



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA CIVIL**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE  
SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA  
CONSTRUCCIÓN”**

---

**AUTORA:** Doris Verónica Yanchaguano Toapanta

**TUTORA:** PhD. Diana Carolina Coello Fiallos

**AMBATO-ECUADOR**

**Febrero - 2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, con el tema: **“ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN”** elaborado por la Sra. Doris Verónica Yanchaguano Toapanta, portadora de la cédula de ciudadanía: 180490755-6, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Febrero 2021



---

**PhD. Diana Carolina Coello Fiallos**

**TUTORA**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo **Doris Verónica Yanchaguano Toapanta** con C.I. 180490755-6 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva propiedad como autora de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Febrero 2021



---

**Doris Verónica Yanchaguano Toapanta**

**C.I. 180490755-6**

**AUTORA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Febrero 2021



-----  
**Doris Verónica Yanchaguano Toapanta**

**C.I. 180490755-6**

**AUTORA**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Doris Verónica Yanchaguano Toapanta de la carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN”.

Ambato, Febrero 2021

Para constancia firman:

-----  
**Ing. Mg Maritza Elizabeth Ureña Aguirre**

**Miembro del Tribunal**

-----  
**Ing. Mg Favio Paul Portilla Yandun**

**Miembro del Tribunal**

## **DEDICATORIA**

Llena de dicha, felicidad y con gran orgullo dedico este trabajo a Dios por darme salud, vida, fuerza y sabiduría necesaria para lograr uno más de mis objetivos.

Por el esfuerzo que pusieron día a día para verme realizada como profesional dedico este esfuerzo a mis padres Raúl Chicaiza y Mercedes Yanchaguano que me brindaron apoyo tanto moral como económico, guiándome con su buen ejemplo día a día para seguir el camino del bien.

A mi hija Alejandra Isabela Quinatoa por quien luche cada día para hacer este sueño realidad y porque ha sido el motor que me impulsa adelante dándome cada día fuerzas para lograrlo, con todo el amor del mundo por mi hijita bella.

A mis hermanas María, Marisol, Lorena y mi cuñado Lizandro que ha sido como un hermano para mí, por estar a mi lado en los momentos difíciles dándome ánimos y buenos consejos.

A mi querido esposo Javier Quinatoa por estar a mi lado en cada paso para realizarme como profesional, por su Amor, compañía y apoyo que me ha brindado a cada instante Te Amo.

Verito.

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas e instituciones que han sido parte fundamental para el desarrollo y culminación del presente trabajo de titulación.

A **MIS PADRES** por ayudarme cuando más los necesitaba, dándome apoyo incondicional, formándome con humildad y sencillez, sin juzgarme por mis actos erróneos.

A **MI MADRECITA ADORADA** por estar con migo en las buenas y en las malas estrechándome su mano y cuidando de mi hija Isabela cuando yo no estaba, como su verdadera madre. Te Amo mami.

A **MI PAPI RAÚL** por ser un hombre digno de respeto y admiración, un hombre ejemplar que ha dado todo para verme triunfar con sus buenos consejos y corrigiendo mis equivocaciones.

A **MIS HERMANAS y MI ESPOSO** por apoyarme y ayudarme en todo momento.

A **MIS MAESTROS Y COMPAÑEROS**, por brindarme su enseñanza, apoyo y comprensión a lo largo de esta trayectoria.

A **MI TUTORA**, PhD. en Física y Tecnologías Cuánticas Diana Coello por entenderme, brindarme su apoyo, su tiempo y compartirme sus conocimientos para realizar y culminar con éxito este trabajo.

Al **DIDE** (Dirección de Investigación y Desarrollo) por medio del grupo de investigación SciTeM de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica con el proyecto “Estudio de las propiedades físicas y morfológicas de aluminosilicatos para reemplazo parcial del cemento portland en el concreto estructural” código PFICM020 dentro del cual se desarrolló este proyecto.

A los profesores: Ing. Santiago Medina Magister en Estructuras Sismo- Resistentes y actual Decano de la FICM, Ing. Maritza Ureña Master en Ingeniería de la Construcción y el Ing. Favio Portilla Master en Asentamientos Humanos quienes han compartido sus conocimientos y brindado su apoyo en el desarrollo del este trabajo de investigación.

A mis compañeros Tesistas: Verónica Salcedo, Fabián Ramos, Diego Maldonado, Paul Fernández y Jimmy Lema, con quienes se realizó el trabajo de campo y laboratorio, por su ayuda y comprensión en todo momento y con quienes se intercambió conocimientos y resultados en el desarrollo de esta investigación.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN .....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	3
1.2.1. Aplicaciones con zeolitas.....	4
1.2.2. Estudio de las zeolitas en la construcción.....	5
1.3. MARCO TEÓRICO .....	8
1.3.1. Historia del cemento portland.....	8
1.3.2. El cemento Portland.....	8
1.3.2.1. Proceso de producción del cemento portland.....	9
1.3.2.2. Componentes químicos del cemento portland.....	11
1.3.2.3. Tipos de cemento portland.....	14
1.3.2.4. Densidad del Cemento Portland.....	16
1.3.3. Cemento Portland Tipo GU .....	17
1.3.3.1. Composición del cemento portland Tipo GU .....	17
1.3.4. Las Zeolitas .....	20
1.3.4.1. Estructura de las zeolitas.....	20
1.3.4.2. Tipos de Zeolitas .....	21
1.3.4.3. Composición de las zeolitas.....	23
1.3.5. Sistema de Información Geográfica ArcGIS .....	25



1.3.6.	Cordillera Chongón-Colonche .....	26
1.3.7.	Superintendencia de Compañías, Valores y Servicios - SUPERCIAS .....	28
1.3.8.	Agencia de Regulación y Control Minero - ARCOM .....	28
1.3.9.	Granulometría de materiales .....	28
1.3.10.	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	32
1.3.11.	EDS- Espectroscopía de Dispersión de Rayos X.....	35
1.3.12.	Microscopio Electrónico de Barrido JSM-IT 100 de Tecnologías JEOL SEM.....	37
1.3.13.	Densidad.....	39
1.3.14.	Finura .....	42
1.3.14.1.	Finura por el Método de Tamizado Seco .....	43
1.3.14.2.	..... Finura Mediante el Aparato de Permeabilidad al Aire (Aparato Blaine) .....	44
1.3.15.	Máquina de Abrasión de los Ángeles.....	46
1.3.16.	Molino de Tambor de Bolas para Aplicaciones de Pulvimetalurgia. .	47
1.3.17.	Desviación Estándar.....	48
1.4.	OBJETIVOS .....	49
1.4.1.	General .....	49
1.4.2.	Específicos .....	49
CAPITULO II.....		50
2.	METODOLOGÍA: MATERIALES Y MÉTODOS .....	50
2.1.	Tipos De investigación .....	50
2.2.	Equipos y Materiales .....	51
2.3.	Métodos .....	62
2.3.1.	Selección, Extracción y recolección de Zeolitas Naturales .....	62
2.3.2.	Caracterización Geométrica .....	64
2.3.3.	Caracterización Morfológica y química.....	71
2.3.4.	Densidad de acuerdo a la Norma NTE INEN 0156 – ASTM C 188 ...	73
2.3.5.	Finura método tamizado seco según la norma NTE INEN 0489.....	77
CAPITULO III .....		80
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	80
3.1.	Extracción y recolección de material.....	80
3.2.	Caracterización Geométrica.....	95
3.2.1.	Granulometría ZR en base al método con agregado Fino.....	96
3.2.2.	Análisis granulométrico ZR resumen .....	102
3.2.3.	Granulometría ZC en base al método con agregado Fino.....	103
3.2.4.	Análisis granulométrico ZC Resumen .....	107
3.3.	Caracterización Morfológica y Química.....	109

3.3.1. SEM (Microscopía Electrónica de Barrido) - EDS (Espectroscopia De Rayos X De Energía Dispersiva).....	109
3.3.2. Análisis SEM .....	112
3.3.3. EDS - Espectroscopía de Dispersión de Rayos X de Energía Dispersiva .....	113
3.3.4. Análisis EDS .....	120
3.4. Determinación de la Densidad de acuerdo a la Norma NTE INEN 0156 – ASTM C 188.....	125
3.4.1. Análisis de densidades .....	137
3.5. Determinación de la Finura por el método de Tamizado Seco según la norma NTE INEN 0489 .....	139
3.5.1. Análisis de Finura por Tamizado Seco .....	144
CAPITULO IV .....	146
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	146
4.1. Conclusiones .....	146
4.2. Recomendaciones .....	149
BIBLIOGRAFÍA.....	150
ANEXOS .....	154
Anexo 1. Mapas ArcGIS .....	154
Anexo 2. Tablas y gráficas de granulometría. ....	157
□ Análisis granulométrico de la Zeolita ZR.....	157
□ Análisis granulométrico de la Zeolita ZC.....	166
Anexo 3. Ensayos de finura según el método de tamizado seco .....	175
□ Finura por tamizado seco del cemento CGU .....	176
□ Finura por tamizado seco de la Zeolita ZR.....	178
□ Finura por tamizado seco de la Zeolita ZCa .....	180
□ Finura por tamizado seco de la Zeolita ZC.....	182
Anexo 4. Fotografías .....	184

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis químico de cenizas volantes (aluminosilicatos)[32].	7
Tabla 2. Componentes químicos del cemento portland [36].	11
Tabla 3. Compuestos químicos del Clinker del cemento portland[36].	12
Tabla 4. Composición química y mineralógica del Clinker de cemento portland [43]	13
Tabla 5. Análisis químico y composición del cemento Holcim [49].	20
Tabla 6. Clasificación de las Zeolitas Naturales[14].	22
Tabla 7. Fórmula Química Típica y propiedades físicas de zeolitas más importantes[14], [50].	24
Tabla 8. Ensayos para determinar la estructura, propiedades y características de las zeolitas naturales[51].	25
Tabla 9. Tamaño de abertura y cantidad de muestra para árido grueso[59].	29
Tabla 10. Tamaño de abertura de acuerdo a la Norma ASTM C136 – INEN 0696- INEN 0872 para árido Fino [59][20].	30
Tabla 11. Características del Molino de Tambor de Bolas [72].	59
Tabla 12. Características de las Bolas de Acero[72].	59
Tabla 13. Características principales del SEM JSM-IT 100 [66].	60
Tabla 14. Especificaciones de la Zeolita Comercial ZCa [74].	61
Tabla 15. Tabla de cantidades de ZR para molienda en relación a su tamaño y tiempo	67
Tabla 16. Tabla de cantidades de ZC para molienda en relación a su tamaño y tiempo	70
Tabla 17. Catastro de Minas de Zeolitas Naturales en Ecuador	81
Tabla 18. Información general de minas y proveedoras.	82
Tabla 19. Datos Recolectados – Coordenadas GPS-ARCOM	87
Tabla 20. Datos Actualizados De la ubicación de las Minas de Zeolitas	89
Tabla 21. Minas dispuestas a colaborar.	91
Tabla 22. Minas Clasificadas por Ubicación	92
Tabla 23. Finura del Material proporcionado por cada Mina	93
Tabla 24. Resultados de masa de Zeolita ZR y ZC después de la molienda con la MAA	95
Tabla 25. Granulometría ZR retiene Tamiz N°4	96
Tabla 26. Granulometría ZR retiene Tamiz N°10	99
Tabla 27. Granulometría ZR retiene Tamiz N°200	100
Tabla 28. Granulometría ZC retiene Tamiz N°4	103
Tabla 29. Granulometría ZC retiene Tamiz N°10	105
Tabla 30. Análisis EDS de la muestra de Cemento Tipo GU - CGU	113
Tabla 31. Composición química de la muestra de Cemento Tipo GU – CGU	114
Tabla 32. Composición química del Cemento Portland de acuerdo a varios autores	115

Tabla 33. Composición química de Zeolitas de acuerdo a varios autores.....	116
Tabla 34. Análisis EDS de la muestra de Zeolita Roja ZR. ....	116
Tabla 35. Composición química de la muestra de Zeolita Roja ZR.....	117
Tabla 36. Análisis EDS de la muestra de Zeolita Café ZC .....	117
Tabla 37. Composición química de la muestra de Zeolita Café ZC.....	118
Tabla 38. Análisis EDS de la muestra de Zeolita Calmosa Corp. ZCa. ....	119
Tabla 39. Composición química de la muestra de Zeolita Calmosa Corp. ZCa.....	119
Tabla 40. Actividad Puzolánica de las Zeolitas ZR, ZC, y ZCa.....	124
Tabla 41. Desviación estándar de los ensayos de densidad del cemento CGU.....	126
Tabla 42. Densidad Real del cemento CGU.....	127
Tabla 43. Desviación estándar de los ensayos de densidad de la zeolita ZR .....	128
Tabla 44. Densidad Real de la Zeolita ZR. ....	129
Tabla 45. Desviación estándar de los ensayos de densidad de la zeolita ZCa, Método del Picnómetro – Curva de Calibración .....	130
Tabla 46. Densidad Real de la Zeolita ZCa, Método del Picnómetro – Curva de Calibración.....	131
Tabla 47. Densidad Real de la Zeolita ZCa, Método del Picnómetro Tradicional	132
Tabla 48. Desviación estándar de los ensayos de densidad de la zeolita ZC, Método del Picnómetro – Curva de Calibración .....	133
Tabla 49. Densidad Real de la Zeolita ZC, Método del Picnómetro – Curva de Calibración.....	134
Tabla 50. Densidad Real de la Zeolita ZC, Método del Picnómetro Tradicional	135
Tabla 51. Resumen de los ensayos de Densidad .....	136
Tabla 52. Desviación estándar de los ensayos de finura por método de tamizado seco del Cemento CGU .....	139
Tabla 53. Finura por Método de Tamizado seco del cemento CGU .....	140
Tabla 54. Desviación estándar de los ensayos de finura por método de tamizado seco de la Zeolita ZR.....	140
Tabla 55. Finura por Método de Tamizado seco de la Zeolita ZR.....	141
Tabla 56. Desviación estándar de los ensayos de finura por método de tamizado seco de la Zeolita ZCa .....	142
Tabla 57. Finura por Método de Tamizado seco de la Zeolita ZCa .....	143
Tabla 58. Desviación estándar de los ensayos de finura por método de tamizado seco de la Zeolita ZC .....	143
Tabla 59. Finura por Método de Tamizado seco de la Zeolita ZC .....	144
Tabla 60. Granulometría ZR-1 Retiene Tamiz N°4 .....	157
Tabla 61. Granulometría ZR-2 Retiene Tamiz N°4 .....	158
Tabla 62. Granulometría ZR-3 Retiene Tamiz N°4 .....	159
Tabla 63. Granulometría ZR-4 Retiene Tamiz N°10 .....	160
Tabla 64. Granulometría ZR-5 Retiene Tamiz N°10 .....	161
Tabla 65. Granulometría ZR-6 Retiene Tamiz N°200 .....	162
Tabla 66. Granulometría ZR-7 Retiene Tamiz N°200 .....	163

Tabla 67. Granulometría ZR- 8 Retiene Tamiz N°200 .....	164
Tabla 68. Granulometría ZR- 9 Retiene Tamiz N°200 .....	165
Tabla 69. Granulometría ZC- 1 Retiene Tamiz N°4 .....	166
Tabla 70. Granulometría ZC- 2 Retiene Tamiz N°4 .....	167
Tabla 71. Granulometría ZC- 3 Retiene Tamiz N°10 .....	168
Tabla 72. Granulometría ZC- 4 Retiene Tamiz N°10 .....	169
Tabla 73. Granulometría ZC- 5 Retiene Tamiz N°10 .....	170
Tabla 74. Granulometría ZC- 6 Retiene Tamiz N°10 .....	171
Tabla 75. Granulometría ZC- 7 Retiene Tamiz N°10. ....	172
Tabla 76. Granulometría ZC- 8 Retiene Tamiz N°10. ....	173
Tabla 77. Granulometría ZC- 9 Retiene Tamiz N°10. ....	174
Tabla 78. Finura del Cemento 1/CGU según el método del tamizado seco.....	176
Tabla 79. Finura del Cemento 2/CGU según el método del tamizado seco.....	176
Tabla 80. Finura del Cemento 3/CGU según el método del tamizado seco.....	177
Tabla 81. Finura del Cemento 4/CGU según el método del tamizado seco.....	177
Tabla 82. Finura de la Zeolita 1/ZR según el método del tamizado seco.....	178
Tabla 83. Finura de la Zeolita 2/ZR según el método del tamizado seco.....	178
Tabla 84. Finura de la Zeolita 3/ZR según el método del tamizado seco.....	179
Tabla 85. Finura de la Zeolita 4/ZR según el método del tamizado seco.....	179
Tabla 86. Finura de la Zeolita 1/ZCa según el método del tamizado seco.....	180
Tabla 87. Finura de la Zeolita 2/ZCa según el método del tamizado seco.....	180
Tabla 88. Finura de la Zeolita 3/ZCa según el método del tamizado seco.....	181
Tabla 89. Finura de la Zeolita 4/ZCa según el método del tamizado seco.....	182
Tabla 90. Finura de la Zeolita 1/ZC según el método del tamizado seco.....	182
Tabla 91. Finura de la Zeolita 2/ZC según el método del tamizado seco.....	183

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Países Productores de Zeolitas Naturales [12] .....	3
Figura 2. Proceso de Producción del Cemento Portland [35]. .....	10
Figura 3. Composición química del cemento portland [37]. .....	12
Figura 4. Análisis químico del cemento Portland de acuerdo a la norma ASTM C114 Métodos estándares de prueba para análisis químico de cemento Hidráulico [37].....	13
Figura 5. Imagen SEM de la estructura interna de la pasta de cemento [44]. .....	14
Figura 6. Requisitos de composición normalizada [45] .....	16
Figura 7. Requisitos físicos normalizados cemento portland [48] .....	18
Figura 8. Comparativo de Resistencias [46].....	19
Figura 9. Requisitos físicos Holcim fuerte[49] .....	19
Figura 10. Diagrama de la estructura básica de una zeolita [14].....	21
Figura 11. Representación Cartográfica en SIG[52] .....	26
Figura 12. Cordillera Chongón-Colonche [56].....	27
Figura 13. Tamizadora de análisis para tamizado en seco. ....	31
Figura 14. Tamiz Estándar para laboratorio. ....	32
Figura 15. Componentes principales el Microscopio Electrónico de Barrido.....	34
Figura 16. Micrografía de pasta de cemento a los tres días[3]. ....	35
Figura 17. Micrografía de pasta de cemento más zeolita a los tres días[3].....	35
Figura 18. EDS de la muestra de cemento Mariel[3]. ....	37
Figura 19. EDS de la muestra de zeolita Tasajeras[3].....	37
Figura 20. Microscopio Electrónico de Barrido JSM-IT100[66].....	38
Figura 21. Frasco de Le Chatelier para ensayo de densidad Norma INEN 156 [67] . .....	41
Figura 22. Aparato de Permeabilidad al Aire Blaine[70].....	45
Figura 23. Máquina de Abrasión de los Ángeles[71].....	46
Figura 24. Molino de Tambor de Bolas[72]. .....	47
Figura 25. Dispersión de datos en una población.....	48
Figura 26. Metodología de Investigación del proyecto. ....	51
Figura 27. Trituración de la Roca manualmente .....	65
Figura 28. Limpieza de la máquina de los Ángeles.....	65
Figura 29. Material sacado de la MA después de la molienda.....	66
Figura 30. Tamizado con el tamiz N°200 del material molido .....	66
Figura 31. Limpieza del MBT y molienda del material ZR. ....	68
Figura 32. Ingreso del Material al Molino de bolas. ....	68
Figura 33. Peso del material molido.....	68
Figura 34. Tamizado del material.....	69
Figura 35. Preparación de muestras recubiertas de oro. ....	72
Figura 36. Búsqueda de temperatura de 23°C .....	73

Figura 37. Peso del picnómetro más material y más gasolina.....	74
Figura 38. Baño María.....	74
Figura 39. Picnómetro más gasolina.....	74
Figura 40. Peso del material, tamiz N°100 y fuente metálica. ....	78
Figura 41. Movimientos rotacionales de 4 y 8 minutos .....	78
Figura 42. Ensayos de un minuto. ....	79
Figura 43. Estratos de Zeolita Natural Mina Zeonatec.....	94
Figura 44. Rocas de Zeolita Roja Mina Zeonatec .....	95
Figura 45. Curva Granulométrica zeolitas ZR-1, ZR-2, ZR-3. ....	97
Figura 46. Curva Granulométrica zeolitas ZR-4, ZR-5.....	99
Figura 47. Curva Granulométrica zeolitas ZR-6, ZR-7, ZR-8, ZR-9.....	101
Figura 48. Curva Granulométrica zeolitas ZC-1, ZC-2.....	103
Figura 49. Curva Granulométrica zeolitas ZC-3, ZC-4, ZC-5, ZC-6, ZC-7, ZC-8, ZC-9.....	105
Figura 50. a) Microscopía electrónica de barrido SEM de la muestra de cemento portland CGU con magnificación 2000X a 15.0 KeV, b) Espectro EDS de CGU realizada con el recuadro mostrado en la imagen SEM (a). ....	109
Figura 51. Microscopía electrónica de barrido SEM de las muestras de zeolitas a) Cemento portland CGU, b) Zeolita café ZC, c) Zeolita Roja ZR y d) Zeolita Calmosa Corp. ZCa todas con magnificación 2000X. ....	110
Figura 52. Espectro EDS a) muestra de cemento tipo GU, b) muestra de zeolita café ZC, c) muestra de zeolita roja ZR, d) muestra de zeolita Calmosa Corp. ZCa todas con energía de 15keV.....	111
Figura 53. Composición Química del Cemento de acuerdo a varios autores.....	115
Figura 54. Esquema de comparación de la Relación Si/Al del cemento y aluminosilicatos. ....	121
Figura 55. Composición química de las zeolitas estudiadas por varios autores....	122
Figura 56. Composición química de las zeolitas estudiadas. ....	122
Figura 57. Composición Química del Cemento Portland CGU .....	123
Figura 58. Composición Química Zeolitas y Cemento. ....	124
Figura 59. Actividad Puzolánica .....	125
Figura 60. Curva de calibración Picnómetro 500 ml.....	128
Figura 61. Curva de calibración Picnómetro 500 ml- PIC. 7/16 .....	131
Figura 62. Gráfico Comparativo Densidades .....	138
Figura 63. Gráfico Comparativo de Porcentajes de Finura .....	145
Figura 64. Visita en Sitio a las Minas.....	184
Figura 65. Recolección de rocas de Zeolita Natural.....	184
Figura 66. Molienda en la MA .....	184
Figura 67. Trituración Manual del Material .....	184
Figura 68. Molienda con MBT .....	184
Figura 69. Tamices para Análisis Granulométrico .....	184
Figura 70. Tamizado material molido. ....	185

Figura 71. Densidad del Cemento .....	185
Figura 72. Finura método Tamizado Seco.....	185
Figura 73. Ensayos de un minuto .....	185

### ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Módulo de Finura .....	31
Ecuación 2. Densidad del cemento.....	41
Ecuación 3. Ecuación Finura método Tamizado Seco [69].....	43
Ecuación 4. Fórmula para obtener desviación estándar .....	48
Ecuación 5. Porcentaje Atómico Real .....	114



## RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo se realizó el estudio de las propiedades físicas, químicas, y mecánicas englobando principalmente densidad y finura aplicando las normas INEN 0156 e INEN 0489 respectivamente con muestras de Zeolitas Naturales: ZR, ZC recolectadas en roca de la Mina Zeonatec y ZCa obtenida de la procesadora Calmosacorp S.A., así como también del cemento CGU. Los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados con respecto a la densidad presentan valores de 2.304, 2.330, 2.339 y 3.075 gramos por centímetros cúbicos, de la misma manera se presenta los resultados de finura 99.83, 99.71, 99.87 y 99.95 por ciento con las zeolitas ZR, ZCa, ZC, y CGU respectivamente.

Con la caracterización química se ha obtenido la morfología mediante SEM, donde al realizar el análisis presentaron similitud entre muestras, en especial al analizar las imágenes SEM de las muestras CGU y ZC, donde la forma de los cristales son angulares poliédricos presentando tamaños superficialmente finos y granos en su mayoría planos. Así mismo el análisis EDS con lo cual se conoce la concentración de elementos químicos que conforman cada una de las muestras estudiadas y la relación silicio-aluminio contenida en dichas muestras, sobresaliendo así la relación Si/Al de ZCa con un valor de 4.52 adimensional lo cual representa mejor concentración que el mismo CGU con 3.4.

Se comparó las zeolitas que presentan mejores propiedades llegando a concluir que la zeolita ZC presenta condiciones aptas para realizar el reemplazo por CGU ya que tanto en densidad como finura y caracterización morfológica presenta resultados cercanos al cemento.

**Palabras clave:** Zeolita Natural, SEM, EDS, Aluminosilicatos, Morfología, Finura de las zeolitas, Densidad del cemento.

## ABSTRACT

In this work, the study of physical, chemical, and mechanical properties was carried out, mainly encompassing density and fineness, applying the INEN 0156 and INEN 0489 standards respectively with Natural Zeolite samples: ZR, ZC collected from rock of the Mina Zeonatec and ZCa obtained from the Calmosacorp S.A. processor, as well as from the CGU cement. The results obtained from the tests carried out with respect to density show values of 2.304, 2.330, 2.339 and 3.075 grams per cubic centimeter, in the same way the results of fineness 99.83, 99.71, 99.87 and 99.95 percent with zeolites ZR, ZCa, ZC, and CGU respectively are presented.

With chemical characterization morphology was obtained by SEM, where in the analysis they showed similarity between samples, especially when analyzing SEM images of the CGU and ZC samples, where the shape of the crystals are angular polyhedral with superficially fine sizes and mostly flat grains. The EDS analysis is also known for the concentration of chemical elements that make up each of the samples studied and the silicon-aluminum ratio contained in such samples, thus outstanding the Si/Al ratio of ZCa with a value of 4.52 dimensionless which represents better concentration than the same CGU with 3.4.

Zeolites with better properties were compared, concluding that zeolite ZC presents conditions suitable for replacement by CGU since both density, fineness and morphological characterization showed results close to cement.

**Keywords:** Natural Zeolite, SEM, EDS, Aluminosilicates, Morphology, Fineness of Zeolites, Cement Density.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad se conoce que el hormigón es uno de los principales materiales utilizados en la construcción, por su bajo costo, durabilidad y resistencia, de la misma manera se conoce que la fabricación del cemento es responsable de la emisión del 7% del total de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) en el planeta[1], [2], esto produce el llamado calentamiento global, por esta razón se busca reducir este efecto estudiando nuevos sustitutos para el cemento, y obtener hormigones saludables para el medio ambiente económicos y resistentes .

Entre los materiales que se han estudiado para la posible sustitución del cemento se encuentran los aluminosilicatos (Zeolitas Naturales), que son minerales abundantes que se encuentran dentro de la corteza terrestre y han demostrado su actividad puzolánica, si bien es cierto en Ecuador y en otros países de Latinoamérica no se han demostrado construcciones a base de sustitución del cemento por este mineral a más de Cuba que es el país en que ha sido conocido por el empleo de este mecanismo[3]. Se han realizado varios estudios para la determinación de porcentajes de sustitución del cemento común (sustitución parcial), siempre y cuando no perjudique y cumpla con las propiedades propias del hormigón dentro de la construcción [4]–[8].

Al reemplazar parcialmente cemento por aluminosilicatos estamos contribuyendo a reducir la emisión de CO<sub>2</sub> dado que tienen la propiedad de absorber este y otros gases, por otro lado la producción de cemento disminuye en cierto porcentaje así podemos obtener concretos Green o amigables con el medio ambiente, varios investigadores han estudiado los aluminosilicatos como material cementantes suplementarios (SCM) en la construcción, realizando análisis como la influencia en las propiedades del hormigón en

estado fresco y endurecido y determinado el nivel óptimo para lograr la máxima fuerza de compresión [5].

Su adición o reemplazo reduce costos, utiliza menos cantidad de cemento en la construcción, mejora propiedades como trabajabilidad, densidad, impermeabilidad, resistencia al ataque de sulfatos, resistencia a la compresión [9], este último dicho de varios autores no se logra a corto plazo si no después de pasar el periodo de fraguado y endurecimiento, alcanzando mejores propiedades que el hormigón ocupado tradicionalmente [6], [10]–[12].

Al sustituir parcialmente el cemento portland ordinario (CPO) por zeolitas naturales (ZN) se han obtenido excelentes resultados en la resistencia a la compresión, durabilidad y densidad, por otro lado con la combinación de mineral cal-puzolana y adicionando aditivo súper plastificante influye en la resistencia a la compresión de cemento portland mejorando la compacidad y disminuyendo la porosidad ha fraguado y endurecimiento corto [13].

