alta energía y su efecto en las propiedades reológicas de pastas de cemento Portland adicionadas. En: Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 2009.

REBOLLO, Arturo. Las propiedades puzolanicas de la piedra pómez volcánica del pre-pirineo gerundense y sus posibilidades industriales. En: Revista de Obras Públicas, Abril 1968. 273-283 p.

RODRIGUEZ, Ana., ROMERO, Jorge., OLIVARES, Eleodoro. Comportamiento refractario de probetas de morteros conformadas con diatomitas como agregado mineral. En: Revista Colombiana de Química, 2005, Volumen 34, No. 2. 139-146 p.

Romero & Barrios. Las arcillas: propiedades y usos. Arcillas industriales[en línea] <<http://campus.usal.es/~delcien//doc/GA.PDF>>[20 de abril del 2012]

SALAMANCA CORREA, Rodrigo. La tecnología de los morteros En: Red de Revistas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. No. 11 (Dic., 2011) 41-48 p. ISSN 0124-8170

SANDOVAL, José. Yacimientos de diatomita en el Valle del Cauca. Ministerio de minas y petróleos. En: Servicio geológico nacional. Informe 930. Bogotá, (1953) 5-6.p

TARGAN, S., OLGUN, A., ERDOGAN Y., SEVINC, V. Influence of natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash and fly ash on the properties of Portland cement. En: Cement and Concrete Research, 2003, Vol. 33. 1175-1182 p.

TAYLOR H. La química de los cementos En: Urmo de ediciones. Vol. I. España, (1978),39,85,134p.

TERRADES MORAGUES AMPARO, Procesos de hidratación del cemento portland y Microestructura del hormigón En: E.T.S.I. Caminos Canales y Puertos (en línea) (2008) Disponible en: <http://prt2.uprm.edu/Microestructura.pdf>, (citado en 15 de Marzo del 2012)

TOBON, Jorge Iván. Puzolanas en los alrededores de Irra. En: Centro de

publicaciones DYNA. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 2000, Vol. 74, No. 152, ISSN 1665-529X. 11-19 p.

VARGAS DEL RIO, David., ZARATE DEL VALLE, Pedro., GUTIERREZ, Humberto. Actividad puzolanica de las tobas pumiticas de la zona Metropolitana de Guadalajara. En: Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, 2005, Vol. 3. 2-19 p

VARGAS, German., RODRIGUEZ, Carlos., Metodología para la prospección de Níquel utilizando técnicas de sensores remotos. En: Boletín de Ciencias de la Tierra. No 25, (Diciembre- 2008, Junio- 2009) 43-66 p, ISSN 0120 3630.

ZAPATA CEBALLOS, Ángel. Estudio químico de la tierra diatomácea del Valle del Cauca. En: Monografía de investigación N° 8, (1997) 1-12 p

ANEXOS

AnexoA.Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS CON LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)									
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162							
MODELO/ SERIE		PS 25 –M							
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN							
PROYECTO		Determinación del carácter puzolánico de laterita niquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I							
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	FECHA DE FUNDICION	DIAS DE CURADO(EDAD DE MORTERO)	CANTIDAD DE ADITIVO	MORTERO	CARGA (KN)	RESISTENCIA	MEDIA	AREA DE MORTERO
RESISTENCIA A LA COMPRESION	06/12/2011		28	6,25	MK211L	40,36	16,144	15,59733333	2500
					MK212L	34,2	13,68		
					MK213L	42,42	16,968		
				12,49	MK214L	50,02	20,008	20,15733333	
					MK215L	50,13	20,052		
					MK216L	51,03	20,412		
				24,99	MK217L	48,13	19,252	17,952	
					MK218L	41,28	16,512		
					MK219L	45,23	18,092		
	13/12/2011		14	6,25	MK22L	32,9	13,16	12,01333333	
					MK23L	32,5	13		
					MK24L	24,7	9,88		
				12,49	MK25L	45,06	18,024	18,556	
					MK26L	51,01	20,404		
					MK27L	43,1	17,24		
				24,99	MK28L	43,67	17,468	17,45066667	
					MK29L	43,68	17,472		
					MK30L	43,53	17,412		
	13/12/2011		7	6,25	MK1L	9	3,6	3,878666667	
					MK2L	8,4	3,36		
					MK3L	11,69	4,676		
				12,49	MK4L	35,27	14,108	13,52	
					MK5L	35,97	14,388		
					MK6L	30,16	12,064		
24,99				MK7L	30,99	12,396	12,88		
				MK8L	31,51	12,604			
				MK9L	34,1	13,64			