En el Ecuador se ha realizado el estudio de las zeolitas naturales empezando por la extracción de este mineral en Guayaquil dicho estudio realizado por Morante en el 2004 presentado en su tesis de doctorado la geología, caracterización morfológica, propiedades químicas y aplicaciones de las Zeolitas extraídas de diferentes yacimientos principalmente en la Formación del Cayo [14][15], por otro lado Guevara en el 2002 presenta en su tesis la explotación de Zeolitas a cielo abierto estudio realizado en la Concesión Minera el Refugio donde se encuentra el yacimiento ‘León’ y el área forma parte de la región montañosa de la cordillera de Chongón Colonche [16].

La presente investigación se realiza por la necesidad de mejorar las condiciones ambientales reduciendo la contaminación por CO<sub>2</sub> emanada en la elaboración de cemento portland y así reducir la ocupación de CPO en las mezclas de hormigón al reemplazar cantidades de cemento en pequeños porcentajes por aluminosilicatos, para ello es importante caracterizar tanto el cemento como las zeolitas, determinando su morfología, composición química y propiedades físicas tales como: densidad real, densidad aparente, tiempo de fraguado y finura.

## 1.2. ANTECEDENTES

Las zeolitas fueron reconocidas como un grupo mineral por el geólogo sueco **A. F. Cronsted** en 1756, su nombre se deriva de las palabras griegas zeo (que hierve) y lithos (piedra)[11], [12], [17]–[22]. Los yacimientos de zeolita se encuentran en cavidades de rocas basálticas que se formaron a partir de la interacción de la ceniza volcánica con el agua de mar y de lagos salinos que se solidificaron y mineralizaron en un periodo de millones de años[12], [14], [23], estos se han descubierto en países como E.U.A., Cuba, Japón, Grecia, Ucrania, Ecuador, México, Canadá, Italia, Alemania, Hungría, África del Sur, Nueva Zelanda, Argentina, Australia, Indonesia, entre otros según **Englert y Rubio** en el 2004[12], [24] [25]. En la **Figura 1** se muestra los países productores de Zeolitas naturales con su respectiva cantidad de producción.

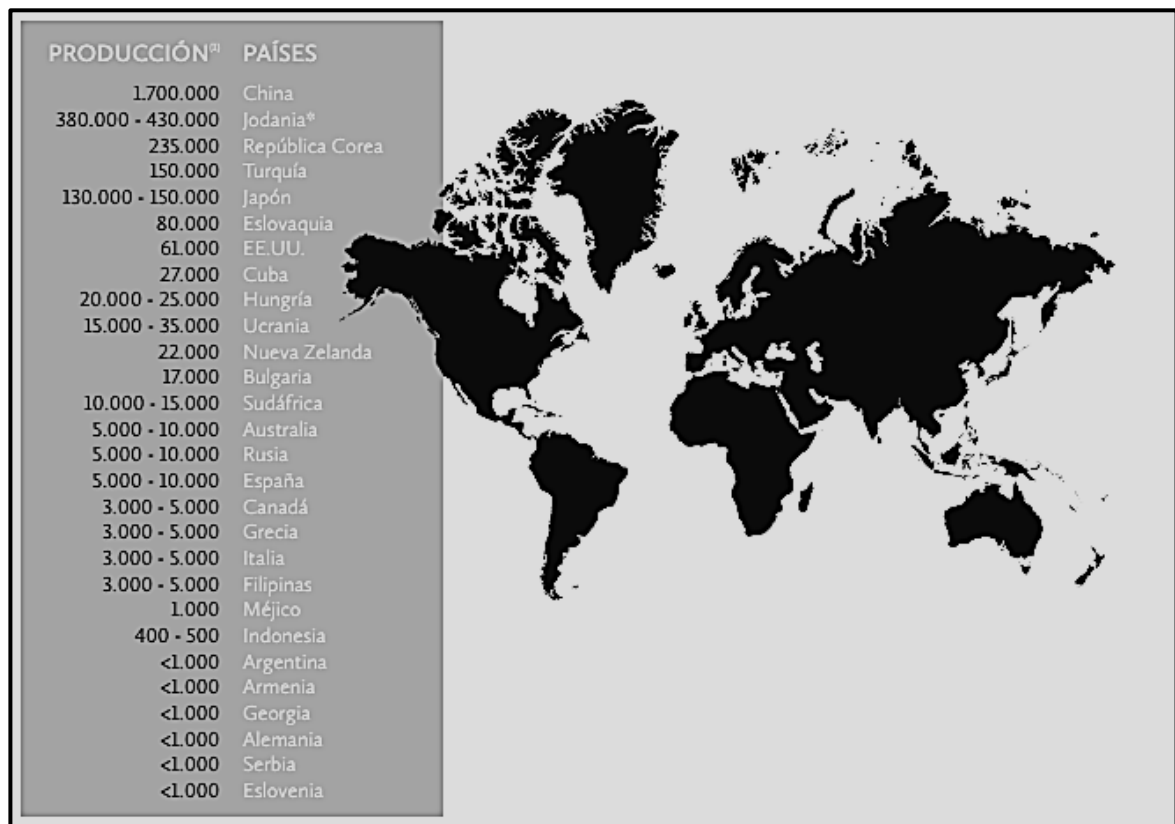


Figura 1. Países Productores de Zeolitas Naturales [12]

### 1.2.1. Aplicaciones con zeolitas

Las zeolitas son minerales utilizados para varios usos en general, una de ellas es la agricultura como se describe en el artículo de *Díaz en el 2009* que presenta su experimento utilizando este mineral como un adicional en fertilizantes para cultivo de frejol, dando resultados excelentes dentro de la producción y disminuyendo daños por plagas y enfermedades, e incrementando el rendimiento por planta y hectárea en comparación de los sembríos comunes lo cual es representativo en la economía del sector productivo[26].

Debido a sus propiedades de alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) las zeolitas naturales son utilizadas como una alternativa para reemplazar parcial o totalmente los fertilizantes de síntesis química por el continuo deterioro del suelo por su uso excesivo, por ello *Quilambaqui en el 2005* hizo un ensayo experimental en cultivó maíz utilizando seis tratamientos; aplicando urea, urea más zeolita, humus, humus más zeolita, zeolita y testigo natural sin fertilizan, obteniendo resultados en la variable rendimiento con mayor producción con urea al 100%, seguido de urea más zeolita y en tercer lugar zeolita; por lo cual para una mejor conservación del suelo recomienda el uso de zeolita ya que al ocupar urea la capa de suelo de sembrío pierde sus propiedades productivas [27].

*Bilbao en el 2018* muestra en un experimento el efecto de las zeolitas naturales en la remoción de arsénico del agua al ver las consecuencias en la salud de poblaciones, como ejemplo en México al consumir agua con arsénico sufren alto rango de envenenamiento por la presencia de este en las reservas subterráneas de agua que son consumidas como agua potable por esta población, como resultados obtuvo que las zeolitas removieron el 60% de arsénico que paso por columnas de acrílico transparente de diámetro 4.4 cm y 100 cm de altura por lo que considera que la zeolita es un adsorbente muy importante, fácil y económico de usar y permite disminuir la contaminación del arsénico en el agua [25].

Otra de las aplicaciones de las zeolitas naturales es en la alimentación de animales como lo presenta *Alvear en el 2004* donde realiza una mezcla de zeolitas con alimento de pollos logrando buenos resultados en el aprovechamiento de los balanceados, disminuyendo la mortalidad y mejorando la producción de estos animales[28], por otro

lado *Collazos en el 2010* muestra en su investigación conclusiones en las que el uso de zeolitas para mezcla será decisión del avicultor ya que sus beneficios depende del cuidado de estos animales[17].

Las Zeolitas naturales por su gran cantidad de minerales son aprovechadas en la agricultura en general como la acuicultura como lo indica *Pérez y otros autores* en su libro publicado en el 2016 [29] y como *Machiels en 2006* [15], así también *Anchundia y compañía* presenta en su tesis la aceptación de este mineral en el mercado internacional dentro del ámbito de la agricultura[30]. Estas y otras aplicaciones como tratamiento de agua, depuración de gases, producción de oxígeno, fertilización de suelos, nutrición animal, aplicaciones médicas, construcción y más se han adoptado gracias a las investigaciones de varios autores descritos en [12], [14], [21], [31].

### **1.2.2. Estudio de las zeolitas en la construcción**

Por medio de varias investigaciones realizadas alrededor del mundo se conoce que la producción del Clinker de cemento es causante de la emisión del 7% de dióxido de carbono del total en el planeta, por tal razón investigadores han buscado un material cementante con buenas propiedades que reduzca las grandes cantidades de emisión de gases para cuidar el medio ambiente, por ejemplo *Najimi en 2012* [8] reporta que ocupando 15 y 30% de zeolitas *tipo clinoptilolita* como material suplementario del cemento muestra buen comportamiento a la penetración de agua, penetración de iones de cloruro, velocidad de corrosión, y contracción por secado del hormigón, adicionalmente reporta que la sustitución de 15% garantiza una buena resistencia y durabilidad del hormigón.

Se conoce que la sustitución parcial del cemento por puzolana produce un aumento en la durabilidad del hormigón y como resultado de varias investigaciones la vida útil de las estructuras aumentaría, *Lekha en 2017* afirma que la sustitución del cemento por zeolitas pueden ser utilizadas para fabricar hormigones de alta resistencia mecánica, en su investigación con hasta un 10% de su contenido las propiedades mecánicas del hormigón

en 90 días de endurecimiento mostró una reducción de la resistencia, pero después de 180 días de endurecimiento la resistencia a la compresión del hormigón que contiene zeolita excede la resistencia del hormigón tradicional [4], por otro lado *Markiv en 2016* estudió las propiedades mecánicas y de durabilidad de hormigones [6], con 10% de sustitución cemento por zeolita natural muestra que la mezcla en estado fresco del hormigón exige mayor dosis de súper plastificante para mejores resultados en flujo de asentamientos.

Según *Jacob* [5] el hormigón emite dióxido de carbono por lo cual se buscó resolver este problema con la sustitución de cemento por aluminosilicatos este mineral absorbe dióxido de carbono y otros gases nocivos, se han presentado porcentajes de 15, 20, 25 y 30 % de sustitución de aluminosilicatos por cemento en donde se estudia las propiedades físicas y mecánicas más la capacidad de absorción de dióxido de carbono sin pérdida de resistencia del hormigón, se realizaron varios análisis en los cuales presentaron la influencia de las zeolitas en las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido así como el nivel óptimo de reemplazo de este material para lograr el máximo esfuerzo de compresión del concreto, dentro de los resultados muestra que la resistencia a la compresión se mejora por la sustitución de 25% de zeolitas aumentando de 20.53 a 22.66 MPa a los 28 días lo que indica que si se puede ocupar en la construcción como material cementoso, con los cilindros realizados para los ensayos de laboratorio se verifica que las zeolitas absorben CO<sub>2</sub> sin ninguna emisión de esta en el medio ambiente, las propiedades de resistencia, tracción dividida, resistencia a flexión del concreto son mejores en comparación con el hormigón convencional.

*Dópico en 2009* en su investigación explica que con la adición del mineral cal-zeolita en sustitución del cemento producen cambios positivos en cuanto a resistencia, compacidad y disminución de poros en las mezclas de hormigón con la utilización de hasta un 37 % del mineral cal-zeolita en sustitución del cemento logra satisfacer con facilidad la resistencia a compresión del hormigón así como su trabajabilidad y durabilidad, sin afectar las propiedades requeridas en la mezcla [13].

Se han reportado trabajos experimentales en la elaboración de cilindros con hormigón tradicional, hormigón con sustitución de cemento por zeolita en porcentajes de 10, 20 y



30% y hormigón con sustitución de cal – zeolita, buscando los mejores resultados en resistencia a la compresión: tiene como resultados que con el 10% de sustitución de zeolita alcanza resultados superiores a los requeridos todo lo contrario con 20 y 30%; además con la sustitución de cal-zeolita con los tres porcentajes tiene resultados menores que el hormigón tradicional [20].

Las cenizas volantes como material sustituto del cemento en proporciones de 2.5, 5, 10 y 15% para ensayos de resistencia a la compresión del hormigón han dado resultados mayores que el concreto normal, siempre y cuando las proporciones de sustitución sean menores al 10% [9].

A pesar de su variedad, sólo ocho zeolitas naturales son suficientemente abundantes en yacimientos sedimentarios de interés como son: analcima, chabazita, clinoptilolita, erionita, materia prima industrial; heulandita, laumontita, mordenita y phillipsita, la mayor parte de los estudios en Ecuador se han desarrollado en la Cordillera Chongón-Colonche (CCC) que es el área que presenta mayor potencialidad de zeolitas naturales[14]. En la **Tabla 1** se muestra un análisis químico de cenizas volantes realizados en la unidad de ensayos químicos y físico-químicos del IETcc (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja) como se muestra a continuación [32].

*Tabla 1. Análisis químico de cenizas volantes (aluminosilicatos)[32].*

Ensayo	Resultados (%)
Cenizas Volantes (CV)	
Pérdida al fuego, PF	1.14
Sulfatos, SO <sub>3</sub>	0.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.93
CaO	8.09
MgO	1.70
CaO libre	0.10
SiO <sub>2</sub> bruta	40.66
SiO <sub>2</sub> pura	40.56
Na <sub>2</sub> O	0.22
K <sub>2</sub> O	1.13
Cloruros	0.00

En literatura se presentan ensayos para conocer las propiedades mecánicas, físicas, químicas y morfológicas del cemento, zeolita, pasta de cemento tradicional y con un 25% de sustitución de cemento por zeolita natural; donde se ha conocido que las zeolitas aportan al cemento mejor resistencia al ataque de sulfatos mejorando sus propiedades dentro de la mezcla de hormigón [3] [7]. También cambios micro estructurales como son la composición química y la morfología de las pastas de cemento en su forma tradicional y con la sustitución del 30% de zeolitas por cemento, realizando para ello un análisis SEM (Microscopía electrónica de barrido) y EDX (Microanálisis de energía dispersiva de rayos X), mejorando las propiedades de adherencia, compacidad y disminuyendo la absorción capilar con la adición de zeolitas a la pasta de cemento ha sido reportados [3].

### **1.3. MARCO TEÓRICO**

#### **1.3.1. Historia del cemento portland**

El cemento portland fue patentado en 1824 por *Joseph Aspdin*, quien menciona la obtención de este mediante la calcinación en adecuadas proporciones de una mezcla de caliza y arcilla previamente molidas. La primera producción a escala industrial tuvo lugar en Inglaterra, en 1845, en hornos verticales. Los primeros hornos rotatorios fueron introducidos alrededor de 1895. Se pueden fabricar siguiendo dos métodos, la vía húmeda mezcla de materias primas en cantidad correcta por medio de agua, o por vía seca que consiste en secar perfectamente los distintos materiales hasta formar un polvo fino[33].

#### **1.3.2. El cemento Portland**

Desde finales del siglo XIX el hormigón constituido en base al cemento portland se ha convertido en un material de construcción ampliamente utilizado y apreciado. El cemento es un conglomerante hidráulico finamente molido que amasado con agua forma una pasta que fragua y endurece por medio de procesos de hidratación una vez endurecido

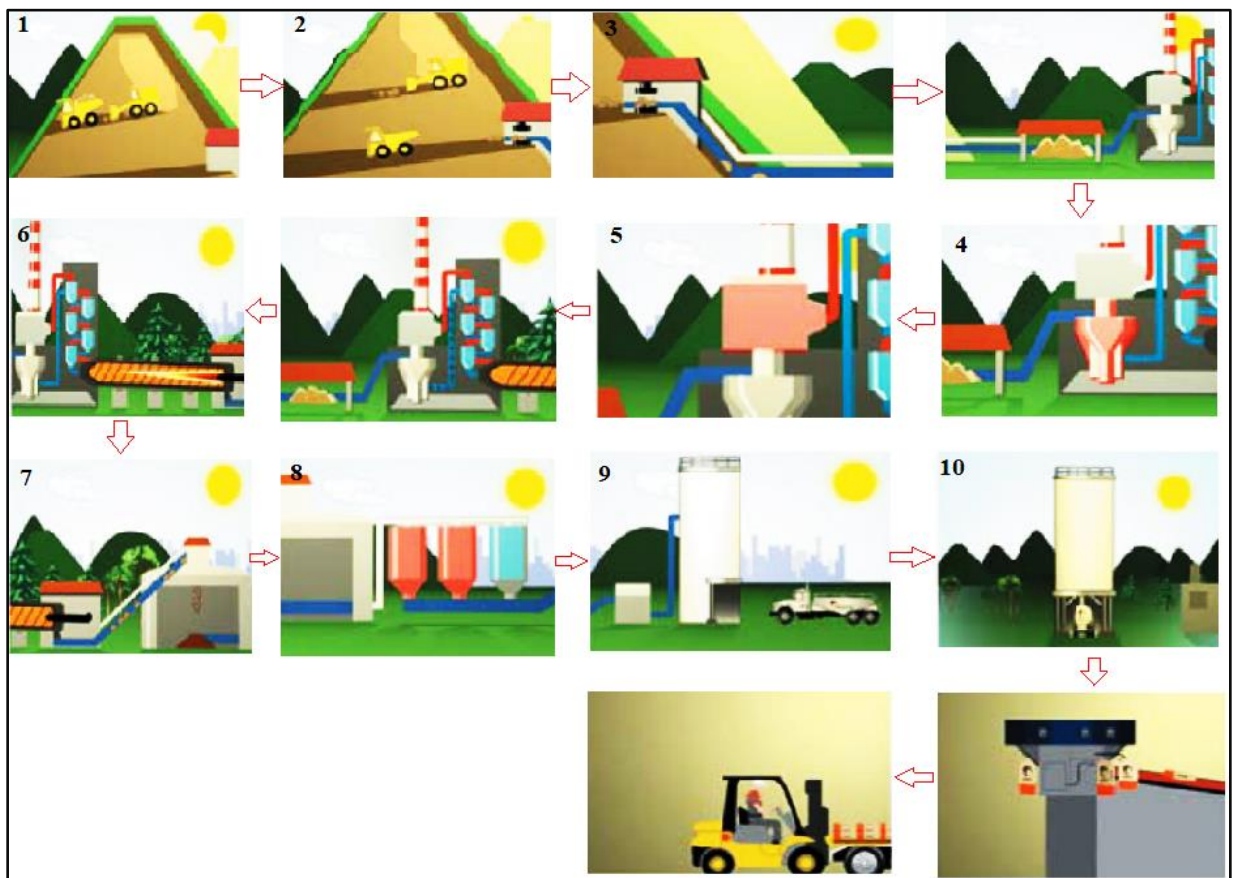
tiene la capacidad de resistir hasta bajo el agua, es el material más ocupado en la industria de la construcción por tener caliza, arcilla y yeso. Los cementos se emplean principalmente para elaboración de morteros y hormigones.[34].

### **1.3.2.1. Proceso de producción del cemento portland.**

El proceso de producción del cemento portland comienza desde su extracción hasta su despacho a continuación se explicada cada proceso detalladamente según la ficha técnica *Holcim S. A.* [35]:

1. Empieza desde la extracción de caliza desde la cantera la cual es la principal materia prima por su gran aportación de carbonato de calcio.
2. La caliza extraída es transportada hasta el proceso de trituración para reducir el tamaño desde piedras de hasta un metro a 100 milímetros y proceder a su apilamiento para la pre-homogeneización, lo que permite reducir variaciones de composición química de las materias primas.
3. El proceso continúa cuando la caliza es molida junto con arcilla, esta también extraída de la cantera, arena ferrosa y fluorita creando un polvo muy fino llamada harina cruda o crudo.
4. Posteriormente, el crudo se deposita en grandes cilindros de concreto, llamados silos de homogeneización y almacenamiento.
5. Esta harina cruda es extraída del silo y enviada a la parte superior del pre-calentador para pasar por distintas etapas a través de los ciclones hasta el ingreso al horno. En esta etapa el crudo es calentado alrededor de 120 °C hasta 880 °C en cuestión de segundos.
6. En el horno el crudo se calienta 1450 °C, gracias a este calentamiento el material sufre una transformación físico- química dando como resultado el Clinker. Este es el principal componente del cemento ya que le da sus propiedades hidráulicas.

7. Una vez que se obtiene el Clinker se baja la temperatura del material en la enfriadora y después es almacenada en silos o en patios de almacenamiento.
8. El Clinker se muele junto con otros aditivos minerales como yeso y materiales puzolánicos. Estos materiales son provenientes de plantas en Latacunga y la limolita extraída de canteras. De esta manera se obtiene el cemento.
9. Al obtener el cemento, sale del molino y es almacenado en silos para ser despachados en dos formas: al granel o en sacos. Para la venta a granel el cemento se coloca en cisternas de cemento graneleras. En el caso de los sacos se utilizan envasadoras rotatorias de llenado automático en conjunto con un sistema de paletizado.
10. Finalmente, estos palets son transportados por montacargas hasta los camiones que realizaran los despachos. En la **Figura 2** se muestra gráficamente el proceso de fabricación del Cemento Portland.



*Figura 2. Proceso de Producción del Cemento Portland [35].*

### 1.3.2.2. Componentes químicos del cemento portland.

Los componentes están representados por el contenido de óxidos en porcentajes, los principales son: cal, sílice, alumina, y el óxido férrico, también se presentan otros óxidos en pequeñas cantidades como: magnesia, anhídrido sulfúrico, los álcalis y otros, en la **Tabla 2** se muestran los contenidos de óxido con su respectivo porcentaje [36].

*Tabla 2. Componentes químicos del cemento portland [36].*

Óxido Componente	(% Típico)
CaO	58-67
SiO <sub>2</sub>	16-26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2-5
SO <sub>3</sub>	0.1-2.5
MgO	1-5
TiO <sub>2</sub>	0-0.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0-1.5
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-3
K <sub>2</sub> O	0-1
Na <sub>2</sub> O	0-1
Pérdida por calcinación	0.5-3

Dentro del proceso de fabricación del Clinker de cemento portland en la calcinación los óxidos se combinan con los componentes ácidos de la materia prima dando lugar a cuatro compuestos importantes, de la misma manera se encuentran compuestos en menores cantidades como se muestra en la **Tabla 3**, todos estos compuestos en presencia del agua se hidratan y forman nuevos compuestos que forman la infraestructura de la pasta de cemento endurecido en el concreto [36].

Tabla 3. Compuestos químicos del Clinker del cemento portland[36].

Designación	Fórmula	Abreviatura	(% )
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	30-50
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	15-30
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	4-12
Ferro aluminato tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	8-13
Cal libre	$\text{CaO}$		
Magnesia libre (Periclasa)	$\text{MgO}$		

En la **Figura 3** y **Figura 4** se puede observar la composición y el análisis químico del cemento Portland respectivamente de acuerdo al libro de Tecnología del Concreto y cemento donde muestran porcentajes similares en comparación a las tablas anteriores.

Chemical Name	Chemical Formula	Shorthand Notation	Mass (%)
Tricalcium silicate	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	50 - 70
Dicalcium silicate	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	15 - 30
Tricalcium aluminate	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	5 - 10
Tetracalcium aluminoferrite	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	5 - 15
Calcium sulfate dihydrate	$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CSH}_2$	~ 5

Figura 3. Composición química del cemento portland [37].

Oxide Analysis		Oxide	Shorthand	Common Name
Oxide	%	CaO	C	lime
SiO <sub>2</sub>	20.6	SiO <sub>2</sub>	S	silica
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A	alumina
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.90	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	ferric oxide
CaO	63.9	MgO	M	magnesia
MgO	1.53	K <sub>2</sub> O	K	} alkalis
K <sub>2</sub> O	0.73	Na <sub>2</sub> O	N	
Na <sub>2</sub> O	0.15	SO <sub>3</sub>	$\bar{S}$	sulfate
SO <sub>3</sub>	2.53	CO <sub>2</sub>	$\bar{C}$	carbonate
LOI	1.58	H <sub>2</sub> O	H	water
+ other trace elements				

Figura 4. Análisis químico del cemento Portland de acuerdo a la norma ASTM C114 Métodos estándares de prueba para análisis químico de cemento Hidráulico [37].

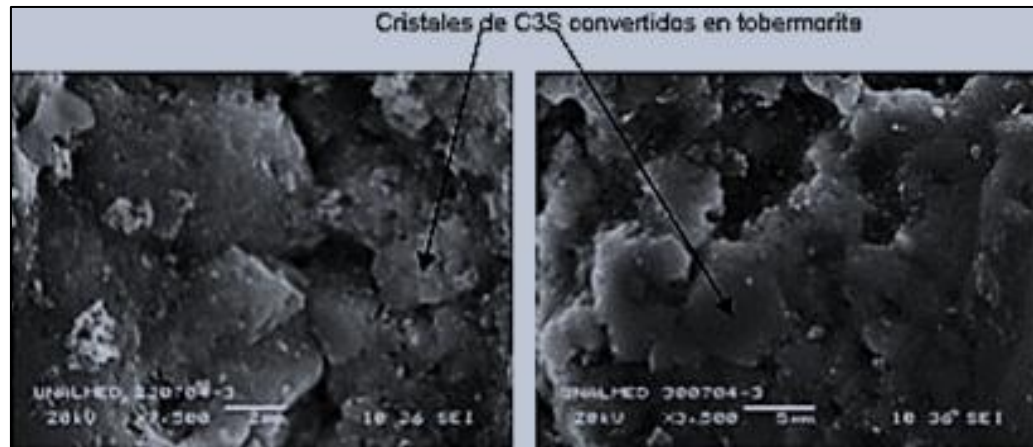
Los porcentajes mostrados en la **Tabla 4** son representativos de Alemania, se pueden obtener de diversas investigaciones con porcentajes similares en los experimentos realizados al estudiar el cemento[3], [6], [38]–[42].

Tabla 4. Composición química y mineralógica del Clinker de cemento portland [43]

Componentes	(% W)
SiO <sub>2</sub>	19.71 - 24.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.76 - 6.78
TiO <sub>2</sub>	0.21 - 0.52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02 - 0.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.29 - 4.64
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03 - 0.68
CaO	63.76 - 70.14
MgO	0.00 - 4.51
SiO <sub>3</sub>	0.20 - 2.07
K <sub>2</sub> O	0.31 - 1.76

$Na_2O$	0.03 – 0.33
$Na_2O$ -Equivalente	0.31 – 1.34

En la **Figura 5** se presenta la estructura interna de una muestra de pasta de cemento representada por Microscopía electrónica de barrido SEM [44].



*Figura 5. Imagen SEM de la estructura interna de la pasta de cemento [44].*

### 1.3.2.3. Tipos de cemento portland

Los cementos están constituidos por dos grupos:

#### a) Cementos portland sin adición

Están constituidos por Clinker portland y la inclusión de un determinado porcentaje de Sulfato cálcico (Yeso) como:

- TIPO I: Para tipos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo.
- TIPO II: Para uso general y cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- TIPO III: Para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- TIPO IV: Para emplearse cuando se requiere bajo calor de hidratación.



- TIPO V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos[36], [37], [45].

#### **b) Cementos portland adicionados**

Además del Clinker y yeso contienen 2 o más constituyentes inorgánicos que contribuyen a mejorar las propiedades de los cementos como (puzolanas, escorias granuladas de altos hornos, componentes calizos, sulfato de calcio, incorporadores de aire):

- Cemento Portland Puzolánico
- Cemento portland de escoria
- Cemento portland compuesto Tipo I
- Cemento de Albañilería (A)
- Cementos de especificaciones de performance (NTP 334.082): Cemento adicionado para aplicaciones generales y especiales, donde no existen restricciones en su composición ni constituyentes: se clasifican por tipos basados en requerimientos específicos. Alta resistencia inicial, resistencia al ataque de sulfatos, calor de hidratación:
  - GU: De uso general, para cuando no se requiere propiedades especiales.
  - HH: de alta resistencia inicial
  - MS: de moderada resistencia a los sulfatos
  - HS: de alta resistencia a los sulfatos
  - MH: de moderado calor de hidratación
  - LH: de bajo calor de hidratación [36], [37], [45]

Estos tipos de cemento están referenciados de acuerdo a los libros de *Tecnología del Concreto* y la norma *INEN 156* basada en la norma ASTM C150 donde se encuentran los tipos de cementos con su respectivos requisitos de composición observadas dentro de la **Figura 6** [36],[45],[37].