Anexo B. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita níquelífera atacados con ácido sulfúrico.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS DE LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)										
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162								
MODELO/ SERIE		PS 25 –M								
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN								
PROYECTO		Determinación del carácter puzolánico de laterita níquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I								
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	FECHA DE FUNDICION	SEMANAS DE CURADO(EDAD DE MORTEROS)	SEMANAS DE ATAQUE	CANTIDAD DE ADITIVO	MORTERO	CARGA(KN)	RESISTENCIA	MEDIA	AREA DE MORTERO (mm)
ATAQUE DE ACIDO SULFURICO	06/12/2011	28/02/2012	21DIAS	8SEMANAS	6,25	MK52	35,8	14,32	14,2266667	2500
						MK53	36	14,4		
						MK54	34,9	13,96		
					12,49	MK55	37,9	15,16	15,3466667	
						MK 56	39,5	15,8		
						MK57	37,7	15,08		
					24,99	MK58	33,2	13,28	15,2533333	
						MK59	40	16		
						MK60	41,2	16,48		
	07/12/2011	29/01/2012	21 DIAS	4SEMANAS	6,25	MK64	36,9	14,76	14,12	
						MK65	33,5	13,4		
						MK66	35,5	14,2		
					12,49	MK67	37,4	14,96	15,4933333	
						MK68	38,9	15,56		
						MK69	39,9	15,96		
					24,99	MK71	33,3	13,32	13,6666667	
						MK72	32,5	13		
						MK	36,7	14,68		
	07/12/2011	12/01/2012	21DIAS	2SEMANAS	6,25	MK94L	35,03	14,012	12,3373333	
						MK95L	19,18	7,672		
						MK96L	38,32	15,328		
12,49					MK97L	29,4	11,76	11,7573333		

						MK98L	27,66	11,064		
						MK99L	31,12	12,448		
					24,99	MK100L	33,24	13,296	14,248	
						MK101L	37,17	14,868		
						MK102L	36,45	14,58		

Anexo C. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera atacados con sulfato de magnesio.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS DE LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)										
PRENSA			Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162							
MODELO/ SERIE			PS 25 –M							
CARGA MÁXIMA(KN)			50KN							
PROYECTO			Determinación del carácter puzolánico de laterita niquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I							
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	FECHA DE FUNDICION	SEMANAS DE CURADO(EDAD DE MORTEROS)	SEMANAS DE ATAQUE	CANTIDAD DE ADITIVO	MORTERO	CARGA(KN)	RESISTENCIA	MEDIA	AREA DE MORTERO (mm)
ATAQUE DE SULFATO	09/12/2011	31/2/12	21DIAS	8Semanas	24,99	MK127L	61,78	24,712	25,42	2500
						MK128L	70,17	28,068		
						MK129L	58,7	23,48		
					12,49	MK130L	67,91	27,164	26,1373333	
						MK131L	65,87	26,348		
						MK132L	62,25	24,9		
					6,25	MK133L	64	25,6	25,016	
						MK134L	59,95	23,98		
						MK135L	63,67	25,468		
	10/12/2011	01/12/2012	21 DIAS	4Semanas	24,99	MK169L	45,69	18,276	17,988	
						MK170L	43,21	17,284		
						MK171L	46,01	18,404		
					12,49	MK172L	44,33	17,732	14,64	
						MK173L	42,46	16,984		
						MK174L	23,01	9,204		
					6,25	MK175L	46,75	18,7	19,3186667	
						MK176L	49,7	19,88		
						MK177L	48,44	19,376		
	12/12/2011	10/01/2012	21DIAS	1Semanas	24,99	MK145L	38,4	15,36	16,5986667	
						MK146L	32,09	12,836		
						MK147L	54	21,6		
12,49					MK148L	50,2	20,08	21,3733333		
					MK149L	50,1	20,04			
					MK150L	60	24			
6,25					MK151L	48,7	19,48	16,9066667		
					MK152L	37,4	14,96			
					MK153L	40,7	16,28			

Anexo D. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera atacados con altas temperaturas.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS DE LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)									
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162							
MODELO/ SERIE		PS 25 –M							
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN							
PROYECTO		Determinación del carácter puzolánico de laterita niquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I							
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	DIAS DE CURADO (EDAD DEL MORTERO)	T (°C)	CANTIDAD DE ADITIVO (g,%)	MORTEROS	CARGA (KN)	RESISTENCIA(Mpa)	MEDIA	AREA
ATAQUE DE TEMPERATURA	12/12/2011	28 Dias	300	6,25 (2,5%)	MK241L	35,71	14,284	13,0666667	2500
					MK242L	31,2	12,48		
					MK243L	31,09	12,436		
				12,49 (5%)	MK244L	36,94	14,776	15,5386667	
					MK245L	40,41	16,164		
					MK246L	39,19	15,676		
				24,99 (10%)	MK247L	38,71	15,484	14,876	
					MK248L	34,23	13,692		
					MK249L	38,63	15,452		
	14/12/2011	28Dias	600	6,25 (2,5%)	MK273L	21,48	8,592	9,868	
					MK274L	26,17	10,468		
					MK275L	26,36	10,544		
				12,49 (5%)	MK276L	27,63	11,052	11,2733333	
					MK277L	33,87	13,548		
					MK278L	23,05	9,22		
				24,99 (10%)	MK279L	3,47	1,388	7,41866667	
					MK280L	26,1	10,44		
					MK281L	26,07	10,428		
	14/12/2011	28Dias	1000	6,25 (2,5%)	MK254L	3,715	1,486	1,10253333	
					MK255L	2,34	0,936		
					MK256L	2,214	0,8856		
				12,49 (5%)	MK257L	6,4	2,56	2,39586667	
					MK258L	7,244	2,8976		
					MK259L	4,325	1,73		
24,99 (10%)				MK260L	10,53	4,212	5,044		
				MK261L	16,22	6,488			
				MK262L	11,08	4,432			

Anexo E. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con pumita.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS DE LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)									
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162							
MODELO/ SERIE		PS 25 -M							
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN							
PROYECTO		Determinación del carácter puzolánico de laterita niquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I							
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	FECHAS DE FUNDICION	DIAS DE CURADO	CANTIDAD DE ADITIVO	MORTERO	CARGA (KN)	RESISTENCIA(Mpa)	MEDIA	AREA
RESISTENCIA A LA COMPRESION	06/12/2011	04/01/2012	28Días	6,25	MK220P	52,02	20,808	20,30933333	2500
					MK221P	51,09	20,436		
					MK222P	49,21	19,684		
				12,49	MK223P	52,83	21,132	19,15866667	
					MK224P	45,36	18,144		
					MK225P	45,5	18,2		
				24,99	MK226P	54	21,6	18,81733333	
					MK227P	46,68	18,672		
					MK228P	40,45	16,18		
	13/12/2011	28/12/2011	14Días	6,25	MK31P	52,02	20,808	20,30933333	
					MK32P	51,09	20,436		
					MK33P	49,21	19,684		
				12,49	MK34P	52,83	21,132	19,15866667	
					MK35P	45,36	18,144		
					MK36P	45,5	18,2		
				24,99	MK37P	54	21,6	18,81733333	
					MK38P	46,68	18,672		
					MK39P	40,45	16,18		
	13/12/2011	21/12/2011	7Días	6,25	MK10P	34,69	13,876	13,66266667	
					MK11P	32,66	13,064		
					MK12P	35,12	14,048		
				12,49	MK13P	37,83	15,132	15,34133333	
					MK14P	40,03	16,012		
					MK15P	37,2	14,88		
24,99				MK16P	39,08	15,632	12,90133333		
				MK17P	28,69	11,476			
				MK18P	28,99	11,596			