Tipo de cemento <sup>A</sup>	Norma de ensayo aplicable	I y IA	II y IIA	II(MH) y II(MH)A	III y IIIA	IV	V
Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), % máximo	INEN 160	–	6,0	6,0	--	–	--
Óxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), % máximo	INEN 160	--	6,0 <sup>B</sup>	6,0 <sup>B,C</sup>	--	6,5	--
Óxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ) <sup>D</sup> , % máximo Cuando (C <sub>3</sub> A) <sup>E</sup> es 8% o menor Cuando (C <sub>3</sub> A) <sup>E</sup> es mayor del 8%	INEN 160	3,0 3,5	3,0 <sub>F</sub>	3,0 <sub>F</sub>	3,5 4,5	2,3 <sub>F</sub>	2,3 <sub>F</sub>
Pérdida por calcinación, % máximo	INEN 160	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Residuo insoluble, % máximo	INEN 160	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Silicato tricálcico (C <sub>3</sub> S) <sup>E</sup> , % máximo	Ver Anexo A	–	–	--	--	35 <sup>C</sup>	--
Silicato dicálcico (C <sub>2</sub> S) <sup>E</sup> , % mínimo	Ver Anexo A	–	–	--	--	40 <sup>C</sup>	--
Aluminato tricálcico (C <sub>3</sub> A) <sup>E</sup> , % máximo	Ver Anexo A	–	8	8	15	7 <sup>C</sup>	5 <sup>B</sup>
Suma de C <sub>3</sub> S + 4,75C <sub>3</sub> A <sup>G</sup> , % máximo	Ver Anexo A	–	–	100 <sup>G,H</sup>	--	–	--
Ferroaluminato tetracálcico más dos veces aluminato tricálcico (C <sub>4</sub> AF+2(C <sub>3</sub> A)), o solución sólida (C <sub>4</sub> AF + C <sub>2</sub> F), cuando sea aplicable, % máximo	Ver Anexo A	–	–	--	--	–	25 <sup>B</sup>

<sup>A</sup> Ver nota 2.  
<sup>B</sup> No se aplica cuando se especifica el límite de resistencia a sulfatos de la tabla 4.  
<sup>C</sup> No se aplica cuando se especifica el límite de calor de hidratación de la tabla 4.  
<sup>D</sup> Se permite exceder los valores del contenido de SO<sub>3</sub> de la tabla, con la condición de que se demuestre, mediante el método de ensayo de la NTE INEN 2529, que el cemento con el contenido de SO<sub>3</sub> incrementado no desarrollará una expansión superior al 0,020% a los 14 días. Cuando el fabricante provea cemento bajo esta condición, se debe proporcionar datos de respaldo al comprador (ver nota 6).  
<sup>E</sup> Ver el Anexo A para el cálculo.  
<sup>F</sup> No es aplicable.  
<sup>G</sup> Ver nota 5.  
<sup>H</sup> Además, se debe realizar un ensayo de calor de hidratación a los 7 días, utilizando la NTE INEN 199, por lo menos una vez cada seis meses. Tal ensayo no debe ser usado para aceptación o rechazo del cemento, pero los resultados deben ser reportados con propósitos de información.

Figura 6. Requisitos de composición normalizada [45]

El concreto es conocido en la construcción, por su resistencia y durabilidad esto depende del cemento portland, es así que en la presente investigación se requiere conocer las propiedades físicas del cemento portland tipo GU en este caso (Holcim Fuerte).

#### 1.3.2.4. Densidad del Cemento Portland

La densidad o peso específico del Cemento Portland es una de las propiedades más importantes del cemento ya que es utilizada para cálculo de proporción o diseño de mezclas, esta propiedad tiene un valor aproximado de 3.15 gr/cm<sup>3</sup> [36], [37].

### 1.3.3. Cemento Portland Tipo GU

En 1921, se fundó la empresa Industrias y Construcciones Compañía Limitada por iniciativa del Sr. **José Rodríguez Bonín**, quien en 1922 trajo técnicos extranjeros de la fábrica Krupp para iniciar la construcción de la primera fábrica de cemento del Ecuador, la misma que estuvo ubicada en el sitio denominado San Eduardo, a cuatro kilómetros de Guayaquil, el equipo industrial con gran desarrollo llegó de Alemania. En el año de 1997 inicio la construcción de la Planta Latacunga y su puesta en marcha fue en el año 2001 de donde se abastece en la actualidad la Sierra y el Oriente del Ecuador. En este se fabrica dos productos: cemento Holcim Fuerte Tipo GU de uso general y cemento Holcim Premium Tipo HE de alta resistencia [46].

El cemento portland Tipo GU está diseñado para todo tipo de construcción en general, sus principales características son su resistencia, durabilidad y destacado desempeño que cumple, es empleado en elaboración de pastas y morteros. Los cementos portland se los define como un cemento hidráulico producido por pulverización del Clinker, que se forman por silicatos cálcicos hidráulicos y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos: sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso (NTE INEN 151)[47].

#### 1.3.3.1. Composición del cemento portland Tipo GU

Este cemento debe cumplir con todos los requisitos físicos normalizados mostrados en la Norma NTE INEN 2380 (ASTM C1157) en la **Figura 7** se muestran las especificaciones, el cemento más consumido es el Holcim Tipo GU que está compuesto por Clinker de cemento portland, sulfato de calcio y una o más adiciones de puzolanas naturales además minimizan el impacto ambiental y reducen hasta un 35% las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con los cementos portland, por su adecuada formulación los cementos Holcim Fuerte Tipo GU permiten elaborar hormigones con las resistencias requeridas para cualquier tipo y tamaño de construcción, pues su resistencia es superior a

las especificadas en la Norma INEN 2380, para los cementos de uso general [46] como se muestra en la **Figura 8**.

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat <sup>B</sup>	INEN 158						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo <sup>D</sup>	INEN 488						
1 día		–	12	–	–	–	–
3 días		13	24	11	11	5	–
7 días		20	–	18	18	11	11
28 días		28	–	–	25	–	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		–	–	–	–	290 (70)	250 (60)
28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		–	–	–	–	–	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2 529						
14 días, % máximo		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) <sup>E</sup>	INEN 2 503						
6 meses, % máximo		–	–	0,10	0,05	–	–
1 año, % máximo		–	–	–	0,10	–	–

<sup>A</sup> El porcentaje retenido en el tamiz de 45 µm (No. 325) por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m<sup>2</sup>/kg, ambos deben ser informados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante.

<sup>B</sup> El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158.

<sup>C</sup> Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. El valor obtenido en el mortero no garantiza necesariamente que el contenido de aire en el hormigón sea el mismo.

<sup>D</sup> Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimativos basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones.

<sup>E</sup> En los ensayos de cemento HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año.

Figura 7. Requisitos físicos normalizados cemento portland [48]

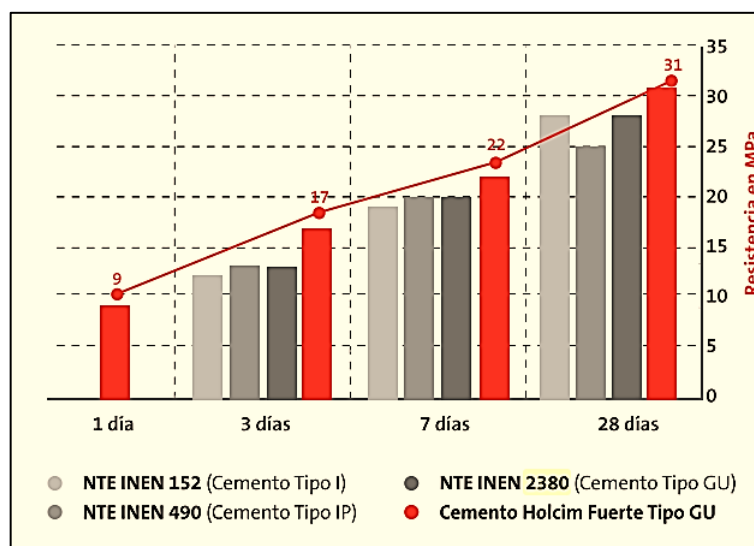


Figura 8. Comparativo de Resistencias [46]

En la **Figura 9** se muestra los requisitos físicos producidos por Holcim Fuerte Tipo GU en comparación con la normativa INEN 2380.

		CEMENTO HOLCIM FUERTE	RTCR 497:2015	ASTUM C1157 GU
Contenido de aire, ASTM C 185 (máx. %)		12.0	12.0	12.0
Finura (superficie específica) ASTM C204 (min.cm <sup>3</sup> /g)		-	-	-
Finura retenido malla 0.045 mm (No. 325), ASTM C 430 (máx.%)		-	-	-
Resistencia a la compresión ASTM C 109 (min.MPa)	3 días	13	13	13
	7 días	20	20	20
	28 días	28	28	28
Fragua Vicat	Inicial (Máximo, minutos)	45	45	45
	Final (Máximo, minutos)	420	420	420
Cambio al autoclave, ASTM C 151	Expansión (máx.%)	0.80	0.80	0.80
	Contracción (máx.%)	0.80	-	0.80
Expansión en barras de mortero 14 días, % máximo		0,02	0,02	-
Falso fraguado, % mínimo		50	50	-

Figura 9. Requisitos físicos Holcim fuerte[49]

En la **Tabla 5** se muestra el análisis químico y composición del cemento portland tipo GU de acuerdo a la Ficha técnica de Holcim Fuerte.

Tabla 5. Análisis químico y composición del cemento Holcim [49].

	Cemento Holcim Fuerte	ASTM C1157 GU
<b>% MgO</b>	≤ 3	≤ 6
<b>% (SO<sub>3</sub>)</b>	≤ 3	≤ 4
<b>Composición</b>		
	Cemento Holcim Fuerte	ASTM C1157 GU
<b>Clinker</b>	45-64	45-64
<b>Adiciones minerales</b>	36-55	36-55
<b>Otros</b>	0-5	0-5

#### 1.3.4. Las Zeolitas

Las zeolitas son tectosilicatos que se forman como resultado de la alteración hidrotermal de materiales volcánicos (lavas, piroclastos o vidrio volcánico), por lo general se encuentran rellenando las cavidades de las rocas volcánicas. En los lagos salinos alcalinos están asociados como minerales del grupo de las arcillas, mientras que en lugares desérticos donde el pH es elevado se forman por la alteración de vidrios volcánicos, se manifiestan en lugares con actividad volcánica recientes o terrenos volcánicos oceánicos obducidos[12].

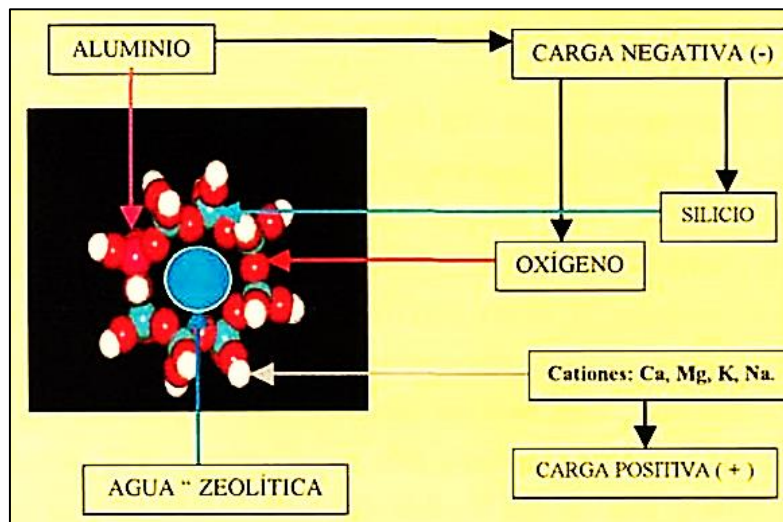
##### 1.3.4.1. Estructura de las zeolitas

Las zeolitas cumplen con requisitos según *Smith 1963* las cuales incluyen:

- Un marco tridimensional de tetraedros ocupados en más del 50% por Si y Al.
- Una estructura abierta con una densidad estructural inferior a 20 según Brunner y Meier (1989) y por lo tanto encierra cavidades conectadas por ventanas más grandes que los anillos regulares de seis miembros.

- Un contenido de marco extra representado por cationes y moléculas de agua[50].

La estructura de las zeolitas está integrada por una red tridimensional surcada por una trama interna de poros y cavidades, y por dos unidades: la primaria es la más simple y consiste de un tetraedro (TO<sub>4</sub>) de cuatro iones de oxígeno que rodean un ion central de sílice (Si) o aluminio (Al). La unidad primaria se enlaza entre sí para formar una estructura tridimensional en la que los iones de oxígeno que están en los vértices del tetraedro se comparten con otro tetraedro[25], como se muestra en la **Figura 10**.



*Figura 10. Diagrama de la estructura básica de una zeolita [14]*



#### 1.3.4.2. Tipos de Zeolitas

En la **Tabla 6** se muestra un grupo de tipos de zeolitas naturales de acuerdo a **Mumpton (1978)**.

Tabla 6. Clasificación de las Zeolitas Naturales[14].

 <p>Mineral Analcima</p>	<p style="text-align: center;"><b>Familia de la Analcima</b></p> <p><b>Analcima:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio  <b>Pollucita:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio y cesio  <b>Wairakita:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio y calcio  <b>Bellbergita:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio, estroncio, bario, y potasio  <b>Bikitaita:</b> Aluminio silicato hidratado de litio  <b>Boggsita:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio y calcio  <b>Brewsterita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio, sodio, bario y estroncio</p>
 <p>Mineral Chabazita</p>	<p style="text-align: center;"><b>Familia de la Chabazita</b></p> <p><b>Chabazita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio  <b>Willhendersonita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio y potasio  <b>Cowlesita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio  <b>Dachiardita:</b> Aluminio silicato hidratado de potasio, sodio y calcio  <b>Edingtonita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio y bario  <b>Epistilbita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio  <b>Erionita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio, potasio y sodio  <b>Faujasita:</b> Aluminio silicato hidratado de magnesio, calcio y sodio  <b>Ferrierita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio, magnesio, potasio y sodio</p>
 <p>Mineral de Natrolita</p>	<p style="text-align: center;"><b>Familia de la Natrolita</b></p> <p><b>Mesolita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio y sodio  <b>Natrolita:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio  <b>Escolecita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio  <b>Offretita:</b> Aluminio silicato hidratado de magnesio, potasio y calcio  <b>Paranatrolita:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio  <b>Paulingita:</b> Aluminio silicato hidratado de bario, sodio, calcio y potasio  <b>Perlialita:</b> Aluminio silicato hidratado de estroncio, calcio, sodio y potasio</p>
 <p>Mineral de Estilbita</p>	<p style="text-align: center;"><b>Familia de la estilbita</b></p> <p><b>Barrerita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio, potasio y sodio  <b>Estilbita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio y sodio  <b>Estellerita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio  <b>Thomsonita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio y sodio  <b>Tschernichita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio  <b>Yugawaralita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio</p>
 <p>Mineral de Heulandita</p>	<p style="text-align: center;"><b>Familia de la Heulandita</b></p> <p><b>Clinoptilolita:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio, potasio y calcio  <b>Heulandita:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio y calcio  <b>Laumontita:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio  <b>Levyna:</b> Aluminio silicato hidratado de calcio, sodio y potasio  <b>Mazzita:</b> Aluminio silicato hidratado de potasio, sodio, magnesio y calcio  <b>Merlioniita:</b> Aluminio silicato hidratado de potasio, sodio, calcio y bario  <b>Montesomaita:</b> Aluminio silicato hidratado de sodio, potasio y calcio</p>



 <p>Mineral de Gmelinita</p>	<p style="text-align: center;"><b>Familia de la gismondina</b></p> <p><b>Amicita:</b> Alumino silicato hidratado de potasio y sodio  <b>Garronita:</b> Alumino silicato hidratado de calcio  <b>Gismondina:</b> Alumino silicato hidratado de Bario y calcio  <b>Gobbinsita:</b> Alumino silicato hidratado de sodio, potasio y calcio  <b>Gmelinita:</b> Alumino silicato hidratado de sodio y calcio  <b>Gonnardita:</b> Alumino silicato hidratado de sodio y calcio  <b>Goosecreekita:</b> Alumino silicato hidratado de calcio</p>
 <p>Mineral de Phillipsita</p>	<p style="text-align: center;"><b>Familia de la harmotoma</b></p> <p><b>Harmotoma:</b> Alumino silicato hidratado de bario y potasio  <b>Phillipsita:</b> Alumino silicato hidratado de potasio, sodio y calcio  <b>Wellsita:</b> Alumino silicato hidratado de bario, calcio, potasio</p>

### 1.3.4.3. Composición de las zeolitas

La fórmula general de las zeolitas es de gran variabilidad química la única restricción es *la regla de Lowenstein* ( $Si \geq Al$ ). Una característica común es la presencia de O, Si, Al, Ca, Mg, Ba, Na, K y H como elementos fundamentales y de Fe, Sr, Li, Be, Cs, Cu y Pb principalmente como elementos ocasionales. La asignación de Fe al marco tetraédrico, a sitios marco extra, o como micro-impurezas de óxidos y / o hidróxidos de Fe sigue siendo objeto de debate abierto debido a los porcentajes muy bajos comúnmente detectados en muestras naturales y a la escasez de estudios relacionados, la mayoría de las zeolitas son de color blanco o pálido y muestran contenidos insignificantes de Fe, y en muchos casos, la esmectita rica en Fe se formó antes o después de la cristalización de las zeolitas. Estos datos sugieren que el Fe de los análisis de zeolita debe asignarse a las impurezas y, por lo tanto, no debe considerarse en el cálculo de la fórmula química[50]. En la **Tabla 7** se muestra la composición química y algunas propiedades físicas de las zeolitas.

*Tabla 7. Fórmula Química Típica y propiedades físicas de zeolitas más importantes[14], [50].*

<b>ZEOLITAS</b>	<b>FORMULA TÍPICA</b>	<b>SISTEMA CRISTALINO</b>	<b>VOL. DE PORO</b>	<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	<b>ESTABILIDAD TÉRMICA</b>	<b>CAPACIDAD INTERCAMBIO IÓNICO</b>
<b>ANALCIMA</b>	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16} \text{Si}_{32} \text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Cúbico	18	2.24-2.29	Alta	454
<b>CHABAZITA</b>	$\text{Na}_2\text{Ca}_6(\text{Al}_{24} \text{Si}_{24} \text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal	47	2.05-2.10	Alta	381
<b>CLINOPTILOLITA</b>	$\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Al}_8 \text{Si}_{40} \text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	39	2.16	Alta	254
<b>ERIONITA</b>	$(\text{Na}_{0.5} \text{K})_9(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal	35	2.02-2.08	Alta	312
<b>FAUJASITA</b>	$\text{Na}_{58}(\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}) \cdot 240\text{H}_2\text{O}$	Cúbico	47	1.91-1.92	Alta	339
<b>FERRIERITA</b>	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómbico	-	2.14-2.21	Alta	233
<b>HEULANDITA</b>	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	39	2.10-2.20	Baja	291
<b>LAUMONTITA</b>	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	34	2.20-2.30	Baja	425
<b>MORDENITA</b>	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómbico	28	2.12-2.15	Alta	229
<b>NATROLITA</b>	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómbico	23	2.20-2.26	Baja	526
<b>PHILLIPSITA</b>	$(\text{NaK})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómbico	31	2.15-2.20	Baja	387
<b>WAIRAKITA</b>	$\text{Ca}_8(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	20	2.26	Alta	461
<b>LINDE A<sup>3</sup></b>	$\text{Na}_{12}(\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	Cúbico	47	1.99	Alta	548
<b>LINDE X<sup>3</sup></b>	$\text{Na}_{86}(\text{Al}_{86}\text{Si}_{106}\text{O}_{384}) \cdot 264\text{H}_2\text{O}$	Cúbico	50	1.93	Alta	473

Se ha reportado la existencia de más de 60 tipos de zeolitas naturales cada una con su propia estructura, propiedades y características por lo que se debe conocer el tipo de zeolita con la que se va a trabajar, cada una de las propiedades de las zeolitas son identificadas mediante ensayos físicos, químicos y mineralógicos [51]. Algunos ensayos se muestran en la **Tabla 8**.

*Tabla 8. Ensayos para determinar la estructura, propiedades y características de las zeolitas naturales[51].*

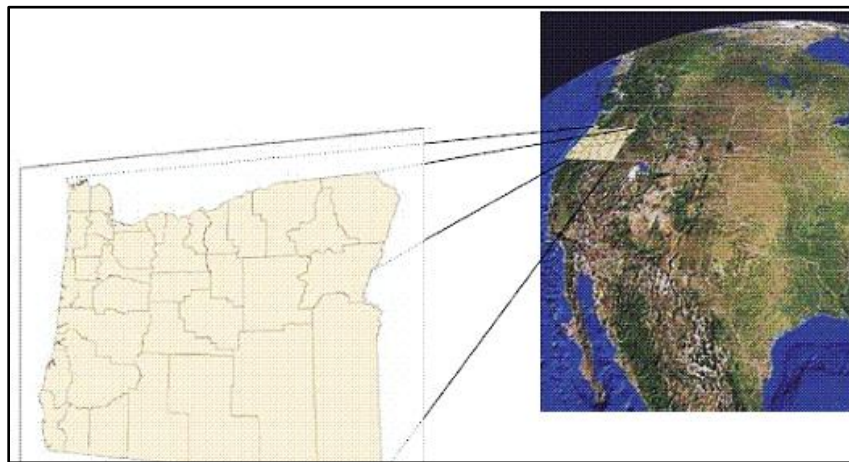
<b>Ensayos Físicos</b>	<b>Ensayos Químicos</b>	<b>Ensayos Mineralógicos</b>
Superficie BET	Fluorescencia de rayos X (FRX)	Difracción de rayos X (DRX)
Volumen y tamaño de poro	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Microscopía electrónica de barrido (SEM)
Análisis térmico diferencial (ATD)	Método analítico por absorción atómica	Espectroscopia de dispersión Rayos X (EDS)
Análisis termogravimétrico (ATG)	Método analítico por espectrofotometría visible (Método Nessler)	Análisis mineralógico por petrografía
	Análisis infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR)	

### 1.3.5. Sistema de Información Geográfica ArcGIS

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas, lo cual consiste en crear, compartir y aplicar útiles productos de información basada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones, así como crear y administrar la información geográfica pertinente mediante la georreferenciación[52].

La georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie

de la Tierra o cerca de ella. La capacidad de localizar de manera precisa las entidades geográficas es fundamental tanto en la representación cartográfica como en SIG. La correcta descripción de la ubicación y la forma de entidades requiere un marco para definir ubicaciones del mundo real. Un sistema de coordenadas geográficas se utiliza para asignar ubicaciones geográficas a los objetos. Un sistema de coordenadas de latitud-longitud global es uno de esos marcos. Otro marco es un sistema de coordenadas cartesianas o planas que surge a partir del marco global. [52].



*Figura 11. Representación Cartográfica en SIG[52]*

### **1.3.6. Cordillera Chongón-Colonche**

La cordillera Chongón-Colonche o Cerro Colonche es una formación montañosa de la costa ecuatoriana en sentido este-oeste y la forman un cinturón de cerros que se extienden desde el oeste de Guayaquil hasta desaparecer en la provincia de Esmeraldas. Su punto más alto alcanza máximo los 830m.s.n.m y tiene una extensión aproximada de 300 Km de largo y 10 Km de ancho [53], [54], nace en las cercanías de la ciudad de Guayaquil y corre en dirección sudeste a noroeste, con una extensión de 100 km de largo, por 10 a 20 km de ancho.

Exactamente, esta cordillera se inicia en el km 22 de la vía a la Costa, al norte de la ciudad de Guayaquil y se extiende hasta el límite sur del Parque Nacional Machalilla, sobre la costa del Océano Pacífico, pasando por las provincias de Guayas, Santa Elena y Manabí según *Bonifaz y Cornejo, 2004*. La altura máxima es de 830 m.s.n.m. Se presenta discontinua con distintos nombres locales de norte a sur de acuerdo a su segmentación: Mache, Chindul, Jama, Colonche, y Chongón, *Cornejo, 2003; Dodson y Gentry, 1991*[55].

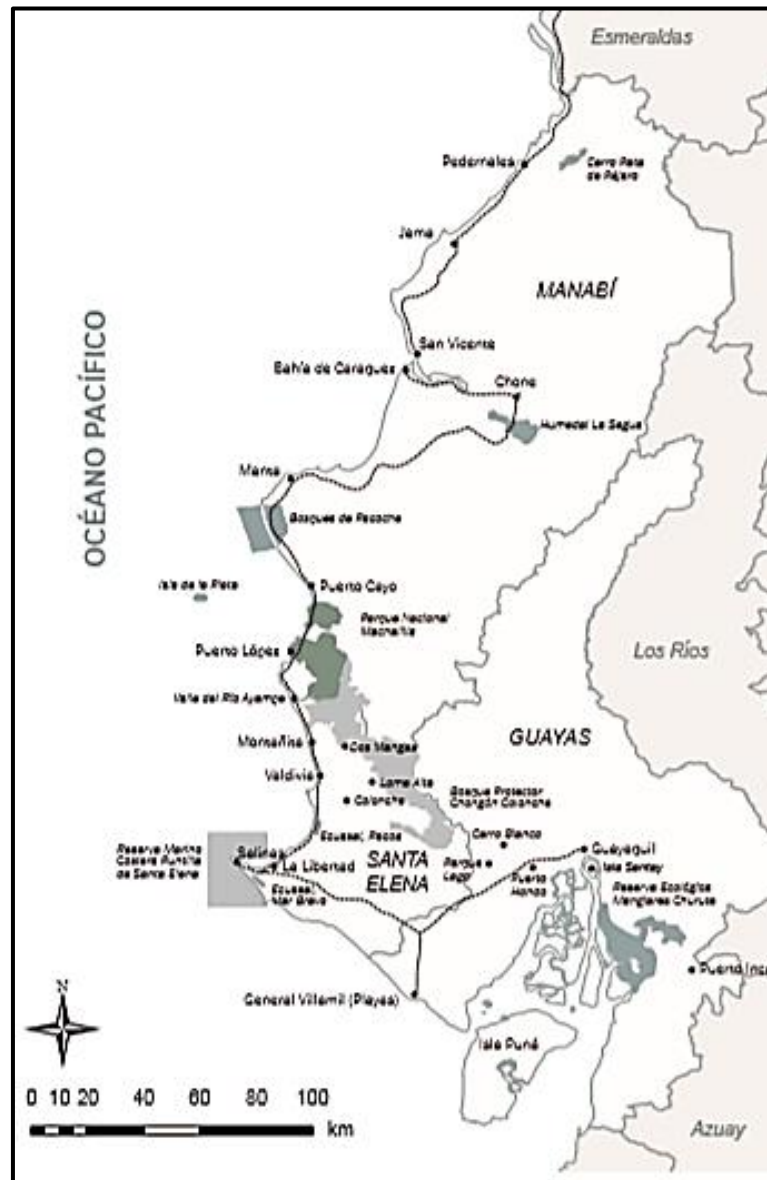


Figura 12. Cordillera Chongón-Colonche [56]

### **1.3.7. Superintendencia de Compañías, Valores y Servicios - SUPERCIAS**

La Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros es un organismo técnico, con autonomía administrativa y económica, que vigila y controla la organización, actividades, funcionamiento, disolución y liquidación de las compañías y otras entidades en las circunstancias y condiciones establecidas por la Ley[57]. En este sitio web se encuentra las Compañías Mineras más importantes del Ecuador con su respectivo nombre, ubicación y procesos de explotación.

### **1.3.8. Agencia de Regulación y Control Minero - ARCOM**

La Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) es la institución encargada de controlar y regular las actividades en el sector minero del Ecuador con estrategias efectivas de calidad y transparencia, mediante el Reglamento para el Control de las Exportaciones de Minerales, el Reglamento para la Calificación y Registro de Organismos de Inspección y Laboratorios de Ensayo para el Sector Minero y la Regulación de Transporte de Recursos Minerales, se regula el manejo del material mineralizado, esto significa que la ARCOM controla todas las fases desde la exploración, la explotación, venta, comercialización y hasta la exportación de los minerales, tal como determina la Ley de Minería [58].

### **1.3.9. Granulometría de materiales**

El objetivo de este ensayo es la determinación del tamaño máximo y mínimo de las partículas de un determinado material, que pasa por una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente. Es decir, la distribución granulométrica de partículas de áridos finos y gruesos.

De acuerdo con la NTE INEN 696 (Norma Técnica Ecuatoriana: Instituto Ecuatoriano de Normalización) (ASTM C136) el método de ensayo de granulometría se utiliza principalmente para la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para el hormigón o utilizarlos como áridos con otros propósitos. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos, también puede ser útil para estimar la porosidad y arreglo de partículas[59].

Mediante este método no se puede determinar de manera precisa del material más fino que el tamiz de 75 $\mu$ m (N°200), las partículas en condiciones secas y de masa conocida son separadas por diferentes tamaños a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente, las masas de las partículas mayores a las aberturas de los tamices expresado en porcentaje de masa permite determinar la distribución del tamaño de partículas[59] en la **Tabla 9** y **Tabla 10** se indica el tamaño de las aberturas y la cantidad de muestra para árido grueso y las aberturas para árido fino respectivamente.

*Tabla 9. Tamaño de abertura y cantidad de muestra para árido grueso[59].*

<b>Tamaño nominal máximo Aberturas cuadradas en (mm)</b>	<b>Tamaño de muestra del ensayo Mínimo (Kg)</b>
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

*Tabla 10. Tamaño de abertura de acuerdo a la Norma ASTM C136 – INEN 0696- INEN 0872 para árido Fino [59][20].*

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
ASTM	INEN	
3/8"	9.5 mm	100
N° 4	4.75 mm	95-100
N°8	2.36 mm	80-100
N°16	1.18 mm	50-85
N°30	600 μm	25-60
N°50	300 μm	10-30
N°100	150 μm	2-10
N°200	75 μm	0-5

De acuerdo a la norma INEN 696 para agregado fino se debe colocar los respectivos tamices enumerados en la **Tabla 10** en orden descendiente con un mínimo de 300 gramos de material y llevarla a la tamizadora electrónica [59].

**Curva Granulométrica:** En este ensayo después de realizar el tamizado de la muestra, se debe realizar una curva granulométrica representando en las abscisas la abertura del tamiz en escala logarítmica y en las ordenadas el porcentaje de material que pasa por cada tamiz, esta curva tiene la ventaja de diferenciar el exceso de material fino o grueso dependiendo de su distribución.

La manera de diferenciar si el material se encuentra más fino o más grueso depende de las curvas granulométricas de los límites superior e inferior las cuales muestran si el material tiende a fino o tiende a grueso este límite está establecido en la Norma INEN 0696, de la misma manera indica que material está en buen estado para mezcla de hormigón.

**Módulo de Finura:** es un parámetro que refleja de forma práctica el grosor del material, de acuerdo a esta norma para calcular el módulo de finura se realiza mediante la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulado de los tamices 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 divididos entre cien como se muestra en la **Ecuación 1:**



$$MF = \frac{\frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100}{100}$$

*Ecuación 1. Módulo de Finura*

El módulo de finura adecuada para producir hormigón debe estar entre 2,2 y 3,5 esto muestra que un valor menor a 2 es una arena fina, 2,5 una arena de finura media y más que tres es una arena gruesa[60].

**Tamizadora:** Permite la obtención de resultados reproducibles, cumple con la norma ISO 9001, para equipos de medición y control. Como tal se convierte en un equipo indispensable para el trabajo en laboratorios de investigación, y control de calidad en todo tipo de industrias para el análisis del proceso de producción, permite definir propiedades mecánicas de las partículas, aglomeración por fuerzas adherentes, miscibilidad, comportamiento frente al esfuerzo, propiedades organolépticas.

Es de fácil funcionamiento, ajusta la potencia de tamizado lo que permite una mayor dispersión de la muestra por el tamiz y una mayor eficiencia del proceso de tamizado[61]. En la **Figura 13** se puede observar un ejemplo de tamizadora para análisis de muestras en seco.



*Figura 13. Tamizadora de análisis para tamizado en seco.*

**Fuente:** <https://www.directindustry.es/prod/cooper-research-technology/product-68434-1372931.html>

**Tamices:** El tamiz desde el punto de vista industrial se define como una malla de filamentos que se entrecruzan dejando unos huecos cuadrados del mismo tamaño, ya que éste determinará el tamaño de lo que va a atravesar el hueco, también conocido como luz de malla.

- Se usan estos tamices en los casos de medir y tamizar
- Arenas de fundición
- Detergentes en polvo
- Café
- Minerales
- Compuestos químicos
- Carbón
- Materiales de construcción y relleno
- Harina
- Semillas
- Metales en polvo
- Fertilizantes artificiales[62]

En la **Figura 14** se puede observar un tamiz estándar representativo.



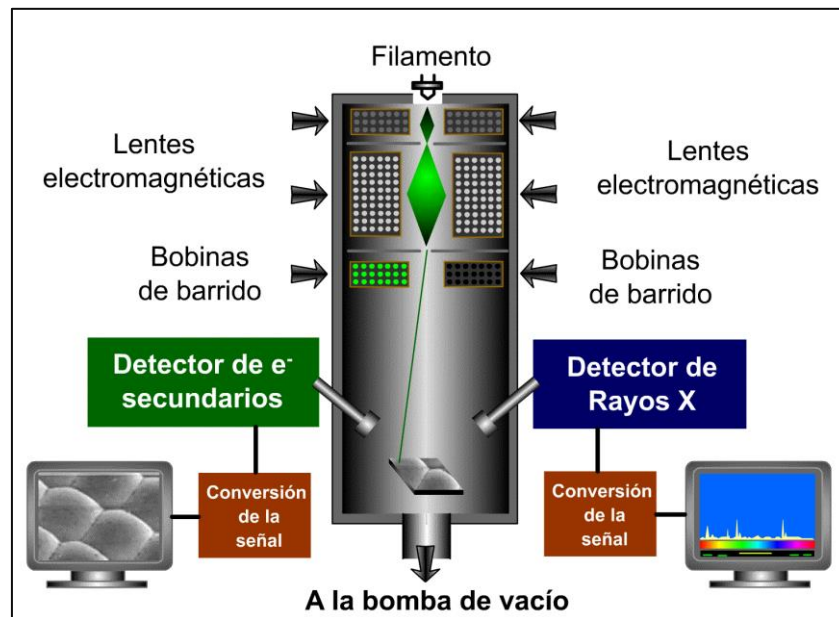
*Figura 14. Tamiz Estándar para laboratorio.*

**FUENTE:** m&m Instrumentos Técnicos S.A.S.

### **1.3.10. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)**

El microscopio electrónico de barrido es uno de los instrumentos más versátiles disponibles para exámenes y análisis de la morfología de la microestructura y la caracterización de la composición química. Es fundamental conocer los principios básicos de la óptica de luz para conocer los principios básicos de la microscopía electrónica, la microscopía óptica tiene límite de resolución de 2000 Å al agrandar el ángulo visual través de la lente óptica, la microscopía electrónica se ha desarrollado reemplazando la luz por un haz de electrones de alta energía. El SEM utiliza un haz de electrones enfocados para escanear sistemáticamente a través de la superficie de la muestra, la formación de imágenes SEM depende de la adquisición de señales producidas por el haz de electrones y las interacciones de la muestra, estas se pueden dividir en interacciones elásticas e inelásticas [63].

Al barrer una superficie con una pistola e electrones de energía elevada se producen diversos tipos de señales que usualmente corresponden a electrones retro dispersados y secundarios que sirven de base a la microscopía electrónica de barrido y la fluorescencia de rayos X que se utiliza para el análisis con EDX (Llamas J., 1998)[14]. En la **Figura 15** se muestra los componentes principales de un microscopio electrónico de barrido.



*Figura 15. Componentes principales el Microscopio Electrónico de Barrido*

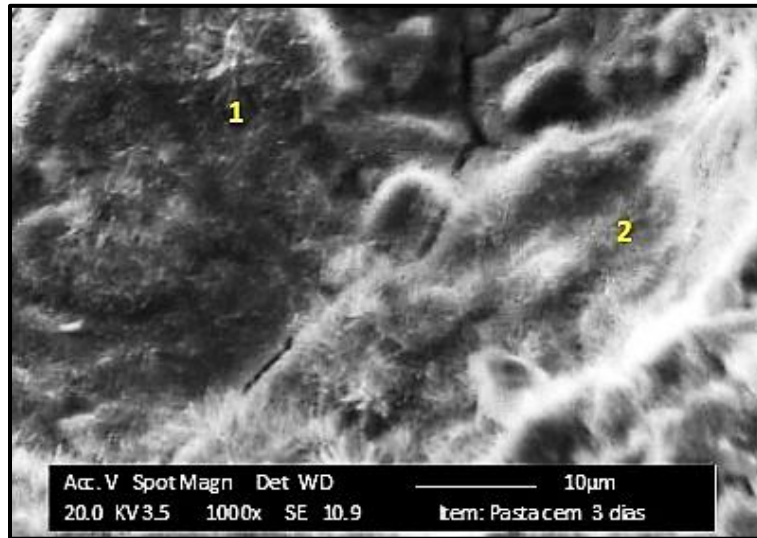
*Fuente: <http://quimica.unab.cl/wp-content/uploads/2014/10/construccion.gif>*

Dentro del proceso para realizar el análisis de microscopía electrónica de barrido se realiza el recubrimiento de muestras en bajo vacío: Se realizan dos tipos de recubrimientos:

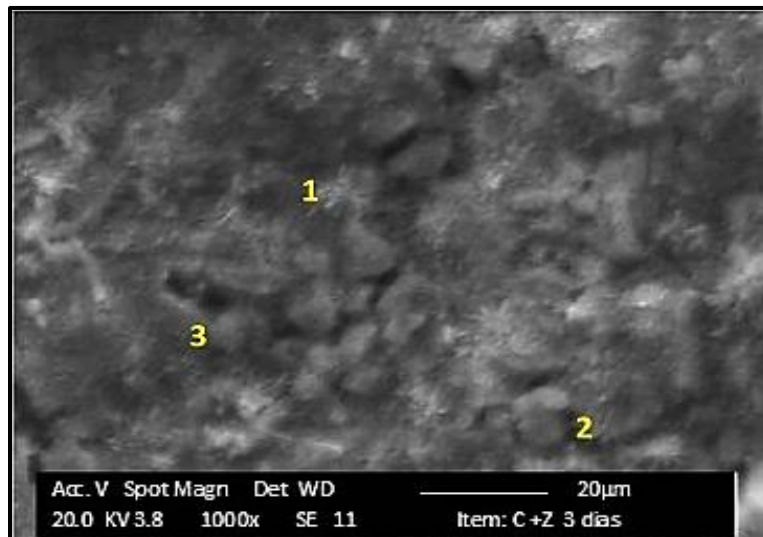
- “sputtering” de oro para obtener las mejores condiciones de imagen.
- Para microanálisis por rayos X, recubrimiento por hilo de carbono.

La ventaja de este sistema es que se puede observar cualquier muestra biológica o hidratada con una preparación mínima y rápida con una buena preservación estructural.

Con ello se han realizado Microscopía Electrónica de Barrido de varios materiales entre ellos el Cemento y las Zeolitas naturales habladas anteriormente. En la **Figura 16** y **Figura 17** y se muestra la estructura interna (Forma del material), mediante imágenes SEM de pasta de cemento y pasta de cemento más zeolitas respectivamente donde se puede apreciar la diferencia entre las estructuras mostradas de acuerdo a *Rosell en el 2011*.



*Figura 16. Micrografía de pasta de cemento a los tres días[3].*



*Figura 17. Micrografía de pasta de cemento más zeolita a los tres días[3].*

### 1.3.11. EDS- Espectroscopía de Dispersión de Rayos X

La Espectroscopía de dispersión de rayos X (EDS) se basa en la detección de la radiación X que emite un material excitado por un haz de electrones enfocado en un área muy pequeña, estos electrones, con energía del orden de las decenas de keV, producen transiciones energéticas en los átomos comprendidos en un volumen de  $1\mu\text{m}^3$

aproximadamente, según el sistema de detección de esta radiación, ya sea en energía (mediante un detector de estado sólido) o en longitud de onda (mediante una red de difracción), la técnica se denomina, respectivamente, EDS o WDS. El análisis de los rayos X característicos emitidos por una muestra implica medir muy precisamente sus longitudes de onda o energías y las correspondientes intensidades. Cuando se usa el sistema dispersivo en energías, el detector de rayos X se coloca antes de dicho sistema dispersante a fin de coleccionar la mayor cantidad de radiación posible, así la señal de rayos X proveniente del detector es analizada por un sistema de análisis de altura de pulsos donde esta altura está relacionada con la energía del fotón incidente[64],[65] .

Sin embargo existen tres problemas que disminuyen el impacto del SEM y EDS:

- a) En el análisis cualitativo es decir la identificación del elemento que debe preceder al análisis cuantitativo al menos algunos sistemas de softwares existentes y muchos sistemas heredados son vulnerables a la identificación errónea ocasional de los picos de los componentes principales con la frecuencia de identificaciones significativamente crecientes para los componentes menores,
- b) El uso de análisis estándar que están sujetos a errores sistemáticos más amplios, tienen resultados cuantitativos, que si bien es cierto son útiles pero no tienen la precisión suficiente para resolver problemas más complejos como por ejemplo la fórmula de un compuesto químico,
- c) Los espectrómetros EDS tienen un volumen de aceptación tan grande que se pueden obtener espectros aparentemente creíbles de especímenes con topografía compleja que introducen factores geométricos no controlados que modifican la generación y propagación de rayos X, lo que resulta en errores sistemáticos muy grandes, a menudo un factor de diez o más [64].

Mediante este análisis se puede obtener porcentajes de elementos y compuestos químicos, como se indica en la **Figura 18** y **Figura 19**, donde se puede observar en las gráficas picos altos y bajos de diferentes elementos químicos y en el caso del cemento sus compuestos químicos según *Rosell en el 2011*.

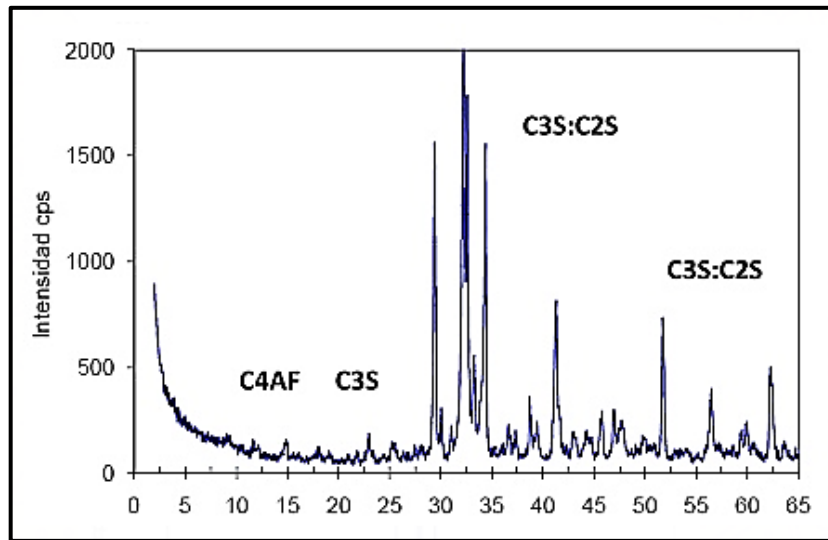


Figura 18. EDS de la muestra de cemento Mariel[3].

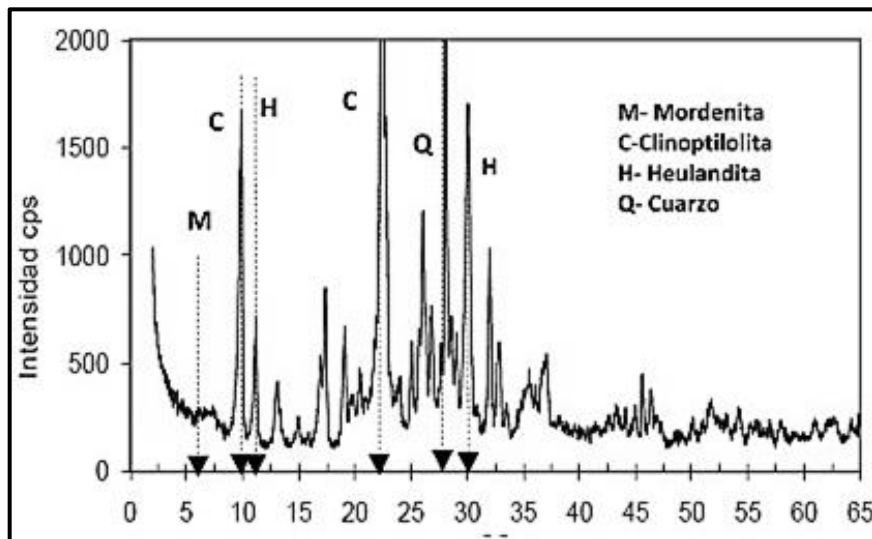


Figura 19. EDS de la muestra de zeolita Tasajeras[3].

### 1.3.12. Microscopio Electrónico de Barrido JSM-IT 100 de Tecnologías JEOL SEM.

El microscopio JSM-IT100 es un microscopio electrónico de barrido compacto y versátil su uso es sencillo, mantiene versatilidad y capacidad de expansión al mismo

tiempo, lo que se espera de un SEM del grado investigativo. Este SEM se utiliza en una amplia gama de campos, como la biotecnología y nanotecnología, cubriendo diversas aplicaciones como el desarrollo de materiales, pruebas, evaluación y análisis de defectos hasta control de calidad.

Tiene un modelo integrado en EDS, un sistema de software fácil de usar que permite una integración fluida de la observación, el análisis fundamental y la generación de informes. Consta de un panel táctil de gran comodidad así como la utilización de mouse lo que amplía la selección de operaciones de acuerdo con las necesidades de los usuarios. Este JEOL SEM incorpora una GUI que integra completamente la observación al análisis de elementos en una ventana, mientras que el cambio SEM / EDS se puede hacer con la configuración de un solo clic.

Esta interfaz de software fácil de usar permite que incluso usuarios sin experiencia realicen cualquier tarea con alta eficiencia. Realice el intercambio de muestras sin problemas presionando los botones como lo indica la navegación de intercambio de muestras. Cuando se instalan la platina y el sistema de navegación de platina, es posible localizar una región de interés con la sensación de operar un microscopio óptico. En la **Figura 20** se muestra una imagen del microscopio JSM-IT100[66].



*Figura 20. Microscopio Electrónico de Barrido JSM-IT100[66]*



### 1.3.13. Densidad

La define la densidad como la masa por unidad de volumen de un determinado material expresado en ( $\text{Kg/m}^3$  -  $\text{Lb/pe}^3$ ). En el caso de los agregados se pueden obtener distintos valores dependiendo del estado en el que se encuentre el material estas pueden ser: (a) Secado al horno (SH) condición en la cual han sido secados por calentamiento en un horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  por suficiente tiempo para alcanzar una masa constante. (b) Saturado superficialmente secos (SSS) condición en la cual los poros permeables de las partículas de agregado son llenadas con agua, a través de una prolongada inmersión en agua por un período de tiempo prescrito, pero sin agua libre sobre la superficie de las partículas, esto de acuerdo a la Norma NTE INEN 0156 – ASTM C128 para agregado fino [67],[68].

Según la norma ASTM C128 define las densidades como:

- *Densidad (SH)*: la masa de las partículas de agregado secadas al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poro permeables e impermeables en las partículas, pero sin incluir los vacíos entre ellas.
- *Densidad (SSS)*: la masa de agregado saturado superficialmente seco por unidad de volumen de las partículas de agregado, incluyendo el volumen de vacíos impermeables y poros llenos de agua dentro de las partículas, pero no incluye los poros entre las partículas.
- *Densidad aparente*: la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de agregado.
- *Densidad relativa (gravedad específica)*: la relación de la densidad de un material a la densidad del agua a una temperatura declarada, los valores son adimensionales.
- *Densidad relativa (gravedad específica) (SH)*: la relación de la densidad (SH) del agregado a la densidad del agua a una temperatura declarada.
- *Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)*: la relación de la densidad (SSS) del agregado a la densidad del agua a una temperatura declarada.

- *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)*: la relación de la densidad aparente de agregado a la densidad del agua a una temperatura declarada[68].

La norma INEN 156 establece el método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico, mediante el método del frasco volumétrico de Le Chatelier, que relaciona con el diseño y control de mezclas de hormigón. Consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen de un líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier. Por otro lado, se pueden ocupar equipos alternativos con características similares para la determinación de la densidad a condición de que el mismo operador pueda obtener resultados dentro de  $\pm 0.3 \text{ g/cm}^3$  o  $\text{Mg/m}^3$  de los resultados obtenido utilizando el método del frasco. Dentro de los reactivos se debe utilizar querosén libre de agua o nafta que tenga densidad mayor a  $0.73 \text{ g/cm}^3$  a  $23^\circ\text{C} \pm 3$ . Para la obtención de la densidad del cemento se debe ocupar 64g con una aproximación de 0.05g [67], en la **Figura 21** se muestra el esquema del frasco de Le Chatelier para ensayo de densidad del cemento.

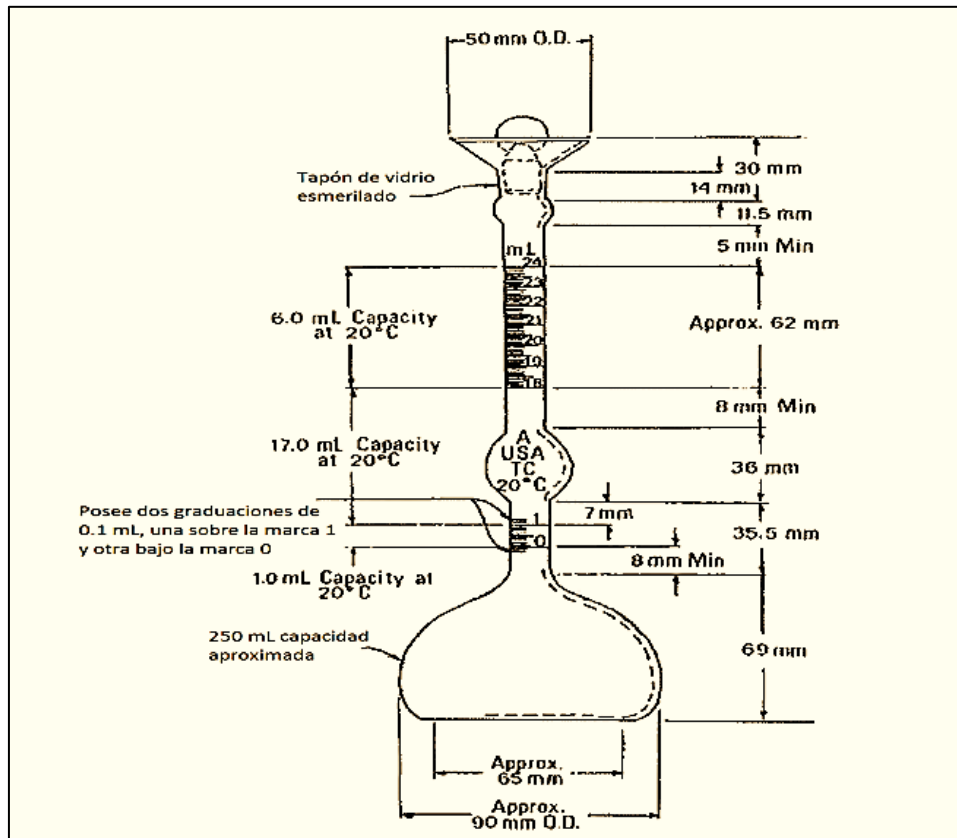


Figura 21. Frasco de Le Chatelier para ensayo de densidad Norma INEN 156 [67].

La determinación de la Densidad del cemento se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\rho \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{masa del cemento, } g}{\text{volumen desplazado, } cm^3}$$

Ecuación 2. Densidad del cemento

Donde:

$\rho$  = Densidad

### 1.3.14. Finura

Es referida al grado de molienda en polvo de un material el cual presenta un principio fundamental: A mayor finura, crece la resistencia, pero aumenta el calor de hidratación y cambios de volumen. La finura del cemento es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento ya que influye de una manera decisiva en la velocidad de las reacciones químicas durante el fraguado inicial y primer endurecimiento. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento son hidratados solo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy bajo al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura muy alta su retracción y calor de hidratación también lo serán. En el caso del cemento: A mayor finura del cemento mayor rapidez de hidratación y mayor desarrollo de resistencia[36].

Es importante el estudio de la finura de un material ya que esta propiedad afecta a:

- La Velocidad de Hidratación
- La Velocidad de Fraguado
- La Velocidad de Endurecimiento
- La durabilidad
- La Velocidad de Carbonatación durante el Endurecimiento
- Costo

Sin embargo la resistencia posterior no se ve afectada por esta propiedad[37].

La determinación de esta propiedad es encontrada mediante dos métodos descritos a continuación:

### 1.3.14.1. Finura por el Método de Tamizado Seco

La Norma NTE INEN 489 - ASTM C 184-82 - AASHTO T128-67 establece el método para determinar la finura mediante tamizado seco con el empleo de tamices 150 y 75  $\mu\text{m}$ , este se utiliza para ensayo de rutina y tentativos de cementos y materiales pulverizados. Esta determinación utiliza diferentes porciones de la misma muestra; el laboratorio, los materiales y la muestra deben estar a una temperatura entre 18 y 24  $^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa no debe ser menor a 50%. Este ensayo determina la finura en base al material retenido en el tamiz 150 o 75  $\mu\text{m}$ , las cuales deben cumplir con ciertos requisitos especificados en esta normativa, por otro lado se ocupa una balanza analítica con una sensibilidad de 0.001g y 50g de muestra de cemento u otro material pulverizado[69].

Para la determinación de la finura se necesita de una calibración del tamiz 75  $\mu\text{m}$  cuando es necesario realizar una comparación entre dos laboratorios, mientras que para el tamiz 150  $\mu\text{m}$  no requiere de ninguna calibración, esta calibración esta especificada en los anexos de la norma INEN 489. Este ensayo se realizará mediante golpes y rotaciones en determinados rangos de tiempo: (a) primer rango de 3 a 4 minutos entre rotaciones y golpes horizontales, (b) segundo rango de golpes de 5 a 10 minutos entre rotaciones y golpes horizontales, (c) tercer rango de golpes de un minuto en rotaciones inclinadas hasta que no pase más de 0.05g de material del tamiz ocupado, finalmente pesar la muestra retenida en el tamiz y realizar los cálculos especificados en la normativa descrita[69].

La finura de la muestra se calcula de la siguiente manera **Ecuación 3** sin ocupar una corrección es decir trabajando con el tamiz N°100:

$$F = 100 - \frac{mR * 100}{m}$$

*Ecuación 3. Ecuación Finura método Tamizado Seco [69]*

Siendo:

F = finura del material expresado como porcentaje que pasa a través del tamiz N°100

mR = masa de la muestra retenida en el tamiz N°100 en gramos

m = masa total de la muestra del ensayo en gramos.

#### **1.3.14.2. Finura Mediante el Aparato de Permeabilidad al Aire (Aparato Blaine)**

La Norma NTE INEN 0196- ASTM C204- AASHTO T153 establece el método de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico en términos de superficie específica expresada como el área total de la superficie en  $\text{cm}^2/\text{g}$  o  $\text{m}^2/\text{Kg}$  de cemento utilizando el aparato Blaine de permeabilidad al aire. Se presentan dos métodos de ensayo de acuerdo a la normativa la primera es el ensayo de referencia que utiliza el aparato de Blaine normalizado operado manualmente, mientras que el segundo permite el uso de un aparato automatizado que debe estar de acuerdo con los requisitos de calificación de este ensayo, permitiendo resultados aceptables, estos ensayos se utilizan para las medidas de finura de diversos materiales, se debe tomar en cuenta que los valores que son obtenidos son relativos antes que absolutos[70].

Para realizar el ensayo se debe tomar en cuenta que el material esté a temperatura ambiente ya sea para el primer o segundo método. La determinación de la finura del cemento se basa en que la velocidad de paso del aire a través de una capa de dicho material, con determinada porosidad, es función del número y del tamaño de los poros existentes en la capa, los cuales dependen del tamaño de las partículas del material y por lo tanto de su superficie específica. Se requiere de dos ensayos de permeabilidad al aire para obtener mayor precisión en los ensayos, los equipos a utilizar y el proceso están descritos en la normativa citada. El coeficiente de variación para un solo operador es de 1.2% por lo tanto para dos ensayos realizados con la misma muestra por el mismo operador no debe diferir más de 3.4% de su promedio. Por otro lado el coeficiente de variación multilaboratorio es

de 2.1% por lo tanto los resultados para dos laboratorios distintos con muestras idénticas no debe diferir más de 6% de su promedio[70].

Dentro del ensayo de permeabilidad al aire con aparato de Blaine se requiere de una calibración con líquido viscoso y cemento preparado normalizado con determinada porosidad la cual sigue las especificaciones de la Normativa descrita anteriormente. Este aparato manual consta de cinco partes principales las cuales son: un manómetro en forma de U, una celda de acero inoxidable, disco pequeño perforado, un embolo y una pera de goma o aspirante de aire cada uno con medidas especificadas en la normativa mencionada [70] como se indica en la **Figura 22**.