Anexo F. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera atacados con ácido sulfúrico.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS DE LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)											
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162									
MODELO/ SERIE		PS 25 –M									
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN									
PROYECTO		Determinación del carácter puzolánico de laterita niquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I									
ATAQUE DE ACIDO	06/12/2011	28/02/2012	21Días	8SEMANAS	6,25	MK43P	32,51	13,004	15,056	2500	
						MK44P	43,22	17,288			
						MK45P	37,19	14,876			
					12,49	MK46P	36,7	14,68	13,9466667		
						MK47P	33,4	13,36			
						MK48P	34,5	13,8			
					24,99	MK49P	33,5	13,4	13,8266667		
						MK50P	36,5	14,6			
						MK51P	33,7	13,48			
	07/12/2011	29/01/2012	21Días	4SEMANAS	6,25	MK73P	33,9	13,56	13,8133333		
						MK74P	34	13,6			
						MK75P	35,7	14,28			
					12,49	MK76P	33,8	13,52	13,1466667		
						MK77P	32,3	12,92			
						MK78P	32,5	13			
					24,99	MK79P	32,5	13	13,4666667		
						MK80P	34,6	13,84			
						MK81P	33,9	13,56			
	07/12/2011	12/01/2012	21Días	2	6,25	MK85P	32,4	12,96	12,2133333		
						MK86P	33,4	13,36			
						MK87P	33,3	13,32			
12,49					MK88P	31,14	12,456	10,916			
					MK89P	26,1	10,44				
					MK90P	24,63	9,852				
24,99					MK91P	42,07	16,828	12,9506667			
					MK92P	27,14	10,856				
					MK93P	27,92	11,168				

Anexo G. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con laterita niquelífera atacados con sulfato de magnesio.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS DE LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)										
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162								
MODELO/ SERIE		PS 25 –M								
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN								
PROYECTO		Determinación del carácter puzolánico de laterita niquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I								
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	FECHA DE FUNDICION	DIAS DE CURADO	SEMANAS DE CURADO	CANTIDAD DE ADITIVO	MORTERO	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	MEDIA	AREA
ATAQUE DE SULFATO	09/12/2011	31/2/12	21Dias	8SEMANAS	24,99	MK136P	38,23	15,292	17,192	2500
						MK137P	50,1	20,04		
						MK138P	40,61	16,244		
					12,49	MK139P	46,26	18,504	18,5186667	
						MK140P	44,77	17,908		
						MK141P	47,86	19,144		
					6,25	MK142P	46,64	18,656	15,3746667	
						MK143P	37,1	14,84		
						MK144P	31,57	12,628		
	10/12/2011	01/12/2012	21Dias	4	24,99	MK178P	45,7	18,28	17,7026667	
						MK179P	39,71	15,884		
						MK180P	47,36	18,944		
					12,49	MK181P	50,09	20,036	23,4933333	
						MK182P	50,21	20,084		
						MK183P	75,9	30,36		
					6,25	MK184P	48,34	19,336	28,152	
						MK185P	75,9	30,36		
						MK186P	86,9	34,76		
	12/12/2011	10/01/2012	21Dias	1	24,99	MK154P	35,1	14,04	15,9506667	
						MK155P	48,13	19,252		
						MK156P	36,4	14,56		
					12,49	MK157P	53,09	17,884	18,8733333	
						MK158P	44,71	17,884		
						MK159P	52,13	20,852		
6,25					MK160P	42,22	16,888	15,972		
					MK161P	39,56	15,824			
					MK162P	38,01	15,204			