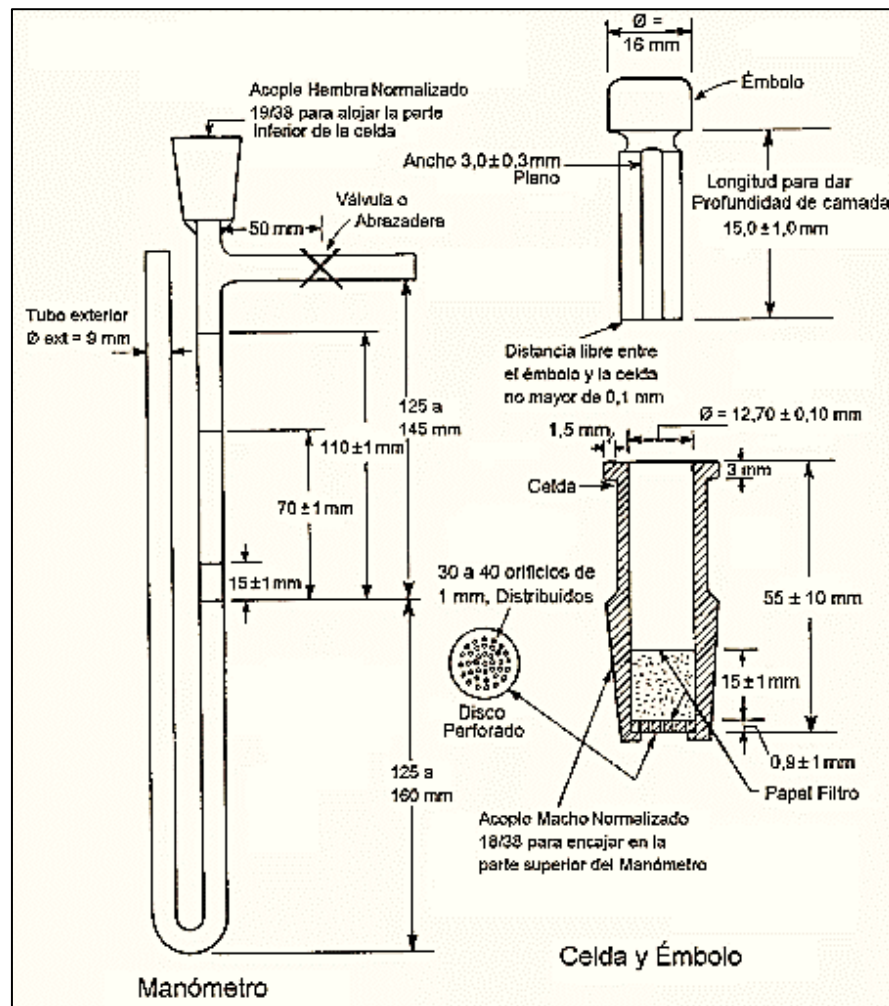


Figura 22. Aparato de Permeabilidad al Aire Blaine[70].

### 1.3.15. Máquina de Abrasión de los Ángeles

Está usada para la determinación de resistencia de agregados a fragmentación. La máquina tiene una unidad de control electrónico y un tambor de acero enchapado con un diámetro interno de 711 mm y longitud interna de 508 mm. El tambor rota a una velocidad de 31-33 r.p.m. El estante interno que viene con la máquina cumple con los estándares ASTM y AASHTO. La máquina viene con un contador automático, cuando completa las giras (vueltas) predeterminadas, la máquina para automáticamente. El tambor tiene un dispositivo de seguridad que permite que el operador pueda asegurar con candado el tambor para fácilmente cargar/descargar la muestra. Con la máquina está incluida una charola de acero para fácil descarga del espécimen y las esferas para abrasión. El modelo estándar puede venir con un gabinete de seguridad para amortiguar/reducir el ruido. El gabinete está cubierto internamente con material para amortiguar el ruido y debe estar ordenado con la máquina de abrasión los ángeles si está requerido porque la unidad de control electrónico debe estar instalada en el gabinete de seguridad en el tiempo de la fabricación. El gabinete viene con un dispositivo de seguridad electrónico que para la máquina automáticamente y para la rotación del tambor cuando la puerta está abierta [71]. En la **Figura 23** se muestra un tipo de máquina de abrasión de los Ángeles:



*Figura 23. Máquina de Abrasión de los Ángeles[71]*



### 1.3.16. Molino de Tambor de Bolas para Aplicaciones de Pulvimetalurgia.

El molino de tambor de bolas ha sido diseñado para obtener aleaciones mecánicas, este diseño parte de la cantidad en peso del material a moler que es de 2 Kg. Este tiene un tambor de acero inoxidable sus dimensiones son ideales para soportar altas temperaturas en la molienda, además tiene parámetros como la velocidad crítica a la que debe funcionar el molino, la potencia real que debe generar, su capacidad de soporte se divide en el peso de los cuerpos moledores y molienda húmeda.

Esta capacidad de soporte está determinada mediante un software de elementos finitos, de acuerdo con la distribución de las bolas es capaz de obtener tamos de  $20\ \mu\text{m}$  de grano. Esto se logra gracias a los elementos esféricos (bolas de acero) que posee el molino. El molino de bolas fue diseñado y construido por estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato[72]. En la **Figura 24** se muestran los componentes del Molino de Tambor de Bolas.

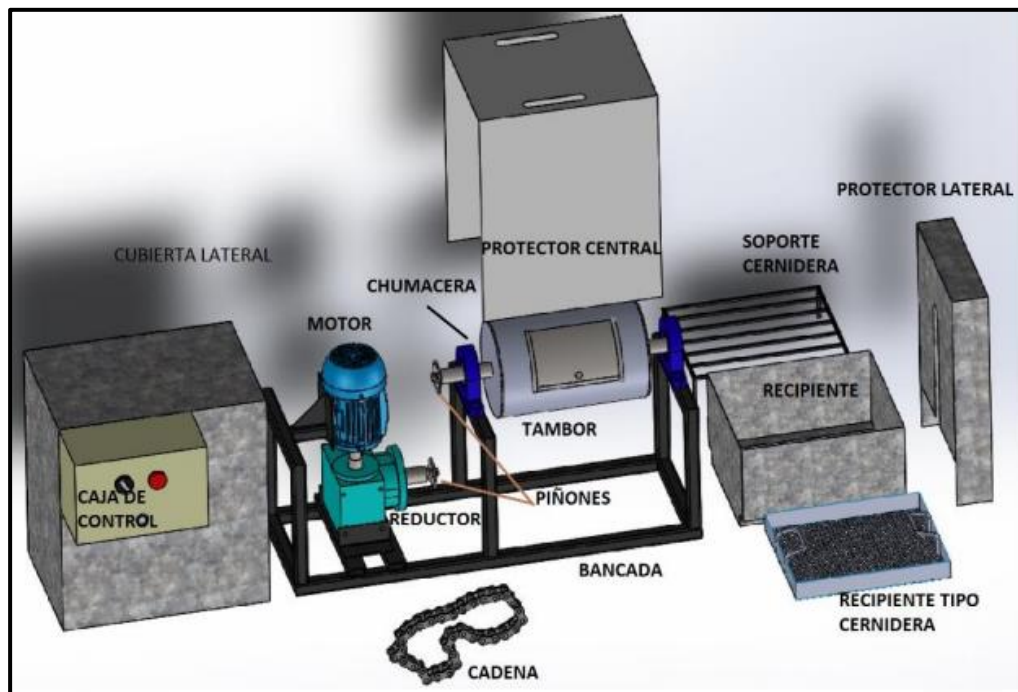
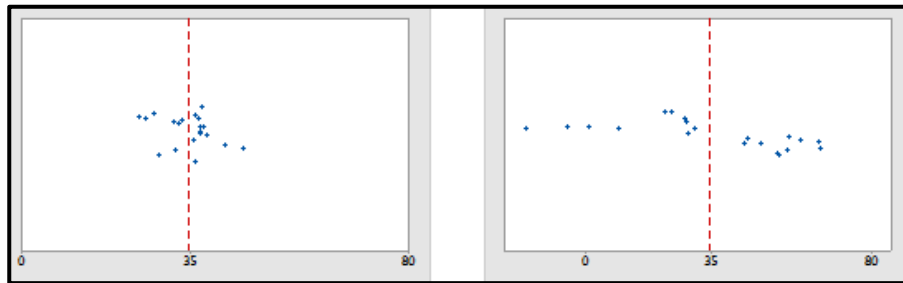


Figura 24. Molino de Tambor de Bolas[72].

### 1.3.17. Desviación Estándar

La desviación estándar es una medida de dispersión de datos con respecto a la media, cuanto mayor sea la dispersión mayor será desviación estándar. El símbolo  $\sigma$  (sigma) se utiliza frecuentemente para representar la desviación estándar de una población.

La desviación estándar se puede utilizar para establecer un valor de referencia para estimar la variación general de un proceso [73]. En la **Figura 25** se puede observar la dispersión entre cantidades de datos en una determinada población.



*Figura 25. Dispersión de datos en una población*

*Fuente:* <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/what-is-the-standard-deviation/>

Para obtener la desviación estándar se ocupa la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (D_i - X)^2}{N}}$$

*Ecuación 4. Fórmula para obtener desviación estándar*

**Donde:**

- $\sigma$**  Desviación Estándar
- N** Número de datos
- D** Dato de dispersión
- X** Promedio de datos obtenidos

## **1.4.OBJETIVOS**

### **1.4.1. General**

- Determinar las propiedades físicas, químicas y morfológicas de los aluminosilicatos que son compatibles con el cemento portland TIPO GU.

### **1.4.2. Específicos**

- Seleccionar muestras representativas de aluminosilicatos (zeolitas naturales) existentes en el Ecuador.
- Determinar las propiedades físicas de las zeolitas naturales que sean necesarias para sustituir parcialmente al cemento.
- Comparar la morfología y composición química de las muestras de aluminosilicatos con el cemento portland TIPO GU.

## CAPITULO II

### 2. METODOLOGÍA: MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. Tipos De investigación

En primer lugar se realiza la investigación Documental de las zeolitas naturales en la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (SUPERCIAS) y (ARCOM) Agencia de Regulación y Control Minero, el cual se encuentra en un Sistema de Referencia WGS84 UTM 17 SUR donde se inició el análisis de las distintas minas y su respectiva verificación mediante llamadas telefónicas y búsqueda de dichas minas por internet con el fin de comprobar su existencia y explotación en la actualidad.

Luego se procede con la investigación De Campo en ciertas Minas, Procesadoras y Oficinas contactadas las cuales dan apertura para obtener muestras de zeolitas que serán utilizadas en los ensayos respectivos para el presente trabajo de investigación.

Por último se realizó la investigación experimental para llevar a cabo las pruebas y el análisis de los resultados obtenidos en este caso. Se desarrollaron ensayos físicos, morfológicos y químicos. Primero se realizó la caracterización geométrica de cada material mediante la MA y después utilizando el molino MTB, en segundo lugar se realizó la caracterización morfológica mediante el SEM microscopia electrónica de barrido luego se obtuvo la composición química mediante EDS espectroscopia de dispersión de rayos X, y por último se realizó la caracterización física mediante la determinación de la densidad y finura esto utilizando tanto el cemento CGU como las zeolitas ZR, ZC y ZCa. Se aplicaron las normas propias del Cemento para zeolitas naturales. En el siguiente esquema **Figura 26** se muestra el proceso de investigación aplicado para el presente proyecto.





*Figura 26. Metodología de Investigación del proyecto.*



El nivel investigativo del presente trabajo es exploratorio ya que se encuentran nuevos datos de propiedades a partir de muestras de zeolitas naturales en reemplazo del Cemento Portland CGU.

## **2.2.Equipos y Materiales**



**Equipos:**



Equipo	Descripción	Marca/Serie	Fotografía
<p>Máquina de Abrasión de los Ángeles (MAA)</p>	<p>Pertenciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Ensayo de Materiales Ingeniería Civil.</p> <p><b>Especificaciones:</b> La MA consta de un tambor de diámetro interno de 711mm de acuerdo a las normas ASTM C131, C535; AASHTO T96, una longitud de 508mm y rota a una velocidad de 31 a 33rpm, tiene un contador automático que al completar 500 revoluciones especificadas el tambor para automáticamente, consta de un seguro que permite realizar la carga y descarga de manera sencilla a su vez tiene una charola de acero donde recoge el material y 12 bolas de acero de diámetro de 46 a 48 mm utilizadas para el método de abrasión, su capacidad de carga es de 5Kg de material y 5Kg de carga por las bolas de acero, por otro lado tiene un gabinete o cobertor del tambor que se encuentra cubierto en el interior para amortiguar el ruido constante en el ensayo[71].</p>	<p>Controls 4214469 MS</p>	 <p>Máquina de los Ángeles UTA.</p>



<p>Tamices (T)</p>	<p>Perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Suelos Ingeniería Civil.</p> <p>Separa partículas finas de las gruesas está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro, también es conocido por cedazo o criba.</p> <p>La serie de tamices observados en la imagen tienen aberturas de 9.5mm, 4.75mm, 2.36mm, 1.18mm, 600<math>\mu</math>m, 300<math>\mu</math>m, 150<math>\mu</math>m y 75<math>\mu</math>m en forma ascendente desde la base.</p>	<p>Controls S/N</p>	 <p>Serie de Tamices para Granulometría.</p>
------------------------	---	-------------------------	---



<p>Tamizadora Automática (TA)</p>	<p>Perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Suelos Ingeniería Civil</p> <p>Se encarga de separar mediante vibración por medio de la serie de tamices partículas de distintos tamaños.</p> <p>Una vez encendida se mantiene en vibración automática desde un minuto hasta treinta minutos de acuerdo al requerimiento.</p>	<p>Controls MS5651296</p>	 <p>Tamizadora Automática UTA</p>
<p>Balanza Electrónica de 0.1g de precisión (BE)</p>	<p>Perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Suelos Ingeniería Civil.</p> <p>Capacidad de 6000g, tamaño de bandeja de pesado (160 x 135 mm), temperatura de funcionamiento 40 °C.</p>	<p>DJ6001A CHQ-DJ</p>	 <p>Balanza Electrónica de 0.1g de precisión</p>



<p>Molino de Tambor de Bolas (MTB)</p>	<p>Perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Fundición Ingeniería Mecánica</p> <p>Las especificaciones correspondientes a este equipo se lo encuentran en la <b>Tabla 11</b>.</p>	<p>S/N</p>	 <p>Molino de Tambor de Bolas</p>
<p>Bolas de Acero (BA)</p>	<p>Perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Fundición Ingeniería Mecánica.</p> <p>Las especificaciones correspondientes a las Bolas de Acero utilizadas para la trituración de material se lo encuentran en la <b>Tabla 12</b>.</p>	<p>S/N</p>	 <p>Bolas de Acero</p>

<p>Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)</p>	<p>Pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.</p> <p>Varias características para el funcionamiento de este Microscopio se lo encuentran en la <b>Tabla 13</b>.</p>	<p>JSM-IT 100 S/N</p>	 <p>Microscopio Electrónico de Barrido</p>
<p>Baño María (BM)</p>	<p>Pertenece a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Suelos Ingeniería Civil.</p> <p>Tiene una precisión de temperatura de +/- 0.1%, un requerimiento de energía de 110V, un volumen de 14 galones y rango de temperatura de 9 a 203 °F (5-95 °C).</p>	<p>Humboldt S/N</p>	 <p>Baño María</p>

<p>Balanza Analítica de 0.01g de precisión. <b>(BAP)</b></p>	<p>Perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Química. Capacidad de 1500g, tamaño de bandeja de 6.9 x 5.6 pulg. (174 x 143 mm), temperatura de funcionamiento 50 a 86 °F (10 a 30 °C)</p>	<p>Sartorius S/N</p>	 <p>Balanza Analítica de 0.01g de Precisión.</p>
<p>Termómetro graduado de 0.5°C <b>(TG)</b></p>	<p>Termómetro Analógico, incertidumbre graduado de 0.5 °C. Perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Química.</p>	<p>S/N</p>	 <p>Termómetro graduado de 0.5°C</p>

<p>Picnómetro 500ml <b>(P)</b></p>	<p>Picnómetro de vidrio de <math>500 \pm 0.25</math> ml, Perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Suelos Ingeniería Civil</p>	<p>S/N</p>	 <p>Picnómetro 500 ml</p>
<p>Fuente Metálica <b>(FM)</b></p>	<p>Perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica- Laboratorio de Suelos Ingeniería Civil. Fondo de acero inoxidable y tapa de 8" de diámetro.</p>	<p>Controls S/N</p>	 <p>Fuente Metálica</p>

En la **Tabla 11** se muestra las especificaciones Técnicas con las que ha sido construido el MTB de acuerdo a su autor.

*Tabla 11. Características del Molino de Tambor de Bolas [72]*

<b>Datos técnicos del Molino de Tambor</b>	
Potencia	0.5 HP
Reductor de velocidad	1:20
Velocidad de giro	74rpm
Máx. Capacidad de Carga	18Kg
Peso del tambor	8.5Kg
Tiempo de molienda	1-10 Horas
Longitud del molino	95 cm
Alto	51cm
Diámetro del tambor	21cm
Longitud del tambor	34cm
Nivel de ruido	85dB

Las bolas de acero con las cuales se logra la pulverización de materiales tienen características especificadas algunas de estas se encuentran en la **Tabla 12** donde muestra la cantidad de bolas utilizadas para este fin, así como el número de bolas que corresponden a distintos diámetros y pesos. Estos fueron diseñados por el autor después de varios estudios, ensayos y pruebas de funcionamiento.

*Tabla 12. Características de las Bolas de Acero[72]*

<b>Diámetro de la bola (mm)</b>	<b>N° de Bolas</b>	<b>Masa en Kg</b>
22	90	3.65
20	45	1.45
15	25	1.7
12	15	0.1
<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>6.9</b>

Algunas de las especificaciones principales que tiene este microscopio se muestran en la **Tabla 13**.

*Tabla 13. Características principales del SEM JSM-IT 100 [66]*

<b>Propiedad</b>	<b>Características</b>
Resolución	Modo HV(Alto Voltaje): 3nm (30 kV ); 4nm (20 kV); 8nm (3 kV); 15 nm (1 kV) Modo LV (Bajo Voltaje): 4nm (30 kV); 5nm (20kV)
Aumento	x5 a x300000 (en un tamaño de imagen de 128mm a 96mm)
Voltaje de Aceleración	0.5 kV a 30 kV (53 pasos) 0.5 kV a 20 kV (43 pasos)
Lentes condensadores	Lente condensadora de zoom de alta precisión
Lente objetiva	Lente cónica
Apertura de lente objetiva	1 paso, ajuste fino a lo largo de X e Y
Tamaño máximo de muestra	150 mm de diámetro
Archivo de imagen	BMP, TIFF, JPEG
Funciones EDS	Análisis de espectro, análisis cualitativo / cuantitativo, análisis de línea horizontal, análisis multipunto, análisis de mapa de elementos, seguimiento de sonda

**Materiales:**

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
Cemento CGU	Cemento Holcim Fuerte tipo GU de la Planta Holcim Latacunga, adquirido en ADELCA S.A. ubicado en la Ciudad de Ambato, Parroquia Huachi Chico.
Zeolita Café ZC	Material denominado con este nombre por su color café, obtenida de la Mina Zeonatec S.A. Ubicado en la Cordillera de Chongón Colonche, provincia de Guayas Cantón Isidro Ayora, como materia en estado bruto adquirida de los yacimientos <i>in situ</i> .
Zeolita Roja ZR	Material denominado con este nombre por su color rojizo. Obtenida de la Mina Zeonatec S.A. como materia prima en Roca, ubicado en la Cordillera de Chongón Colonche, provincia de Guayas Cantón Isidro Ayora.
Zeolita Calmosa Corp. ZCa	Zeolita denominada con ese nombre por ser adquirida de la Procesadora Calmosa Corp. S.A. en saco de 25 Kg, material de malla # 40, ubicada en la <b>Tabla 14</b> se muestra las principales características de esta zeolita.
Nafta(Gasolina Súper)	Reactivo utilizado con densidad mayor a $0.73 \text{ g/cm}^3$ , a temperatura de $23^\circ\text{C} \pm 2$
Agua	Agua Potable a $23^\circ\text{C} \pm 2$

*Tabla 14. Especificaciones de la Zeolita Comercial ZCa [74]*

<b>Características principales</b>	
Nombre del Producto	Zeolita (MAX-CATCHER 40)
Descripción general	Polvo fino de color verde
Origen de la materia prima (ZN)	Guayas Posee una alta CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico)

Formula química aproximada		Na <sub>2</sub> Ca <sub>1,6</sub> (Al <sub>6</sub> Si <sub>29</sub> O <sub>72</sub> ) 20H <sub>2</sub> O	
<b>Características Físico-Químicas</b>			
# de Malla	Retenido	Humedad	1.0% máx.
14	5% Máximo	Densidad	2.10 gr/cm <sup>3</sup>
20	10% Máximo	C.I.C	Mayor a 90 meq/100g
40	40% Máximo	Mineral Natural	No es Toxico

## 2.3.Métodos

### 2.3.1. Selección, Extracción y recolección de Zeolitas Naturales

Por medio de la investigación en páginas web, portal de información Geográfica ARCOM y SUPERCIAS, se realizó la recolección de información de las minas de Zeolitas Naturales que se encuentran en nuestro país Ecuador. De la misma manera se han buscado proveedores y procesadoras que tienen autorización y están al alcance del comercio de este material. Con la información recolectada mediante este método se procede a realizar las actividades presentadas a continuación:

- ✓ Comunicarse con los propietarios o gerentes de las minas, mediante llamada telefónica para verificar la información obtenida.
- ✓ Realizar la georreferenciación por medio del programa ArcGIS Sistema de Información Geográfica de todas las minas encontradas, especialmente de las minas con mayor presencia de zeolitas naturales.
- ✓ Seleccionar las minas y procesadoras adecuadas y dispuestas para la adquisición de muestras, colocar los datos en una tabla.
- ✓ Visita in situ a las minas y procesadoras seleccionadas para su respectiva georreferenciación en campo y adquisición de las muestras.
- ✓ Obtener muestras en roca en las minas y material molido de las procesadoras.
- ✓ Buscar y seleccionar las muestras adecuadas para realizar los ensayos y cumplir los objetivos propuestos.



- ✓ Al viajar con el material conservarlo libre de humedad, sellados herméticamente.
- ✓ Realizar mapas georreferenciados mediante ArcGIS de las minas y procesadoras visitadas.

Por otro lado se realizó la compra de Zeolita Natural en saco de 25 Kg, material que pasa por la malla N° 40 (0.425mm), obtenida del Proveedor CALMOSACORP S.A. que se encuentra en la provincia del Guayas en el Cantón Guayaquil, Parroquia Chongón, cuyas coordenadas UTM de acuerdo con ARCOM se encuentra en (N: 9757706; E: 604994). Esta Zeolita se ha denominado como Zeolita Calmosa o ZCa, su característica principal es su color verdoso, tiene una humedad máxima de 1% y densidad de 2.10 gr/cm<sup>3</sup> [74].

De acuerdo al proveedor este material ha pasado por fases de: explotación de cantera, transporte, trituración primaria, trituración secundaria, molienda, separación, envasado y pesado. Las rocas fueron transportadas hasta la ciudad de Ambato dentro de lonas de Yute cubiertas con fundas de basura como aislador de humedad, y han sido mantenidas de esa forma hasta el término de los análisis de la presente investigación.

Se extrajo las zeolitas ZC, ZR con cantidades aproximadas a 13Kg y 8Kg respectivamente y ZCa en saco de 25Kg. Adicionalmente se visitó la Escuela Superior Politécnica del Litoral en el cual se recibió una charla acerca de estudios realizados con zeolitas naturales, de las minas existentes en la Cordillera de Chongón Colonche y el funcionamiento del microscopio electrónico de barrido SEM y ensayo de EDS Espectroscopia de Dispersión de Rayos X para conocer la composición química de este mineral que es abundante en el lugar descrito.

### **2.3.2. Caracterización Geométrica**



Una vez obtenidas las muestras de Zeolitas naturales en roca, ZR Zeolita roja y ZC Zeolita café del estrato número 2, fue indispensable realizar la caracterización geométrica con la MAA y MTB. Con la que se puede obtener la granulometría de los materiales y principalmente llegar a la finura del cemento CGU. Para ello se realizó el siguiente procedimiento.

#### **1. Molienda de Zeolita Roja ZR**

##### **PRIMER PROCESO:**

- **Molienda en la máquina MAA**
  - Realizar la limpieza tanto de la Máquina MAA como de las bolas de acero y la bandeja metálica de recolección de material molido.
  - Previo al ingreso del material ZR en roca a la MA, realizar la trituración de este manualmente con la ayuda de un combo, logrando tamaños aproximadamente de 3 centímetros.
  - Este material triturado es pesado y separado en porciones de 2 Kg para ingresar a la máquina MAA y molerla por un determinado tiempo.
  - Ingresar el material al tambor con las 12 bolas de acero especificadas anteriormente y moler por una hora.
  - Retirar las bolas de acero junto con el material molido en la bandeja de recolección.
  - Separar el material de las bolas de acero para tamizar con el tamiz N°200 (0.075mm).
  - Tomar el peso de 500 gramos de ZR molido para el proceso de tamizado.

- Y por último tomar el peso del material que pasa el tamiz utilizado (N° 200) alcanzando partículas inferiores a  $75\mu\text{m}$ , es decir tamaños aproximados a la finura del cemento.
- Realizar la molienda y tamizado con todo el material triturado manualmente.
- Al observar que la cantidad de ZR de tamaño menor a  $75\mu\text{m}$  no obtuvo un porcentaje mayor al esperado, se buscó un tamaño homogéneo entre todas las partículas molidas.
- Con ello realizar la distribución en distintas cantidades y tamaños, proceder así a tamizar y separar material que retenga el tamiz N° 4 (4.75mm), N°10 (2.00mm) y N°200 (0.075mm).

<b>PROCESOS REALIZADOS</b>	
 <p><i>Figura 27. Trituración de la Roca manualmente</i></p>	<p>Las rocas fueron trituradas por medio de la ayuda de un combo, y dejándola en tamaños aproximados de 3 cm.</p>
 <p><i>Figura 28. Limpieza de la máquina de los Ángeles</i></p>	<p>Se garantizó la limpieza de la MA para iniciar el proceso de molienda en un tiempo de 1 hora la cantidad de 2Kg.</p>

 <p><i>Figura 29. Material sacado de la MA después de la molienda</i></p>	<p>Una vez molido el material fue sacado de la MA para el posterior retiro de las bolas de acero y las partículas más grandes y posterior tamizado de material.</p>
 <p><i>Figura 30. Tamizado con el tamiz N°200 del material molido</i></p>	<p>Tamizar el material molido por el Tamiz N°200 y tomar el peso del material retenido en la fuente.</p>

## SEGUNDO PROCESO:

- **Molienda con el molino MBT**
  - Observando la cantidad de ZR obtenida con la molienda en la MAA con finura similar al cemento CGU y al verificar que no se consiguió mayor cantidad de este, se procedió a utilizar el molino MBT para la molienda.
  - Ingresar en diferentes cantidades y tiempos el material ZR al MBT Molino de Bolas de tambor que se encuentra en el Laboratorio de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica previo a su limpieza.

- Ingresar al tambor el material junto con las 175 bolas de acero especificadas por su autor y
- Sellar el tambor herméticamente por todos los bordes en donde se ingresa el material, evitando de esta manera que el material pueda salir del interior. La **Tabla 15** muestra las cantidades de ZR que se ingresan al MBT junto con los tamaños y tiempos de molienda para cada una de ellas.

*Tabla 15. Tabla de cantidades de ZR para molienda en relación a su tamaño y tiempo*

NOMBRE	Tamaño	Peso a moler	Tiempo de molienda
	(mm)	w (g)	min
<b>ZR-1</b>	4,75 - 9,5	300	40
<b>ZR-2</b>	4,75 - 9,5	1000	40
<b>ZR-3</b>	4,75 - 9,5	1000	60
<b>ZR-4</b>	2,00 - 4,75	300	40
<b>ZR-5</b>	2,00 - 4,75	300	60
<b>ZR-6</b>	> 0.075	300	40
<b>ZR-7</b>	> 0.075	300	60
<b>ZR-8</b>	> 0.075	1000	60
<b>ZR-9</b>	> 0.075	1000	120

**Fuente:** [Autor]

- Moler cada muestra en diferentes tiempos para obtener una relación entre tiempo de molienda y la cantidad de ZR que se debe ingresar a la MBT para conseguir la mayor cantidad de material molido que pase el tamiz N° 200.

## PROCESOS REALIZADOS



*Figura 31. Limpieza del MBT y molienda del material ZR.*

Limpieza del Molino MBT, y puesta en molienda sellando herméticamente, los lados del molino para evitar la salida de partículas al exterior.



*Figura 32. Ingresso del Material al Molino de bolas.*

Ingreso del material al MBT junto con las bolas de acero, en diferentes cantidades y fueron molidas en tiempos ya descritos, a su vez se muestra el material molido junto con las bolas al salir del molino.



*Figura 33. Peso del material molido*

Se observa el material molido separado de las bolas de acero y al mismo tiempo tomando el peso del material después de la molienda, para determinar la pérdida de material durante su molienda.



*Figura 34. Tamizado del material.*

El tamizado por los tamices indicados para realizar la granulometría del material, y de la misma manera la recolección de material fino en fundas selladas herméticamente.

- Al terminar de moler cada una de las cantidades sacar el material del tambor del MBT con la ayuda de herramientas de mano de tal manera que en su interior quede la mínima o nada de cantidad de ZR molida.
- Separar las bolas de acero de la Zeolita ZR dejando estas significativamente libres de material.
- Colocar todo el material en fundas herméticas y tomar el peso del material molido.
- Trasladar el material molido al Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil para realizar el tamizado (Granulometría de agregado fino). Una vez terminado este proceso tamizar cada una de las cantidades mencionadas de la **Tabla 15**.
- Tamizar durante un tiempo de 30 minutos en la Tamizadora automática TA cada una de las cantidades de ZR molidas.
- Utilizar los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, y la fuente metálica de acuerdo a la norma NTE INEN 0696 ensayo para obtener la granulometría del material fino.
- Tomar los pesos retenidos en cada tamiz y en la fuente.
- Registrar los datos obtenidos como indica el procedimiento en esta norma.

- Finalmente recolectar todo el material obtenido que pasa el Tamiz N° 200 para realizar los ensayos requeridos más adelante.

## 2. Molienda de Zeolita Café ZC

- Cumpliendo con el mismo proceso descrito anteriormente realizar la molienda de la ZC cuyas cantidades y tiempos de molienda se muestra en la **Tabla 16**.
- Con la MAA y MBT realizar la molienda del mismo modo que la Zeolita ZR, a diferencia de la molienda de la ZR al observar la poca cantidad de material fino ZC obtenido después del tamizado del primer material molido con la MBT, se procedió a moler el mismo material por dos o tres veces, duplicando el tiempo de molienda hasta tener una cantidad considerable de material fino y con la intención de hacer una comparación entre las diferentes moliendas.

*Tabla 16. Tabla de cantidades de ZC para molienda en relación a su tamaño y tiempo*

NOMBRE	Repetición de Molienda	Tamaño	Peso a moler	Tiempo de molienda
		(mm)	w (g)	min
ZC-1	1	4,75 - 9,5	300	10
ZC-2	Repetición 1	4,75 - 9,5	300	10+10=20
ZC-3	2	2,00 - 4,75	300	20
ZC-4	Repetición 2	2,00 - 4,75	300	20+20=40
ZC-5	Repetición 2	2,00 - 4,75	300	40+20=60
ZC-6	3	2,00 - 4,75	2000	20
ZC-7	Repetición 3	2,00 - 4,75	2000	20+20=40
ZC-8	Repetición 3	2,00 - 4,75	2000	40+80=120
ZC-9		2,00 - 4,75	1000	120

**Fuente:** [Autor]



- Iniciando con 300 gramos de material retenido en el Tamiz N°4 moler en 10 minutos **ZC-1** sacar del molino, tamizar y moler nuevamente el mismo material por 10 minutos más llamando a este **ZC-2** completando 20 minutos de molienda del mismo material.
- De la misma manera realizar el proceso con 300 gramos en este caso material retenido en el tamiz N°10 moliendo este por 20 minutos **ZC-3**, sacar del tambor, tamizar y volver a moler por 20 minutos más para comparar la cantidad de material fino adicional **ZC-4**, moler una vez más por 20 minutos hasta completar una hora de molienda **ZC-5**.
- Moler 2000 gramos de material retenido en el tamiz N°10 por 20 minutos **ZC-6**, con el mismo proceso tamizar y volver a moler por 20 minutos más **ZC-7**, para realizar una comparación moler nuevamente por 80 minutos más **ZC-8**, completando así dos horas de molienda.
- Moler 1000 gramos de material retenido en el tamiz N°10 por un tiempo total de 120 minutos o dos horas **ZC-9**.
- Una vez tamizado cada una de las cantidades de zeolita realizar la curva granulométrica ubicando en el eje de las abscisas las aberturas de los tamices en milímetros en escala logarítmica y en el eje de las ordenadas el porcentaje que pasa de cada tamiz.
- Realizar el análisis de los resultados obtenidos.

### **2.3.3. Caracterización Morfológica y química**

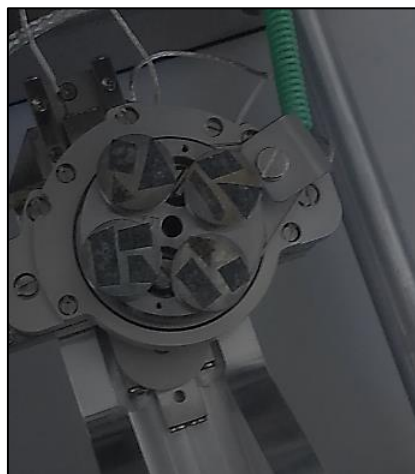
Para determinar la morfología de las muestras se realiza el siguiente procedimiento con la ayuda del SEM (Microscopía Electrónica de Barrido):

- Las muestras deben estar secas para permitir su observación el microscopio.
- El proceso se inicia fuera del microscopio, enfriando la muestra a la máxima velocidad posible mediante nitrógeno nieve.

- A continuación pasa al sistema de observación, donde se puede fracturar, sublimar el hielo superficial y recubrir con oro o carbono para su observación y/o análisis [75].
- Se realizó los ensayos de SEM (Microscopía Electrónica de Barrido) y EDS (Espectroscopia de Rayos X de Energía Dispersiva) con muestras de zeolitas que pasa por el tamiz N°200 y cemento portland tipo GU.
- La cantidad utilizada para el análisis es de 1.5 ml de muestras de CGU, ZC, ZR y ZCa en frascos eppendorfs sellados herméticamente y cubiertos con fundas plásticas Ziploc. Mediante el cual se pudo conocer los detalles morfológicos de la estructura interna de los granos de cada una de las muestras.

Los ensayos se realizaron en el Microscopio electrónico de Barrido JSM-IT 100 de Jeol SEM Tecnologías cuyas características principales se encuentran especificadas en la **Tabla 13**. Se obtuvo la caracterización física es decir la forma de los granos de los materiales CGU, ZR, ZC y ZCa, y caracterización química englobando los porcentajes de los elementos químicos de los mismos.

En la **Figura 35** se puede observar unas muestras preparadas recubiertas por oro, donde se observan los cuadros negros que son cintas de carbono pegadas al stub de aluminio colocados en agujeros del portaobjetos que se encuentran ajustados.



*Figura 35. Preparación de muestras recubiertas de oro.*

### 2.3.4. Densidad de acuerdo a la Norma NTE INEN 0156 – ASTM C 188

Realizar el ensayo de densidad siguiendo las especificaciones de la Norma NTE INEN 0156 como se detalla a continuación:

#### 1. Densidad del Cemento CGU

- Buscar en primer lugar un espacio que tenga temperatura constante de 23 °C como lo indica la norma.
- Mientras se halla esta temperatura tomar el peso de 64g en la balanza analítica de 0.01g de precisión, después tomar el peso del picnómetro vacío de 500ml.
- Colocar el cemento en el picnómetro y tomar el peso del conjunto, luego añadir gasolina hasta la marca de aforo con la ayuda de un embudo.
- Con la ayuda del Baño María eliminar el oxígeno del interior de la mezcla, la temperatura del baño María debería estar a un máximo de 40 °C una vez eliminadas las burbujas de aire pesar nuevamente precautelando que la mezcla este a 23 °C.

#### PROCESOS REALIZADOS



Figura 36. Búsqueda de temperatura de 23°C

Se buscó la temperatura de 23°C, para poder empezar con el ensayo, una vez conseguido esto se tomó el peso de 64g de material y del picnómetro vacío.

 <p><i>Figura 37. Peso del picnómetro más material y más gasolina.</i></p>	<p>Se colocó el material dentro del picnómetro y se tomó el peso de este, después se agregó gasolina en hasta la marca de aforo y se esperó hasta que la mezcla cumpla con la temperatura establecida para nuevamente tomar su peso.</p>
 <p><i>Figura 38. Baño María</i></p>	<p>Antes de tomar el peso del conjunto primero se sacó el oxígeno (burbujas) con la ayuda del baño María a 36 °C, para luego esperar cumplir con la temperatura establecida de la mezcla y aforar en el caso de ser necesario.</p>
 <p><i>Figura 39. Picnómetro más gasolina</i></p>	<p>Vaciar el picnómetro con la mezcla, lavar y dejar libre de residuos para con ello llenar con gasolina hasta la marca de aforo, esperar a que tome la temperatura adecuada y tomar el peso de este.</p>

- Vaciar todo el material del embudo, lavar y secar el picnómetro con la ayuda de un compresor ubicado en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica.

- Una vez libre de líquido colocar gasolina en el picnómetro hasta la marca de aforo, de la misma manera precautelar que la gasolina se encuentre a 23°C y tomar el peso, realizar este ensayo cuatro veces para obtener mejores resultados.

## **2. Densidad de la Zeolita ZR**

Siguiendo el mismo procedimiento realizar el ensayo de densidad de ZR y ZC de acuerdo a las especificaciones de la Norma NTE INEN 0156, utilizando el material molido que pasa el tamiz N°200 por su finura similar a la del cemento, de la misma manera se realizar cuatro ensayos por cada una de las zeolitas.

## **3. Densidad de la Zeolita ZCa y ZC**

Por otro lado se realizó el ensayo de densidad de la ZCa y ZC con material que pasa el tamiz N°200 en este caso se realizaron dos métodos de ensayo, en el primero se realizó en base a la Norma INEN 0156 siguiendo el procedimiento anterior con dos repeticiones, en el segundo se utilizó una curva de calibración con lo cual se realizó una comparación entre resultados obtenidos.

- **Para realizar la curva de Calibración se procedió de la siguiente manera:**

- Tomar el peso del picnómetro con el que se ha de realizar la calibración.
- Colocar gasolina en el picnómetro hasta la marca de aforo.
- Con la ayuda del Baño María eliminar todo el oxígeno del líquido, una vez realizado esto sacar el picnómetro del baño María, completar nuevamente la gasolina hasta la marca de aforo si fuera necesario y esperar a que tome la temperatura de 23°C.

- Tomar el peso del conjunto y repetir este proceso tomando diferentes temperaturas.
- Con la ayuda de Microsoft EXCEL realizar la gráfica de la temperatura vs peso picnómetro aforado con gasolina, con lo cual se obtendrá la **ECUACIÓN** de la gráfica que será necesaria para realizar el ensayo de densidad.

- **Ensayo de Densidad utilizando la curva de Calibración:**

- Utilizar el Picnómetro de 500 ml con el que se ha realizado la calibración.
- Una vez realizada la curva de calibración tomar 64g de ZCa y colocar en el picnómetro.
- Tomar el peso del conjunto, colocar gasolina al conjunto hasta la marca de aforo, como lo anteriormente dicho por medio del Baño María a una temperatura máxima de 40 ° C eliminar el oxígeno que se encuentra en el interior de la mezcla hasta que no quede ninguna burbuja de aire.
- Aforar nuevamente en caso de ser necesario y tomar el peso del conjunto a diferentes temperaturas.
- Repetir este proceso varias veces hasta encontrar resultados coherentes para realizar una comparación.
- Por la cantidad de resultados obtenidos se realizó la clasificación de datos aproximadamente reales mediante desviación estándar tanto para el cemento como para las zeolitas estudiadas en la que interviene la **Ecuación 4**.

De la misma manera se realizó los ensayos de densidad de la Zeolita ZC, tanto de la forma tradicional como utilizando la curva de calibración.

### **2.3.5. Finura método tamizado seco según la norma NTE INEN 0489**

Realizar el ensayo de finura mediante el método de tamizado seco con el que se conoce el porcentaje de finura del cemento, en primer lugar se realizó el tamizado seco del cemento CGU, cumpliendo con las especificaciones de la norma NTE INEN 0489 donde:

- Tomar un peso de 50g de CGU en la balanza analítica de 0.01g de precisión, colocar esta muestra en el tamiz N°100(150µm) provisto de su fuente metálica sin tapa previo a tomar el peso del tamiz y la fuente.
- Sujetar el tamiz junto con la fuente con las dos manos y realizar suaves movimientos rotacionales hasta que el material fino pase a través de la malla y el residuo de este aparezca mayormente limpio, realizar este proceso por 4 minutos.
- Colocar la tapa en el tamiz, quitar la fuente y sujetando el tamiz junto con la tapa golpear los lados con el mango de una brocha para retirar el material adherido en el tamiz.
- Una vez realizado este proceso tomar el peso del tamiz N°100 con el material retenido y el peso de la fuente con el material que pasa.
- Nuevamente colocar el tamiz sobre la fuente y el material caído fuera de este en el caso de haberlo, retirar la tapa del tamiz y repetir este procedimiento ahora por 8 minutos tiempo tomado en el rango de acuerdo a la norma establecida para este ensayo.



**NOTA:** Tomar en cuenta que si el material está en buenas condiciones no quedara cantidad apreciable de polvo adherido al residuo, al tamiz o la fuente[69].

#### **Realizar ensayos de un minuto siguiendo la Norma indicada:**

- Tomar con una mano el tamiz con la fuente y la tapa colocadas en una posición inclinada.

- Moverlo hacia adelante y hacia atrás, golpear al mismo tiempo con suavidad el costado contra la palma de la otra mano aproximadamente 150 veces por minuto, girando el tamiz cada 25 golpes, aproximadamente un sexto de revolución en la misma dirección.
- Continuar esta operación hasta que después de 1 min de tamizado continuo, del tamiz no pasen más de 0,05 g de material.

**NOTA:** El máximo error entre dos ensayos realizados por el mismo laboratorista debe ser 2%, si excede este porcentaje se deberá realizar el ensayo nuevamente[69].

<b>PROCESOS DEL ENSAYO</b>	
 <p><i>Figura 40. Peso del material, tamiz N°100 y fuente metálica.</i></p>	<p>Se tomó el peso del material de acuerdo a la Norma establecida (50g), enseguida se tomó el peso del tamiz N° 100 y la fuente por separado para iniciar con el ensayo.</p>
 <p><i>Figura 41. Movimientos rotacionales de 4 y 8 minutos</i></p>	<p>Se puso el material en el tamiz colocado sobre la fuente, y se tomó el peso del tamiz ahora con el material sobre él, una vez realizado lo anterior se inició las rotaciones por 4 minutos, para luego tapar el tamiz y golpear los lados con una brocha para quitar el exceso de material, y así tomar el peso del tamiz y la fuente nuevamente con el material, y se realizó el mismo proceso por 8 minutos.</p>





*Figura 42. Ensayos de un minuto.*

Por último se realizó los ensayos de 1 minuto, donde se toma el tamiz, junto con la fuente y tapa, inclinados para dar 150 golpes por minuto y tomar sus pesos.

Este método de Finura se realizó con las zeolitas ZC, ZR y ZCa, en las cuales se realizaron varias repeticiones del ensayo por lo que se obtuvieron varios resultados donde se clasificaron datos aproximadamente reales mediante desviación estándar en la que interviene la **Ecuación 4**.

## **CAPITULO III**

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1.Extracción y recolección de material**

La mayor parte de la información se la adquiere mediante el portal ARCOM como: nombre, ubicación, área de extracción, coordenadas, el nombre del titular o accionista, y mediante información adicional se consigue el tipo de Zeolitas que produce cada mina o procesadora, medidas de finura, tipo de comercialización, usos y aplicaciones, exportación y dirección donde se puede encontrar o localizar.

Gracias a la información obtenida se logra contactar con las minas reportadas por ARCOM y otras minas y procesadoras añadidas. Con ello se recopila información general directamente de los titulares o administradores de las minas y procesadoras mediante llamadas telefónicas obteniendo la información presentadas en las tablas a continuación:

Tabla 17. Catastro de Minas de Zeolitas Naturales en Ecuador

Minas de Zeolita Natural en Ecuador											
ARCOM Sistema de Referencia WGS84 UTM 17 SUR/Superintendencia de compañías											
No.	Nombre de Mina	Provincia	Cantón	Parroquia	Área (ha)			Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
					Extracción	%	Cantonal	Latitud	Longitud	X	Y
NZ 1	Zeonatec	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	-	-	-	-1.895729	-80.146375	594939	9790357
NZ 2	Fausto				2,0	0,14	-	-1,8949	-80,1476	595000,00	9790800,00
ZN 3	Zeolita		Lomas de Sargentillo	Lomas de Sargentillo	40,0	2,79	40,00	-2,0234	-80,1858	590551,66	9776334,58
NZ 4	Elena		Isidro Ayora	Isidro Ayora	225,0	15,68	-	-2,0229	-80,1774	591486,02	9776385,89
NZ 5	Diana				4,0	0,28	-	-2,0279	-80,1687	592600,00	9776100,00
NZ 6	BEXI				190,0	13,24	-	-2,0348	-80,1794	591256,22	9775073,41
NZ 7	CALCÁREOS DEL PACÍFICO CALPACSA SA.				8,0	0,56	-	-2,0337	-80,1575	593698,65	9775185,19
NZ 8	Río Paco				12,0	0,84	481,00	-2,0396	-80,1777	591449,80	9774535,87
NZ 9	Pincopaz I				300,0	20,91	-	-2,0778	-80,1663	592000,00	9770000,00
NZ 10	Chongón		Guayaquil	Chongón	88,0	6,13	-	-2,1041	-80,1062	599352,96	9767364,65
NZ 11	Clinop				4,0	0,28	-	-2,1124	-80,0657	604000,00	9766800,00
NZ 12	El Refugio			288,0	20,08	-	-2,1179	-80,0401	606200,00	9765400,00	
NZ 13	Pinto			150,0	10,46	-	-2,1174	-80,0660	603500,00	9765800,00	
NZ 14	Pinto II			120,0	8,36	-	-2,1249	-80,0646	603500,00	9765000,00	
NZ 15	Voluntad de Dios I			3,6	0,25	653,60	-2,1300	-80,0167	609347,80	9764537,45	
NZ 16	Crilarsa C.A			-	-	-	-2.1926309	-80.0518159	-	-	
NZ 17	Indami Cia Ltda			-	-	-	-2,193473	-80,054282	605155	9757511	
NZ 18	Calmosacorp S.A.			-	-	-	-2,191715	-80,055714	604994	9757706	
NZ 19	Biomarsa Kravets			-	-	-	-2.196106	-80.071914	603202	9757134	
NZ 20	Cerro del Tres 1		Durán	Durán	24,0	1,67	24,00	-2,1773	-79,8347	629900,00	9759200,00
NZ 21	ESPOL		Guayaquil	Guayaquil	-	-	-	-	-	615139,76	9762722,52

Tabla 18. Información general de minas y proveedoras.

Nombre de Mina	Tipo de zeolita	Medida finura (Mesh)	Usos y aplicaciones	Exportación	Dirección	Teléfono/Correo Electrónico	Observaciones
<b>Zeonatec</b>	Clinoptilolita	40,100,200,325	Acuícola camaroneras, Agricultura, Ganadería, Filtros, Salud y Construcción		Km 1.8 Vía las Mercedes	042692752 ; 0960851639 www.zeonatec.com zeonatecventas@gmail.com zeonatec@gmail.com	Dispone de minas y procesadora Titular: Sr. Edison Arciniegas
<b>Fausto</b>	-	-	-	-	Coop. Renacer MZ. 142, Solar 24 (Guayaquil)	-	Titular: Fausto Daniel Ascencio Abellán
<b>Zeolita</b>	ZN natural	100 y muestra en roca	Acuícola camaroneras	no exportan	Bolivia 1211 Y Capitán Saeda	Sr. Wilson Villalta: 0994413356 Oficina: 042445585	Actualmente no están explotando, trabajan en concesión solo proveen. El proceso de la zeolita es artesanal. Saco de 45 kg costo \$ 5,00. Dispuesto a colaborar y llevarnos a la mina proveer muestra en roca. Titular: Olga Gardenia Escalante Chalen
<b>Elena</b>	-	Malla Talco	No comercializa	No exportan	Coop. Luis Vargas Torres MZ A2 Solar 1	titular Rafael Chávez: 0999120873	Este registrado en el catastro minero pero está paralizada ya que el gobierno paralizó las concesiones Manifiesta que se realizaron estudios de CHINA Y ALEMANIA no calificó por la sobrecarga de 4 a 5 metros sobre la zeolita la extracción salía muy costosa. Holcim también ha realizado investigaciones e hizo cemento. Titular: Rafael Chávez Salazar

<b>Diana</b>					Sauces 4		Titular: Diana Magali Lara Fiallos
<b>Bexi</b>	Clinoptilolita	200	Agrícolas, Avícolas	Colombia	Las Mercedes	Titular: 0994654093	Se realizó análisis en Colombia, se determina que es netamente natural. Está en concesión minera tienen 20 Ha para 150 años. Investigaciones con el Magap. Anteriormente proveían a Holcing. Titular: Bexi Elizabeth María Vera Pazmiño
<b>Calcáreos del pacífico Calpacsa sa.</b>	Clinoptilolita	325, máx. 100	Actualmente no explota	Actualmente no explota	RB Torres del Salado Km 11/5 Vía a la Costa	Titular: 0985234516 Asesor: 0988881237 Alexa-valencia23@hotmail.com celebriticorp@yahoo.com zoiloangulo@aol.com	Actualmente no explota, se encuentra en proceso de trámites de título y ambientales, puede proveer muestras en roca. El Ing. Angulo (asesor) tiene experiencia, descubridor de la zeolita en Isidro Ayora, conoce muchas minas de zeolita es amigo del Ing. Morante de la ESPOL y otros de mucha ayuda, manifiesta que el Sr. Gelo muele pero actualmente no. Titular: Rosa Delia Torres Freire Félix Miguel Gelo Torres
<b>Río Paco</b>	-	-	-	-	Vacas Galindo y La 32	-	Titular: Matilde Mariela Noboa Apolinario
<b>Pincopaz I</b>	-	-	-	-	Urdenor 1 Manzana 137 Villa 18	-	Titular: Pincopaz S.A.
<b>Chongón</b>	Ninguna	-	-	-	Vía a la Costa Km 10 1/2 Camino Real	-	No explotan están por cerrar solo explotan minas de piedras. Titular: Constructora Caminos y Minas Concamin CIA Ltda.
<b>Clinop</b>	-	-	-	-	Calle Lorenzo de Garaycoa y Ayacucho/Parrquia	-	Titular: Cayetano Damián Alcivar Escobar

					Bolívar/Cantón Guayaquil/Lorenzo de Garaycoa		
<b>El Refugio</b>	Alto contenido en: clinoptilolita mordenita heulandita	Algunas medidas 325	Agrícola: Abonos potásicos, alimentación animal Ambientales: purificación de agua	Guatemala Colombia	Cdla. Santa Cecilia	Gerente Patricia Lucas: 0996324959 <a href="https://1697-ec.all.biz/">https://1697-ec.all.biz/</a>	<p><b>PLANTA:</b> tras Monte Sinai, tras Holcim Perimetral Av. Casuarina tras de Voluntad de Dios. Venden zeolitas sintéticas. Marcas de productos Zeoagro, zeofloc, zeoanimal, zeocama. Extracción de feldespatos. Disponen de zeolitas con y sin actividad puzolánica. Dispuestos a colaborar pero con carta de la universidad. Se realizó estudio tesis Guevara-2002 ESPOL Mina Refugio <a href="https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3440/1/5963.pdf">https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3440/1/5963.pdf</a> Titular: Sra. Patricia Lucas gerente de Zeolitas S.A.</p>
<b>Pinto</b>	Alto contenido en: clinoptilolita mordenita heulandita	Algunas medidas 325	Agrícola: Abonos potásicos, alimentación animal Ambientales: purificación de agua	Guatemala Colombia	Cdla. Santa Cecilia	Gerente Patricia Lucas: 0996324960 <a href="https://1697-ec.all.biz/">https://1697-ec.all.biz/</a>	
<b>Pinto II</b>	Alto contenido en: clinoptilolita mordenita heulandita	Algunas medidas 325	Agrícola: Abonos potásicos, alimentación animal Ambientales: purificación de agua	Guatemala Colombia	Cdla. Santa Cecilia	Gerente Patricia Lucas: 0996324961 <a href="https://1697-ec.all.biz/">https://1697-ec.all.biz/</a>	
<b>Voluntad de Dios I</b>	-	-	-	-	MZ 113 Lote 19 Voluntad de Dios Sector 3 Bocas	-	Titular: Julio Cesar Chávez Salazar

<b>Crilarsa C.A</b>	Zeolita Verde	-	Crianza de camarones, peces, pollos de engorde, gallinas ponedoras, cerdos bovinos de carne y leche. Aditivo en alimentos balanceados, control de olores, estabilizar el nivel de Ph en piscinas, absorber bacterias sólidos en suspensión, residuos.	-	Km 22 Vía a la Costa	0985211202 0991917165 042738254 www.crilarsa.com <a href="https://www.facebook.com/pg/crilarsa/community/?ref=page_internal">https://www.facebook.com/pg/crilarsa/community/?ref=page_internal</a> <a href="https://guayaquil.yalwa.com.ec/ID_133552737/Zeolita-Activo-fertilizante-inteligente-CRILARSA-C-A.html">https://guayaquil.yalwa.com.ec/ID_133552737/Zeolita-Activo-fertilizante-inteligente-CRILARSA-C-A.html</a> <a href="https://guayaquil.evisos.ec/venta-de-zeolita-activo-verde-crilarsa-ca-id-241809">https://guayaquil.evisos.ec/venta-de-zeolita-activo-verde-crilarsa-ca-id-241809</a>	Especificación: Al <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (silicato de aluminio) > 80% . Zeolita que usó en su tesis Valenzuela 2017 UTA Titulares: Vadin Cristopher Pazmiño Kravets Cristobal Eduardo Molina Pazmiño
<b>Indamia Cia Ltda.</b>	-	200	Su aplicación está dirigida a la industria agrícola, acuícola, avícola, industrial y agroindustrial, en las que se utilizan como materia prima o producto terminado, el carbonato de calcio, sulfato de calcio y zeolitas.		Km 19,5 Vía Guayaquil-Salinas	Juan Pablo Armas:0991713157; (04) 204 6480 – 204 6376 - 204 6023 info@indami.com.ec <a href="http://indami.com.ec/">http://indami.com.ec/</a>	Distribución y procesamiento de productos agrícolas
<b>Calmosacorp S.A.</b>	-	40, máx 40%	Acuícola, Agrícola, Avícola, Industrial, Pecuaria	-	Km. 20 Vía a la Costa Guayaquil – Ecuador	Christel Quiñonez 0939861881; 04-3901373 ventas@calmosacorp.com <a href="https://calmosacorp.com">https://calmosacorp.com</a>	Titular: Hernan Armas C.

<b>Biomarsa Kravets</b>	Clinoptilolita	<500 µm	Alimentación Animal, Fertilización Agrícola, Potabilización de Aguas, Abonos y Residuos Orgánicos, Piscicultura y Canaricultura Industrial, Industria	-	Las Cumbres y Planta en Km 22 Vía a la Costa	097-860-8444; 098-521-1202 pedidos@biomarsa.com <a href="http://www.biomarsa.com/inicio.html">http://www.biomarsa.com/inicio.html</a>	Dispuestos a colaborar
<b>Cerro del Tres 1</b>	-	-	-	-	Las Palmas 316 y La Sexta	0999791564	Poco contenido de zeolita no está comercializando. Empresa: Concreto y prefabricados C Ltda.
<b>Zeonat S.A.</b>	-	-	-	-	Casa Matriz Principal 3 Colinas Alborada Intersección 765 a 300 metros de Mafeco	04-6005153 0998365238 zeolitaecuador@gmail.com intnetmar@gmail.com	ZEONAT S.A. es una empresa que se dedica a la Explotación y Procesamiento de ZEOLITAS NATURALES para luego comercializarla con el nombre de ZEONAT, siendo dueños de los terrenos donde se encuentran los yacimientos de este mineral, así como también de las Concesiones Mineras, está sujeto a control por parte del Ministerio de Agricultura, Acuacultura, Ganadería y Pesca MAGAP; Accionistas: Jazmín Mercedes Zambrano Vargas, Carlos Alberto Pilco Campusano, Mario Abel Barberan Vera, Juan Gabriel Guagua Vives.
<b>Georgy</b>	-	-	-	-	Manuel Vega 1090 y M Lamar	-	Titular: Jorge Teodoro Sánchez Neira



Una vez obtenida la información anterior se procedió mediante el Sistema de información geográfica ArcGIS a ubicar la Cordillera Chongón Colonche utilizando las coordenadas dadas por ARCOM mostrado en el **Anexo 1**, diferenciando por nombres las minas existentes y en actual explotación, de la misma manera con la información recopilada se tiene las coordenadas tomadas mediante GPS en el lugar de visita, de las cuales se observa diferencias con las coordenadas de la página Web mencionada. En la **Tabla 19** se puede observar las coordenadas de las minas por ARCOM y GPS tomadas en el sitio de visita.