Anexo H. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con pumita atacados con altas temperaturas.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS DE LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)												
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162										
MODELO/ SERIE		PS 25 –M										
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN										
PROYECTO		Determinación del carácter puzolánico de laterita niquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I										
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	DIAS DE CURADO (EDAD DEL MORTER)	T (°C)	CANTIDAD DE ADITIVO (g,%)	MORTERO	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	MEDIA	AREA (mm)			
ATAQUE DE TEMPERATURA	12/12/2011	28 Dias	300	6,25 (2,5%)	MK232P	34,65	13,86	15,0266667	2500			
					MK233P	38,33	15,332					
					MK234P	39,72	15,888					
				12,49 (5%)	MK235P	29,45	11,78	9,656				
					MK236P	14,79	5,916					
					MK237P	28,18	11,272					
				24,99 (10%)	MK238P	46,49	18,596	12,4764				
					MK239P	43,11	17,244					
					MK240P	39,73	1,5892					
				14/12/2011	28Dias	600	6,25 (2,5%)	MK282P		29,4	11,76	10,644
								MK283P		38,23	15,316	
								MK284P		12,14	4,856	
	12,49 (5%)	MK285P	15,6				6,24	8,18				
		MK286P	15,55				6,22					
		MK287P	30,2				12,08					
	24,99 (10%)	MK288P	20,37				8,148	8,98266667				
		MK289P	26,13				10,452					
		MK29P	20,87				8,348					
	14/12/2011	28Dias	1000	6,25 (2,5%)	MK261P	4,879	1,9516	1,962				
					MK262P	5,224	2,0896					
					MK263P	4,612	1,8448					
				12,49 (5%)	MK264P	3,629	1,4516	1,47746667				
					MK265P	3,748	1,4992					
					MK266P	3,704	1,4816					
24,99 (10%)				MK267P	21,66	8,664	9,16266667					
				MK268P	27,21	10,884						
				MK269P	19,85	7,94						

Anexo I. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros con diatomita.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS DE LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)									
PRENSA			Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162						
MODELO/ SERIE			PS 25 –M						
CARGA MÁXIMA(KN)			50KN						
PROYECTO			Determinación del carácter puzolánico de laterita niquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I						
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	FECHA FUSION	DIAS DE CURADO	CANTIDAD DE ADITIVO	MORTERO	CARGA (KN)	RESISTENCIA	MEDIA	AREA(mm)
			14	6,25 (2,5%)	MK5,5D	62,27	24,908	26,07866667	2500
					MK6,5D	72,19	28,876		
					MK7,5D	61,13	24,452		
				12,49 (5%)	MK1,1D	75,91	30,364	27,61333333	
					MK2,2D	67,41	26,964		
					MK3,3D	63,78	25,512		
				24,99 (10%)	MK9,9D	67,65	27,06	27,78333333	
					MK10,10D	64,76	25,904		
					MK11,11D	63,62	25,448		

Anexo J. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros sin aditivos.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS SIN ADITIVOS(NTC 220)								
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162						
MODELO/ SERIE		PS 25 –M						
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN						
PROYECTO		Determinación del carácter puzolánico de laterita niquelifera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I						
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	FECHA DE FUNDICION	DIAS DE CURADO(EDAD DE MORTEROS)	MORTEROS	CARGA (KN)	RESISTENCIA(Mpa)	MEDIA	AREA(mm)
RESISTENCIA A LA COMPRESION	15/12/11	13/1/12	28	MK229C	40	16	16,4	2500
				MK230C	41	16,4		
				MK231C	42	16,8		
	15/12/11	30/12/11	14	MK40C	43,03	17,212	17,732	
				MK41C	43,3	17,32		
				MK42C	46,66	18,664		
	15/12/11	23/12/11	7	MK19C	34,3	13,72	13,60133333	
				MK20C	32,6	13,04		
				MK21C	35,11	14,044		

Anexo K. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros sin aditivos atacados con ácido sulfúrico.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS SIN ADITIVO(NTC 220)									
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162							
MODELO/ SERIE		PS 25 –M							
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN							
PROYECTO		Determinación del carácter puzolánico de laterita níquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I							
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	FECHA DE FUNDICION	SEMANAS DE CURADO(EDAD DE MORTEROS)	SEMANAS DE ATAQUE	MORTEROS	CARGA (KN)	RESISTENCIA(Mpa)	MEDIA	AREA
ATAQUE DE ACIDO SULFURICO	06/12/2011	06/03/2012	21DIAS	8SEMANAS	MK61C	37,3	14,812	12,52	2500
					MK62C	39,05	11,96		
					MK63C	33	13,2		
	07/12/2011	06/02/2012	21 DIAS	4SEMANAS	MK82C	32,5	13	13,3466667	
					MK83C	34,3	13,72		
					MK84C	33,3	13,32		
	07/12/2011	22/01/2012	21DIAS	2SEMANAS	MK103C	31	12	14,3093333	
					MK104C	29,9	11,36		
					MK105C	31,24	12,496		

Anexo L.Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros sin aditivos atacados con sulfato de magnesio.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS SIN ADITIVOS(NTC 220)									
PRENSA			Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162						
MODELO/ SERIE			PS 25 –M						
CARGA MÁXIMA(KN)			50KN						
PROYECTO			Determinación del carácter puzolánico de laterita níquelífera, pumita, diatomita y su efecto como aditivo en el comportamiento del cemento portland tipo I						
PRUEBA	FECHA DE IINICIO DE CURADO CON AGUA	FECHA DE FUNDICION	SEMANAS DE CURADO(EDAD DE MORTEROS)	SEMANAS DE ATAQUE	MORTERO	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Mpa)	MEDIA	AREA (mm)
ATAQUE DE SULFATO	06/01/2012	06/01/2012	21DIAS	8Semanas	MK166C	55,62	22,248	24,664	2500
					MK167C	65,78	26,312		
					MK168C	63,58	25,432		
	06/01/2012	06/02/2012	21 DIAS	4Semanas	MK187C	84,5	33,8	28,28	
					MK188C	69,4	27,76		
					MK189C	58,2	23,28		
	06/01/2012	14/01/2012	21DIAS	1Semanas	MK163C	46,3	18,52	17,2746667	
					MK164C	47,06	18,824		
					MK165C	36,2	14,48		

Anexo M. Formato de ensayo de resistencia a la compresión para morteros sin aditivos atacados con altas temperaturas.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS MORTEROS DE LATERITA NIQUELIFERA(NTC 220)									
PRENSA		Prensa eléctrica para ensayos de concretos PC162							
MODELO/ SERIE		PS 25 -M							
CARGA MÁXIMA(KN)		50KN							
PROYECTO		DETERMINACIÓN DEL CARÁCTER PUZOLÁNICO DE LATERITA NIQUELIFERA, PUMITA, DIATOMITA Y SU EFECTO COMO ADITIVO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I							
PRUEBA	FECHA DE INICIO DE CURADO CON AGUA	FECHA DE FUNDICION	DIAS DE CURADO (EDAD DEL MORTERO)	T (°C)	MORTERO	CARGA(KN)	RESISTENCIA(Mpa)	MEDIA	AREA(mm)
ATAQUE DE TEMPERATURA	15/12/2011	13/01/2011	28 Dias	300	MK250C	49	19,6	20,052	2500
					MK251C	50,17	20,068		
					MK252C	51,22	20,488		
	15/12/2011	13/01/2011	28Dias	600	MK291C	25,61	10,244	12,0386667	
					MK292C	34,56	13,824		
					MK293C	30,12	12,048		
	15/12/2011	13/01/2011	28Dias	1000	MK270C	9,239	3,6956	17,0958667	
					MK271C	19,12	7,648		
					MK272C	9,986	39,944		