*Tabla 19. Datos Recolectados – Coordenadas GPS-ARCOM*

	Nomenclatura	Nombre	Coordenadas UTM			
			GPS		ARCOM	
			Norte	Este	Norte	Este
<b>1</b>	NZ1_m	Mina Zeonatec	9775847,00	592533,00	9775861	592481
<b>2</b>	NZ1_p	Procesadora Zeonatec	9790375,09	594968,14	9790357	594939
<b>3</b>	NZ1_o	Oficina Zeonatec	9760119,00	622975,00		624943
<b>4</b>	NZ17_o	Oficina Indami	9757498,57	605162,78	9757511	605155
<b>5</b>	NZ17_p	Procesadora Indami	9762088,15	600531,19		604943
<b>6</b>	NZ17_m	Mina Indami				
<b>7</b>	NZ18_p-o	Procesadora y Oficina Calmosacorp	9757669,26	605032,50	9757670	605012
<b>8</b>	NZ18_m	Mina Calmosacorp	-	-		
<b>9</b>	NZ16_p	Procesadora y Oficina Crilarza Y Biomarsa	9756123,76	603233,91	9756100	603235
<b>10</b>	NZ16_m	Mina Crilarza Y Biomarsa	-	-		
<b>11</b>	N23_m	Mina ESPO y Laboratorios	9762722,52	615139,76	9762772	614943
<b>12</b>	NZ6_p	Procesadora BEXI	9789258,84	595427,37	0	0
<b>13</b>	NZ6_m	Mina Bexi	9776574,87	591488,72	9776334	590551
<b>14</b>	NZ4_p	Procesadora ELENA	9787616,86	596081,20	0	0
<b>15</b>	NZ4_m	Mina ELENA	9776429,26	591462,77	9775073	591256

16	NZ7_m	Mina Calcarios del Pacifico	-	-	9775185,00	593698,00
17	ZN3	Zeolitas	-	-	9776330,00	590547,00
18	NZ9	Pincopaz I	-	-	9770315,00	592713,00
19	NZ8	Río Paco	-	-	9774539,00	591447,00
21	NZ7_m	Mina Calpacsa	-	-	9775190,00	593694,00
22	NZ2	Fausto	-	-	9790533,00	594803,00
23	NZ13	Pinto	-	-	9765800,00	603500,00
24	NZ14	Pintol	-	-	9765000,00	603500,00
25	NZ12	Refugio	-	-	9765400,00	606200,00
26	NZ5	Diana	-	-	9776100,00	592600,00
27	NZ10	Chongón	-	-	9767364,65	599352,96
28	NZ11	Clinop	-	-	9766800,00	604000,00
29	NZ15	Voluntad de Dios I	-	-	9764537,45	609347,80
30	NZ20	Cerro del Tres 1	-	-	9759200,00	629900,00
31	NZ21	Zeonat S.A.	-	-		
32	NZ22	GEORGY	-	-	9624700,00	684200,00

En el **Anexo 1** se puede observar el mapa realizado mediante georreferenciación en ArcGIS de las minas con coordenadas UTM tomadas por ARCOM, así como el mapa realizado con las coordenadas tomadas con GPS en los sitios visitados.

En la **Tabla 20** se puede observar los datos de la ubicación de las minas, el área de explotación y las coordenadas geográficas actualizados con información adquirida en los lugares de visita.

Tabla 20. Datos Actualizados De la ubicación de las Minas de Zeolitas

	Nombre	Provincia	Cantón	Parroquia	Área Ha	Longitud	Latitud	Dirección	Teléfono	Observaciones
1	Mina Zeonatec	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,56	-80,17	-2,03	Km 1.8 Vía las Mercedes	042692752 0960851639	Se recogió las zeolitas en roca
2	Procesadora Zeonatec	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,67	-80,15	-1,90	Cdla. Albatros Calle Pinzón #218	042692752 0960851640	Se compró 2 sacos de malla 200 y 325
3	Oficina Zeonatec	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-	-	-	-	-
4	Oficina Indami	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	0,52	-80,05	-2,19	Km 19.5 vía Guayaquil Salinas		Se compró 1 saco de malla 200
5	Procesadora Indami	Guayas	Guayaquil	Chongón	3,32	-	-	-	-	Se visitó la procesadora
6	Mina Indami	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	-	-80,17	-2,03	Km 1.8 Vía las Mercedes	-	Llevan la Zeolita de Isidro Ayora
7	Procesadora y Oficina Calmosacorp	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	1,48	-80,06	-2,19	Km20 Vía la Costa	0994111842	Se visito
8	Mina Calmosacorp	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	-	-	-	Vía las Mercedes	-	Llevan la Zeolita de Isidro Ayora
9	Procesadora y Oficina Crilarsa Y Biomarsa	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	2,92	-80,07	-2,21	Km 22 Vía la Costa	0993903972	Se visito
10	Mina Crilarsa Y Biomarsa	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	-	-	-	Vía las Mercedes	0993903972	Llevan de Isidro Ayora, por cuestión de tiempo no se pudo obtener información.
11	Mina ESPOL y Laboratorios	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-	-	-	-	Se visito
12	Procesadora BEXI	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,62	-80,14	-1,91	-	-	Solo se observó
13	Mina Bexi	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,85	-80,18	-2,02	Vía las Mercedes	-	Solo se miró en Isidro Ayora
14	Procesadora ELENA	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,59	-80,18	-2,03	Cdla. Albatros Calle Pinzón #218	099465409	Solo se miró

15	Mina ELENA	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	1,18	-80,18	-2,02	Vía las Mercedes	-	Solo se miró
16	Mina Calcarios del Pacifico	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,55	-80,16	-2,03	-	-	No se puedo visitar
17	Zeolitas	Guayas	Lomas de Sargentillo	Lomas de Sargentillo	40	-80,19	-2,02	Bolivia 1211 Y Capitán Saeda	042445585--0994413356	No se tiene información
18	Pincopaz I	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	300	-80,17	-2,08	Urdenor 1 Manzana 137 Villa 18	042921458	No se tiene información
19	Río Paco	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	12	-80,18	-2,04	Vacas Galindo y La 32	045039389	No se tiene información
21	Mina Calpacsa	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	8	-80,16	-2,03	RB Torres del Salado Km 11/5 Vía a la Costa	042991510	No se tiene información
22	Fausto	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	2	-80,15	-1,89	Coop. Renacer MZ. 142, Solar 24 (Guayaquil)	042875284	No se tiene información
23	Pinto	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-80,07	-2,12	Cdla. Santa Cecilia	0996324960	No se tiene información
24	Pintol	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-80,06	-2,12	Cdla. Santa Cecilia	0996324960	No se tiene información
25	Refugio	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-80,04	-2,12	Cdla. Santa Cecilia	0996324960	No se tiene información
26	Diana	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	-	-80,17	-2,03	Sauces 4		No se tiene información
27	Chongón	Guayas	Guayaquil	Chongón	-	-80,11	-2,10	Vía a la Costa Km 10 1/2 Camino Real		No se tiene información
28	Clinop	Guayas	Guayaquil	Chongón	-	-80,07	-2,11	Calle Lorenzo de Garaycoa y Ayacucho/Parroquia Bolívar/Cantón Guayaquil/		No se tiene información
29	Voluntad de Dios I	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-80,02	-2,13	MZ 113 Lote 19 Voluntad de Dios Sector 3 Bocas		No se tiene información
30	Cerro del Tres 1	Guayas	Durán	Durán	-	-79,83	-2,18	Las Palmas 316 y La Sexta	0999791564	No se tiene información
31	Zeonat S.A.	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-			Casa Matriz Principal 3 Colinas Alborada	0998365238	No se tiene información
32	GEORGY	Loja	Saraguro	Sumaypamba	-	-79,34	-3,40	Manuel Vega 1090 y M Lamar		No se tiene información

Para realizar la visita *in situ* a las minas se hizo una clasificación de estas de acuerdo a las respuestas de administradores mediante llamadas telefónicas de las cuales se han eliminado las minas que no se encuentran explotando la Zeolita y las proveedoras que no estaban dispuestas a proporcionar información ni material. En la **Tabla 21** se presenta la clasificación de las minas dispuestas y posiblemente dispuestas a prestar su colaboración tanto en la información como con la obtención de las Zeolitas.

*Tabla 21. Minas dispuestas a colaborar.*

<b>MINAS DISPUESTAS A COLABORAR</b>			
<b>ZN</b>	<b>Mina</b>	<b>Dirección</b>	<b>Contacto</b>
NZ 12	El Refugio	Guayaquil Cdma. Santa Cecilia	Gerente Sra. Patricia Lucas: 0996324959
NZ 13	Pinto		
NZ 14	Pinto II		
NZ 6	Bexi	Isidro Ayora Las Mercedes	titular Sra. Bexi Vera: 0994654093
NZ 16	Calcáreos del Pacífico Calpacsa S.A.	Isidro Ayora RB Torres del Salado Km 11/5 Vía a la Costa	Asesor Ing. Zoilo Angulo: 0988881237 Titular Sr Felix Gelo: 0985234516
NZ 17	Zeolita	Lomas de Sargentillo Bolivia 1211 Y Capitán Saeda	Sr. Wilson Villalta: 0994413356 Oficina: 042445585
NZ 17	Indami Cia Ltda.	Chongón Km 19,5 Vía Guayaquil-Salinas	Juan Pablo Armas:0991713157;(04) 204 6480 - 204 6376 - 204 6023
NZ 18	Calmosacorp S.A.	Chongón Km. 20 Vía a la Costa	Christel Quiñonez 0939861881;04-3901373
NZ 19	Biomarsa Kravets	Chongón Las Cumbres y Planta en Km 22 Vía a la Costa	097-860-8444; 098-521-1202
NZ 1	Zeonatec	Isidro Ayora Km 1.8 Vía las Mercedes	042692752 ; 0960851639
<b>POSIBLES MINAS QUE COLABOREN</b>			
NZ 15	Voluntad de Dios I	Guayaquil MZ 113 Lote 19 Voluntad de Dios Sector 3 Bocas	A través de Calcáreos del Pacífico Calpacsa S.A. Ing. Zoilo Angulo: 0988881237
NZ 9	PINCOPAZ	Isidro Ayora Urdenor 1 Manzana 137 Villa 18	A través de Calcáreos del Pacífico Calpacsa S.A. Ing. Zoilo Angulo: 0988881237
NZ 4	ELENA	Isidro Ayora Coop. Luis Vargas Torres MZ A2 Solar 1	Titular Rafael Chávez: 0999120873

En la **Tabla 22** se puede observar las minas clasificadas por su ubicación entre ellas las minas que han brindado información y colaborado con la adquisición de las Zeolitas Naturales y las minas que no aseguran su ayuda con este propósito. En la **Tabla 23** se encuentra detallado la finura de las zeolitas que produce cada mina y procesadora.

*Tabla 22. Minas Clasificadas por Ubicación*

<b>MINAS POR UBICACIÓN</b>				
<b>PROVINCIA</b>	<b>CANTÓN</b>	<b>PARROQUIA</b>	<b>ZN</b>	<b>Mina</b>
<b>GUAYAS</b>	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	NZ 12	<b>El Refugio</b>
	ISIDRO AYORA	ISIDRO AYORA	NZ 13	<b>Pinto</b>
			NZ 14	<b>Pinto II</b>
			NZ 6	<b>Bexi</b>
			NZ 16	<b>Calcáreos del Pacífico Calpacsa S.A.</b>
			NZ 1	<b>Zeonatec</b>
	LOMAS DE SARGENTILLO	LOMAS DE SARGENTILLO	NZ 17	<b>Zeolita</b>
	GUAYAQUIL	CHONGÓN	NZ 17	<b>Indami Cia Ltda.</b>
			NZ 18	<b>Calmosacorp S.A.</b>
			NZ 19	<b>Biomarsa Kravets</b>
<b>POSIBLES MINAS QUE COLABOREN</b>				
<b>GUAYAS</b>	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	NZ 15	<b>Voluntad de Dios I</b>
	ISIDRO AYORA	ISIDRO AYORA	NZ 9	<b>PINCOPAZ</b>
			NZ 4	<b>ELENA</b>

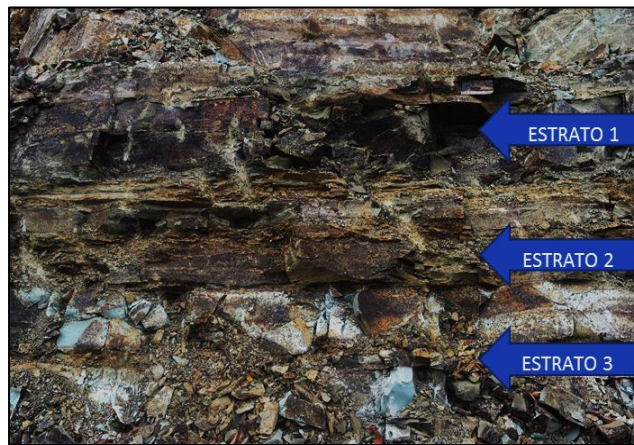
Tabla 23. Finura del Material proporcionado por cada Mina

<b>FINURA DE LA ZEOLITA</b>		
<b>ZN</b>	<b>Mina</b>	<b>Medida (Mesh)</b>
NZ 12	El Refugio	Algunas medidas 325
NZ 13	Pinto	
NZ 14	Pinto II	
NZ 6	Bexi	200
NZ 16	Calcáreos del Pacífico Calpacsa S.A.	325 máx. 100
NZ 17	Zeolita	100 y muestra en roca
NZ 17	Indami Cia Ltda.	200,máx 9%
NZ 18	Calmosacorp S.A.	40, máx. 40%
NZ 19	Biomarsa Kravets	<500 µm
NZ 1	Zeonatec	–
<b>POSIBLES MINAS QUE COLABOREN</b>		
NZ 15	Voluntad de Dios I	–
NZ 9	PINCOPAZ	–
NZ 4	ELENA	Talco

Mediante el análisis, recolección de datos y visitas realizadas, y mediante la clasificación de datos y obtención de zeolitas naturales, se puede comprobar que de 22 minas dadas en este sistema se ha podido contactar 13 y 10 de estas estarían con disposición de distintas zeolitas para venta en roca o material molido en la Provincia del Guayas en los cantones Isidro Ayora, Lomas de Sargentillo y Guayaquil.

De los cual se pudo extraer las Zeolitas Naturales de la Mina Zeonatec ubicada en la Provincia del Guayas, Cantón Isidro Ayora, Parroquia Isidro Ayora cuyas coordenadas UTM se encuentran: (N: 9790357; E: 594939) de acuerdo a la Superintendencia de Compañías ARCOM, donde se recolecto rocas de diferentes estratos de las cuales para esta investigación se identifican dos rocas de distintas características, el primero perteneciente al estrato 2 indicado en la **Figura 43** la misma que se denominó como Zeolita Café o ZC cuyas características observadas fueron:

- Rocas color café,
- Rocas amorfas con aristas irregulares,
- Muy poca oxidación en la parte superficial expuesta al ambiente.
- Su estructura interna presentó varias capas la cual al aplicar una fuerza externa se separan fácilmente
- Además se observó la presencia de humedad en su interior.



*Figura 43. Estratos de Zeolita Natural Mina Zeonatec.*

El segundo pertenece a rocas color rojizo de la misma mina la cual se denominó Zeolita Roja o ZR, se encontraron fuera de los estratos anteriores elegidas por la diferente textura de esta como se muestra en la **Figura 44**, sus características más representativas y observadas fueron:

- Rocas color rojo,
- Rocas amorfas con aristas irregulares y filosas,
- Oxidación en la parte superficial expuesta al ambiente.
- Su estructura interna presentó varias capas la cual al aplicar una fuerza externa se separan fácilmente
- Presencia de humedad en su interior.





Figura 44. Rocas de Zeolita Roja Mina Zeonatec

### 3.2.Caracterización Geométrica

#### – Resultados de la molienda con la máquina MAA

Los resultados presentados después de la molienda con la MAA tienen porcentajes de material menor o igual a  $75\ \mu\text{m}$  con valores de 15.3% y 8.3% en cuanto a la Zeolita ZR y ZC respectivamente. Con lo cual se puede notar la suavidad de trituración de la roca de zeolita ZR al obtener mayor porcentaje de material fino en comparación a la ZC. En la **Tabla 24** se presenta los resultados de la molienda en la máquina MAA tanto de la ZR como de la ZC.



Tabla 24. Resultados de masa de Zeolita ZR y ZC después de la molienda con la MAA

Masa de Zeolitas						
Tamiz	3/8	4	10	200	Fuente	Total
Tamaño(mm)	> 9.5	4.75-9.5	2-4.75	> $75\ \mu\text{m}$	$\leq 75\ \mu\text{m}$	-
Muestra	Peso(g)					
ZR	0	2988.9	0	3115.2	1103.7	7207.8
ZC	0	332.2	3788.1	7136.4	1022.7	12279.4

Con el material molido en el MTB se presenta a continuación el Análisis granulométrico de las Zeolitas molidas basándose en la norma para agregado fino NTE INEN 0696.

### 3.2.1. Granulometría ZR en base al método con agregado Fino.

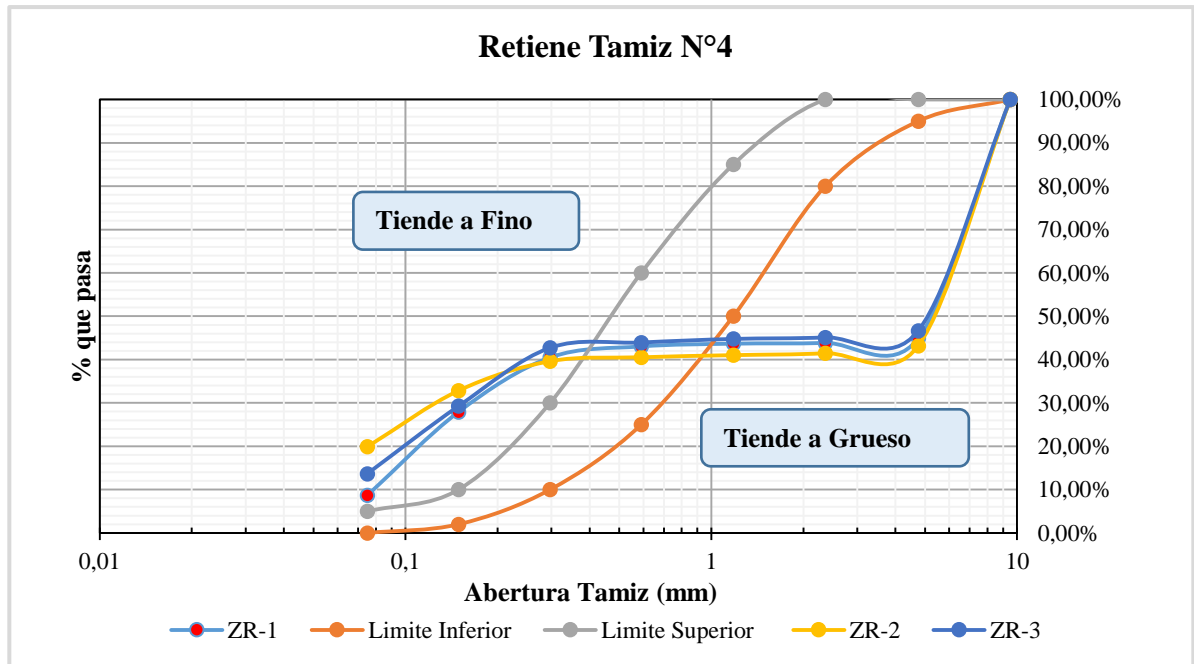
**Tabla 25.** Granulometría ZR retiene Tamiz N°4

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>TEMA: “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN.”</b>					
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ZEOLITA ZR</b>					
<b>Retiene Tamiz N°4</b>					
<b>Tiempo</b>	40min	40min	60min	<b>NORMA: NTE INEN 0696</b>	
<b>Cantidad</b>	300g	1000g	1000g		
<b>Zeolita</b>	ZR-1	ZR-2	ZR-3		
<b>Abertura (mm)</b>	<b>% que pasa</b>			<b>Límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>
9,5	100,00%	100,00%	100,00%	100%	100%
4,75	44,91%	43,19%	46,65%	95%	100%
2,36	43,84%	41,46%	45,12%	80%	100%
1,18	43,67%	41,02%	44,76%	50%	85%
0,59	43,03%	40,53%	43,94%	25%	60%
0,297	40,48%	39,62%	42,72%	10%	30%
0,149	27,91%	32,82%	29,26%	2%	10%
0,075	8,67%	19,90%	13,67%	0,00%	5,00%

**Fuente:** [Autor]

En la **Tabla 25** se muestra los resultados del análisis granulométrico de las moliendas de la ZR con material retenido en el tamiz N°4, con cantidades de 300, 1000 y 1000 gramos en 40, 40 y 60 minutos de molienda respectivamente.

**Figura 45.** Curva Granulométrica zeolitas ZR-1, ZR-2, ZR-3.





**Fuente:** [Autor]

Los resultados obtenidos dentro de la granulometría de la zeolita ZR con el método para agregado fino muestra la diferencia de cantidades de material que pasa el tamiz N° 200 con respecto al tamaño de material molido y el tiempo de molienda, con respecto a la granulometría de la **ZR-1** con 300 gramos, se tiene una pérdida entre molienda y tamizado de 0.10%, en un tiempo de molienda de 40 min se obtiene un 8.67% de material retenido en la fuente es decir pasa tamiz N° 200, lo cual es representado claramente en la curva granulométrica **Figura 45** donde de acuerdo a los datos se observa mayor cantidad de material tendiendo a grueso es decir mayor parte de las curvas granulométricas se encuentran al lado derecho del límite superior y en menor porcentaje al lado izquierdo de este límite. Por otro lado se obtiene el módulo de finura de acuerdo a la **Ecuación 1** que representa el grosor del material siendo 2.2 más fino y 3.5 más grueso en este caso el valor obtenido es de 3.56 lo cual corrobora al análisis establecido por el gráfico de curva granulométrica, mientras menor es el módulo de finura, más fino es el material molido y viceversa.

Con condiciones similares se tiene la **ZR-2** con 1000 gramos molidos en 40 minutos se obtiene un porcentaje de pérdida de 0,11% y un 19,90% de material retenido en la fuente, se tiene un módulo de finura de 3,61 lo que indica la existencia de mayor cantidad de material grueso lo cual puede ser corroborado visualmente en la **Figura 45**. Así mismo se tiene **ZR-3** con 1000 gramos molidos en 60 minutos dando 0.03% de materia perdido y 13,67% de material retenido en la fuente, con un módulo de finura de 3.48. Los análisis mencionados fueron desarrollados con material retenido en el Tamiz N°4 como material inicial para molienda. Con ello se deduce la existencia de mayor material grueso independientemente del tiempo de molienda y de la cantidad molida, el porcentaje de pérdida de material depende fundamentalmente de la limpieza del tambor utilizado para su respectiva molienda.

Realizando una relación entre los resultados obtenidos y especialmente entre la **ZR-1** y **ZR-2** por la similitud entre tiempos de 40 minutos y al realizar una regla de tres con el porcentaje obtenido 8.67 y 19.90 se nota que en 1000 gramos molidos se debe obtener 28.57 por ciento de material fino molido pero en este caso tiene un valor de 19.90% lo cual quiere decir que la cantidad de material fino requerido no se obtiene moliendo mayor cantidad si no depende de la dureza de las rocas colocadas en el tambor. Esto corrobora que al moler 1000 gramos por una hora tiene menor cantidad de material que al moler 1000 gramos por 40 minutos. De acuerdo a estos resultados la mejor opción es moler más cantidad en menor tiempo ya que al moler mayor tiempo el material fino se adhiere a las paredes del tambor y se forma una especie de grumos lo cual influye en el momento del tamizado para agregado fino.

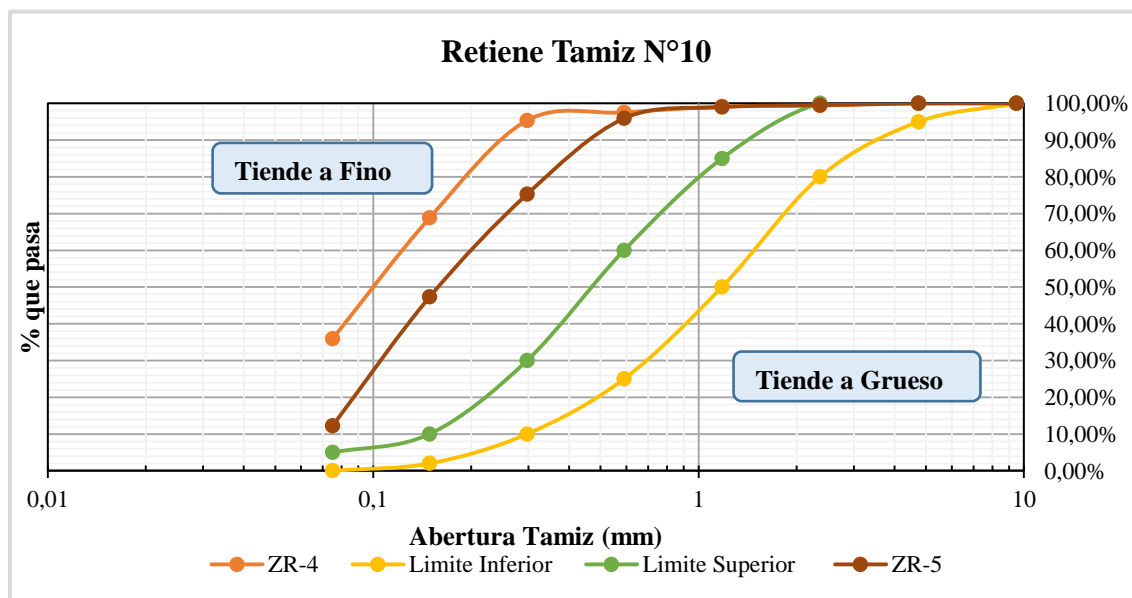
**Tabla 26.** Granulometría ZR retiene Tamiz N°10

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
TEMA: “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN.”				
<b><u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ZEOLITA ZR</u></b>				
<b>Retiene Tamiz N°10</b>				
Tiempo	40min	60min		
Cantidad	300g	300g		
Zeolita	ZR-4	ZR-5	NORMA: NTE INEN 0696	
Abertura (mm)	% que pasa	% que pasa	Límite inferior	Límite superior
9,5	100,00%	100,00%	100%	100%
4,75	100,00%	100,00%	95%	100%
2,36	99,42%	99,51%	80%	100%
1,18	99,12%	98,96%	50%	85%
0,59	97,52%	95,90%	25%	60%
0,297	95,34%	75,26%	10%	30%
0,149	68,82%	47,29%	2%	10%
0,075	35,94%	12,27%	0,00%	5,00%

Fuente: [Autor]

En la **Tabla 26** se muestra los resultados del análisis granulométrico del material retenido en el tamiz N° 10, con cantidades de 300 y 300 gramos en 40 y 60 minutos de molienda respectivamente.

**Figura 46.** Curva Granulométrica zeolitas ZR-4, ZR-5.





Fuente: [Autor]

En el análisis granulométrico de las Zeolitas **ZR-4** y **ZR-5** con material retenido en el tamiz N°10 y 300 gramos cada uno, en un tiempo de 40 y 60 minutos respectivamente se ha obtenido porcentajes de material retenido en la fuente de 35,94% y 12,27% teniendo en cuenta 0,07% y 0,10% de pérdida de material y el módulo de finura obtenido son 0,40 y 0,83 para cada molienda, lo cual indica que al tener material de menor dimensión o tamaño se obtiene mayor cantidad con la finura requerida, por otro lado se corrobora lo mencionado anteriormente con respecto al tiempo ya que en este caso la molienda en 40 minutos **ZR-4** tiene mayor porcentaje de finura que la molienda en 60 minutos **ZR-5**.

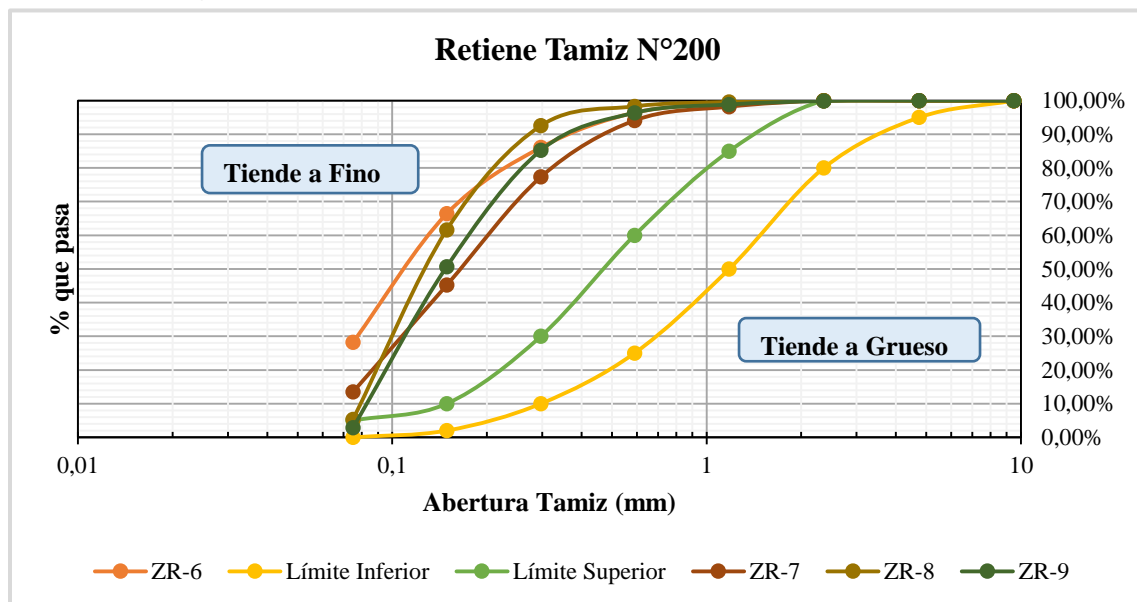
De acuerdo a la **Figura 46** se indica en la curva granulométrica que mayor parte del material tiende a fino ya que la curva se encuentra a la izquierda del límite superior en su mayoría comprobando así la efectividad de los valores del Módulo de Finura los cuales son menores a 2.2 es decir existe material muy fino.

**Tabla 27.** Granulometría ZR retiene Tamiz N°200

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
TEMA: “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN.”						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ZEOLITA ZR</b>						
<b>Retiene Tamiz N°200</b>						
<b>Tiempo</b>	40min	60min	60min	120min	NORMA: NTE INEN 0696	
<b>Cantidad</b>	300g	300g	1000g	1000g		
<b>Zeolita</b>	ZR-6	ZR-7	ZR-8	ZR-9		
<b>Abertura (mm)</b>	<b>% que pasa</b>				<b>Límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>
9,5	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100%	100%
4,75	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	95%	100%
2,36	100,00%	100,00%	100,00%	99,88%	80%	100%
1,18	98,99%	98,20%	99,59%	98,85%	50%	85%
0,59	96,41%	94,10%	98,29%	96,38%	25%	60%
0,297	86,07%	77,33%	92,55%	85,24%	10%	30%
0,149	66,41%	45,20%	61,62%	50,67%	2%	10%
0,075	28,22%	13,50%	5,35%	2,82%	0,00%	5,00%

**Fuente:** [Autor]

**Figura 47.** Curva Granulométrica zeolitas ZR-6, ZR-7, ZR-8, ZR-9



**Fuente:** [Autor]

En la **Tabla 27** se muestra el análisis granulométrico con material retenido en el Tamiz N° 200, con cantidades de 300, 300, 1000 y 1000 gamos molidos en 40, 60, 60, y 120 minutos respectivos mostrando el porcentaje de material que pasa en cada tamiz y su respectiva curva granulométrica.

En los siguientes análisis granulométricos presentados como son **ZR-6**, **ZR-7**, **ZR-8** y **ZR-9** se realizó la molienda con material inicial retenido en el tamiz N° 200 y que pase el tamiz N°10, con 300 gramos en 40 minutos, 300 gramos en 60 minutos, 1000 gramos en 60 minutos y 1000 en 120 minutos respectivamente, teniendo material retenido en la fuente con porcentajes de 28,12%, 13,50%, 5,35%, y 2,82% corroborando lo indicado en los análisis anteriores que a mayor tiempo de molienda independientemente de la cantidad molida se obtiene menor cantidad de material fino. De la misma manera se tiene porcentaje de pérdida de 0,10%, 0%, 0,02% y 0,29% esto depende fundamentalmente de la limpieza del tambor del MBT, además el módulo de finura obtenida es de 0,52, 0,85, 0,48 y 0,69 respectivamente lo que indica que el material se encuentra en la parte izquierda del límite superior de la curva granulométrica mostrando dichos resultados en la **Figura**

47. Esto indica que existe mayor cantidad de material fino, pero por otro lado al analizar los porcentajes de material que pasa el tamiz N°200 se observa material fino pero no se logra mayor cantidad de tamaño inferior a 0.075 mm.

### 3.2.2. Análisis granulométrico ZR resumen

La **Tabla 25** muestra mediante la curva granulométrica **Figura 45** en la que existe mayor cantidad de material grueso y de entre los porcentajes de material fino la mayor cantidad de zeolita de tamaño inferior a 0.075mm se encuentra en la **ZR-2** con un 19,90% de material que pasa el tamiz N°200. Analizando el resumen de la **Tabla 26** se encuentra mayor cantidad de material fino y de entre estos el mayor porcentaje que pasa el tamiz N°200 está en la **ZR-4** con un 35.94%. Y por último al analizar la **Tabla 27** se encuentra que la mayor cantidad de material que pasa el tamiz N° 200 está en la **ZR-6** con un porcentaje de 28.22%.



Esto indica que al moler mayor cantidad de material sea de tamaños grandes o pequeños la mejor opción es moler menor cantidad en un menor tiempo que cantidades grandes en tiempos mayores ya que mientras más lleno se encuentre el tambor las bolas de acero no alcanzan a golpear a todo el materia en este caso ZR, por otro lado al terminar de moler una cantidad lleva tiempo en la limpieza del equipo completo lo que influye en el número de moliendas en el transcurso del día.

En el **Anexo 2** se encuentra detallado cada uno de los análisis granulométricos realizados para cada molienda de la Zeolita ZR.



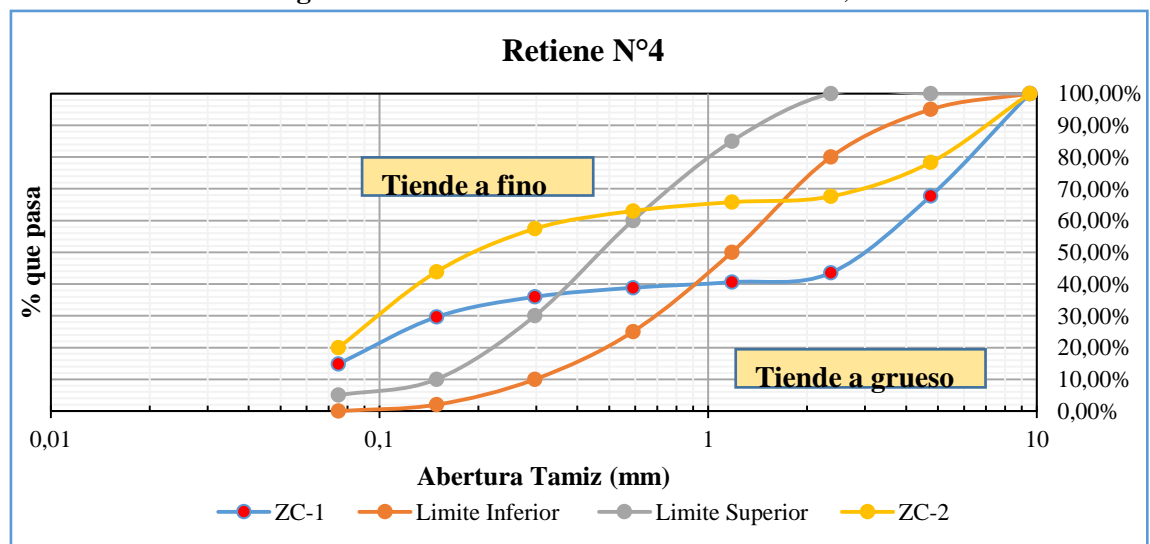
### 3.2.3. Granulometría ZC en base al método con agregado Fino.

**Tabla 28.** Granulometría ZC retiene Tamiz N°4

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
TEMA: “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN.”				
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ZEOLITA ZC</b>				
<b>Resumen Retiene Tamiz N°4</b>				
<b>Tiempo</b>	10min	20 min		
<b>Cantidad</b>	300g	300g		
<b>Zeolita</b>	ZC-1	ZC-2	NORMA: NTE INEN 0696	
<b>Abertura (mm)</b>	<b>% que pasa</b>		<b>Límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>
9,5	100,00%	100,00%	100%	100%
4,75	67,73%	78,31%	95%	100%
2,36	43,53%	67,60%	80%	100%
1,18	40,61%	65,80%	50%	85%
0,59	38,84%	63,02%	25%	60%
0,297	35,98%	57,43%	10%	30%
0,149	29,61%	43,84%	2%	10%
0,075	14,84%	19,95%	0,00%	5,00%

Fuente: [Autor]

**Figura 48.** Curva Granulométrica zeolitas ZC-1, ZC-2.



Fuente: [Autor]



En la **Tabla 28** se muestra los resultados del análisis granulométrico de las moliendas de la zeolita ZC con material retenido en el tamiz N°4, con 300 gramos molidos en 10 minutos, repitiendo la molienda hasta completar 20 minutos.

Dentro del análisis granulométrico de la zeolita **ZC-1**, se tiene una pérdida entre molienda y tamizado de 0.54%, en un tiempo de molienda de 10 min se obtiene un 14.84% de material retenido en la fuente. Lo cual es representado claramente en la curva granulométrica **Figura 48** donde de acuerdo a los datos se observa mayor cantidad de material tendiendo a grueso es decir la curva granulométrica se encuentra a la derecha del límite superior en su mayoría. Por otro lado se obtiene el módulo de finura con un valor de 3.44 lo cual corrobora al análisis establecido por el gráfico de curva granulométrica.

Con la molienda de la **ZC-2** se obtiene poca cantidad de material fino, un porcentaje de pérdida de 0,57% y un 19,95% de material retenido en la fuente, se tiene un módulo de finura de 2.24 lo que indica poca cantidad de material fino, lo cual se encuentra representado en la curva granulométrica entre el límite superior e inferior con la misma cantidad esto puede ser corroborado visualmente en la **Figura 48**.

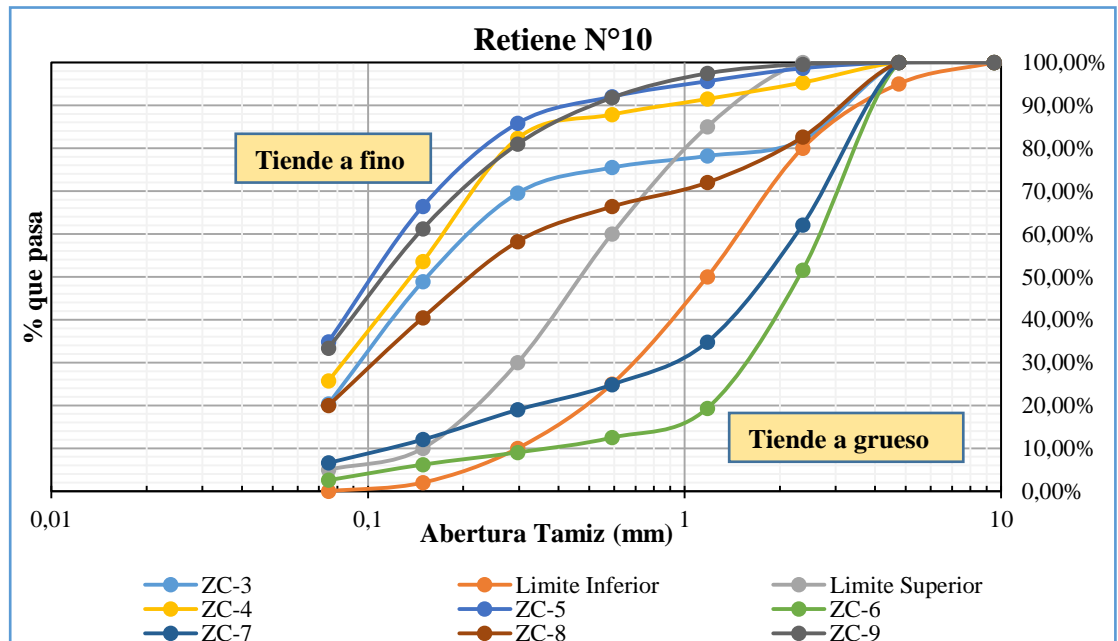
Al realizar una comparación entre moliendas se observa una cantidad significativa de material fino en la **ZC-1** pero al realizar nuevamente la molienda del mismo material se espera el doble de la cantidad inicial pero en este caso no se logra dicho objetivo, ya que se espera completar un 30% aproximadamente pero se tiene 19.95% en **ZC-2** con ello se verifica lo analizado anteriormente con la Zeolita ZR donde se conoce que la obtención material fino depende de la cantidad ingresada al molino y del tiempo de molienda es decir se obtiene lo requerido al ingresar menor cantidad en menor tiempo. Por otro lado se observa que al volver a moler el mismo material por un mismo tiempo obtengo material más fino en los diferentes tamices pero no obtengo mayor cantidad en la fuente como se pueden ver en los porcentajes de la **Tabla 28**.

**Tabla 29.** Granulometría ZC retiene Tamiz N°10

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 									
<b>TEMA: “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN.”</b>									
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ZEOLITA ZC</b>									
<b>Resumen Retiene Tamiz N°10</b>									
Tiempo	20min	40 min	60min	20min	40min	120min	120min	NORMA: NTE INEN 0696	
Cantidad	300g	300g	300g	2000g	2000g	2000g	1000g		
Zeolita	ZC-3	ZC-4	ZC-5	ZC-6	ZC-7	ZC-8	ZC-9		
Abertura (mm)	% que pasa							Límite inferior	Límite superior
9,5	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100%	100%
4,75	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	95%	100%
2,36	81,93%	95,30%	98,63%	51,56%	62,10%	82,56%	99,57%	80%	100%
1,18	78,18%	91,47%	95,60%	19,34%	34,79%	71,98%	97,44%	50%	85%
0,59	75,47%	87,83%	92,00%	12,49%	24,85%	66,36%	91,77%	25%	60%
0,297	69,51%	82,30%	85,80%	9,04%	18,97%	58,21%	80,94%	10%	30%
0,149	48,90%	53,57%	66,43%	6,20%	12,03%	40,45%	61,21%	2%	10%
0,075	20,35%	25,70%	34,87%	2,56%	6,59%	19,98%	33,36%	0,00%	5,00%

Fuente: [Autor]

**Figura 49.** Curva Granulométrica zeolitas ZC-3, ZC-4, ZC-5, ZC-6, ZC-7, ZC-8, ZC-9.



Fuente: [Autor]

En la **Tabla 29** se muestra los resultados del análisis granulométrico del material retenido en el tamiz N° 10 de la zeolita **ZC**, con cantidades de 300 gramos molidos por 60 minutos en tres moliendas de 20 minutos, de igual manera 2000 gramos en 20, 40 y 120 minutos, y por último 1000 gramos molidos por 120 minutos mostrando de cada una el porcentaje de material que pasa en cada tamiz y su respectiva curva granulométrica.

Al analizar la Zeolita **ZC-3** con 300gramos molidos en 20 minutos se tiene 2.47% de material perdido y 20.35% de material retenido en la fuente, con un módulo de finura de 1.46 que indica la existencia de mayor cantidad de material fino es decir material encontrado en los tamices de aberturas más pequeñas, visualmente se lo puede comprobar en la **Figura 49**. Al repetir la molienda por 20 minutos más de este material para el análisis de **ZC-4** se obtiene 1.77% de pérdida de material y 25.70% de material retenido en la fuente además del módulo de finura de 0.90 y **ZC-5** con 20 minutos más de molienda se tiene 0.13% de pérdida de material, 34.87% de material retenido en la fuente y un módulo de finura de 0.62 indicando que mientras más es molido el material mayor cantidad de fino se obtiene pero a la vez no cumple con el requerimiento estipulado, es decir se espera para la **ZC-5** un 60% de material retenido en la fuente.

En los siguientes análisis granulométricos presentados como son **ZC-6**, **ZC-7** y **ZC-8**, con 2000 gramos en 20 minutos, adicionando 20 minutos, y 80 minutos de molienda, completados 120 minutos en el orden descrito respectivamente, se tiene material retenido en la fuente con porcentajes de 2.56%, 6.59% y 19.98% y porcentaje de pérdida de 0.20%, 0.14% y 0,44%, además el módulo de finura obtenida es de 4.01, 3.47 y 1.80 respectivamente. Esto indica que al ingresar al molino una cantidad mayor a 1 Kg en un tiempo menor no se consigue ni la mínima cantidad de material deseado, adicionando el doble de tiempo no se logra cambios, en este caso al completar dos horas de molienda se logra un aumento en material fino, en comparación con el análisis descrito anteriormente el porcentaje obtenido es inferior que en la molienda con cantidades menores. De acuerdo a los resultados obtenidos se muestra que existe mayor cantidad de material grueso lo cual se comprueba con el módulo de finura obtenido y visualmente en las curvas granulométricas presentadas en la **Figura 49** donde indica que estas se encuentran a la derecha del límite superior en su totalidad **ZC-6** y **ZC-7**, y en menor proporción **ZC-8**.

En el análisis de la zeolita **ZC-9** se obtiene material retenido en la fuente con un porcentaje de 33.66% al moler una cantidad de 1000 gramos en 120 minutos, con pérdida de material de 0.30% y teniendo un módulo de finura de 0.69 lo cual indica la existencia de mayor cantidad de material fino en comparación a las moliendas descritas anteriormente.

En el **Anexo 2** se presenta cada una de las moliendas de la ZC dentro del análisis granulométrico con su respectiva curva granulométrica.

#### **3.2.4. Análisis granulométrico ZC Resumen**

La **Tabla 28** muestra mayor cantidad de material grueso y de entre estos el porcentaje de material fino mayor se encuentra en la **ZC-2** con un 19,95%. Analizando el resumen en la **Tabla 29** se encuentra mayor cantidad de material fino en la **ZR-5** con un 34.87%, seguido de **ZC-9** con un 33.36%.

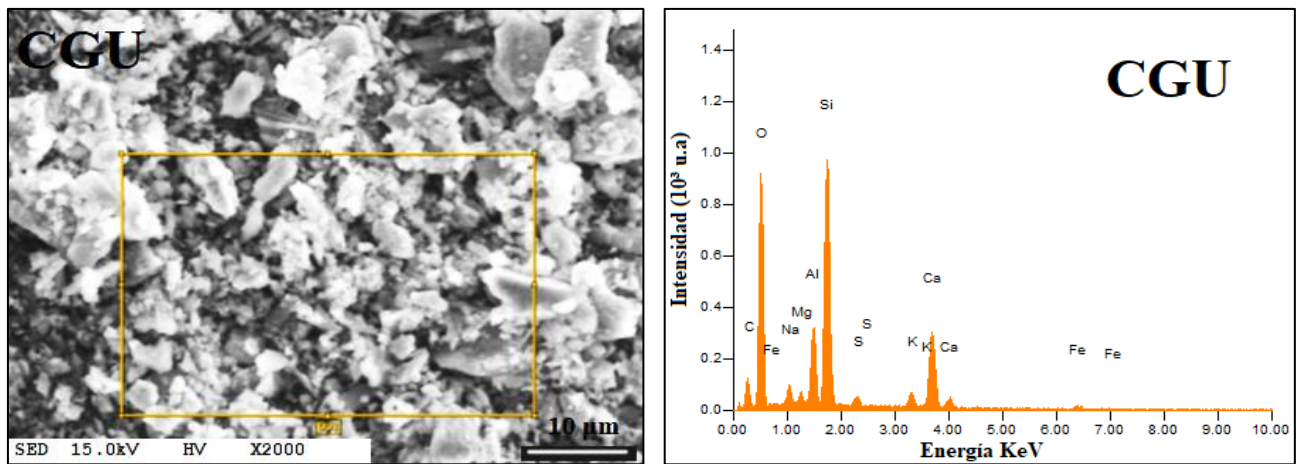
Esto indica que al moler mayor cantidad de material sea de tamaños pequeños o grandes la mejor opción es moler menor cantidad en un menor tiempo ya que al realizar una comparación entre ZC-2 molidas en 20 minutos se obtiene aproximadamente el 20 % de material fino, y al moler la misma cantidad en una hora se tiene aproximadamente 35% ZC-5 a diferencia de lo esperado que es 60% de material, por esta razón la molienda se realiza en periodos de 20 minutos para obtención de mayor cantidad de material fino.

Por otro lado al aumentar cantidad de material ingresado en el tambor en un tiempo mayor no se obtienen mejores resultados como **ZC-8** con 2000 gramos molidos en un tiempo de 2 horas se tiene 20% aproximadamente en comparación con **ZC-9** con 1000 gramos en las mismas 2 horas se tiene 35 % aproximados, es decir si se muele la mitad de cantidad en el mismo tiempo se obtiene el doble de material fino.

Al realizar una comparación entre ZC y ZR con material retenido en el tamiz N°10 al observar los porcentajes de material retenido en la fuente en relación a la molienda **ZR-4** y **ZR-5** se tiene porcentajes de 35.94% y 12.27%, y de **ZC-4** y **ZC-5** se tiene porcentajes de 25.70% y 34.87% con 300 gramos de molienda en 40 y 60 minutos respectivamente. Como lo comprobado anteriormente en menor tiempo de molienda mayor cantidad de material en el primer caso corrobora lo dicho, en el segundo caso por ser moliendas repetidas no verifica lo mencionado. En este caso tomando en cuenta las molienda de 40 minutos se tiene mayor porcentaje en la ZR lo cual representa más suavidad en el material es decir este es más blando que la ZC, pero mientras mayor tiempo de molienda es aplicado forma una pasta o grumos que se adhieren a las paredes del tambor lo cual reduce el material fino ya que se pegan entre sí, es decir ZR tiene mayor humedad que ZC.

### 3.3. Caracterización Morfológica y Química

#### 3.3.1. SEM (Microscopía Electrónica de Barrido) - EDS (Espectroscopia De Rayos X De Energía Dispersiva)



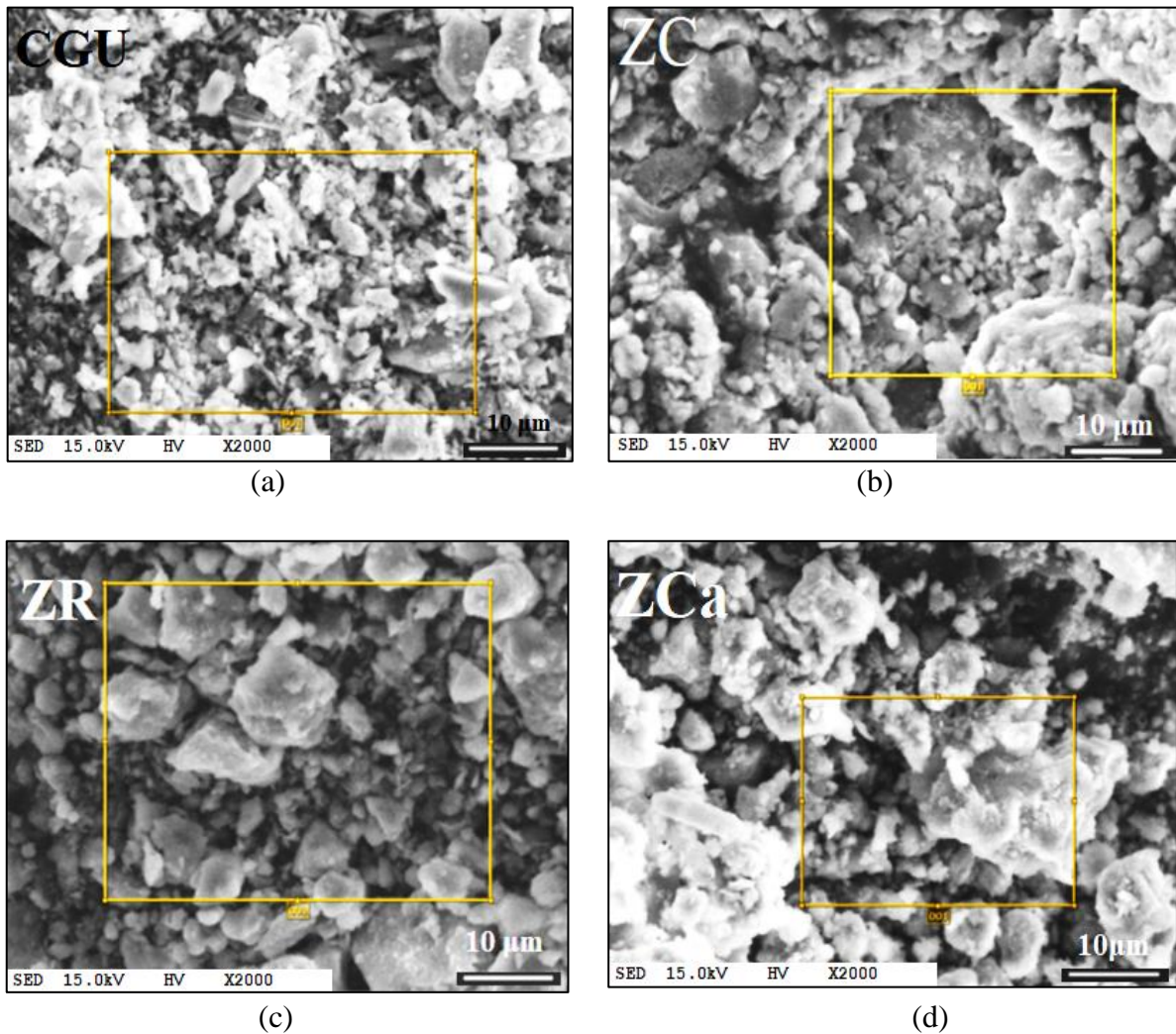
(a)

(b)

*Figura 50. a) Microscopía electrónica de barrido SEM de la muestra de cemento portland CGU con magnificación 2000X a 15.0 KeV, b) Espectro EDS de CGU realizada con el recuadro mostrado en la imagen SEM (a).*

#### Descripción:

En la imagen SEM presentada por la muestra de cemento CGU se observa en la **Figura 50(a)** una estructura angular, poliédrica y tamaño muy fino de los granos de cemento, en la superficie de la imagen se aprecia granos planos de diversas formas, estos tienen una medida inferior de 75μm las cuales son observadas por microscopía a un aumento de 2000X y con energía de voltaje de 15 KeV, del mismo modo en la **Figura 50 (b)** se tiene Espectros elementales de rayos X EDS tomados de un espectrómetro de rayos X de energía dispersiva en el microscopio electrónico de barrido JSM-IT 100 de Jeol SEM Tecnologías que muestra la presencia de picos altos de sílice (Si) y Oxígeno (O) seguido de cantidades moderadas de aluminio (Al), y calcio (Ca), y leve apreciación de hierro (Fe), azufre (S), carbono (C), sodio (Na), Magnesio (Mg) y potasio (K). Todos los granos presentes se pueden observar con una composición más o menos homogénea.



*Figura 51. Microscopía electrónica de barrido SEM de las muestras de zeolitas a) Cemento portland CGU, b) Zeolita café ZC, c) Zeolita Roja ZR y d) Zeolita Calmosa Corp. ZCa todas con magnificación 2000X.*

### **Descripción:**

Las imágenes SEM presentadas muestran en la **Figura 51** (b) Zeolita Café ZC donde se observa una estructura poliédrica, tamaño muy fino de sus granos y superficie irregular en su mayoría aglomerados entre sí, del mismo modo se tiene en la **Figura 51** (c) Zeolita Roja ZR donde se observa estructuras cristalinas cúbicas poliédricas de sus granos, al igual que la primera descrita presenta superficie irregular entre tamaños de 75 µm e inferiores, también en la **Figura 51** (d) se muestran granos de zeolita Calmosacorp ZCa con estructura cúbica poliédrica de tamaño fino y perspectiva de superficie irregular aglomerados entre tamaños grandes y los gránulos del fondo con superficie prácticamente



homogénea. La mayoría de gránulos en todas las imágenes aparentes miden menos de 10µm las cuales son observadas por microscopia a un aumento de 2000X y energía de voltaje de 15 KeV.

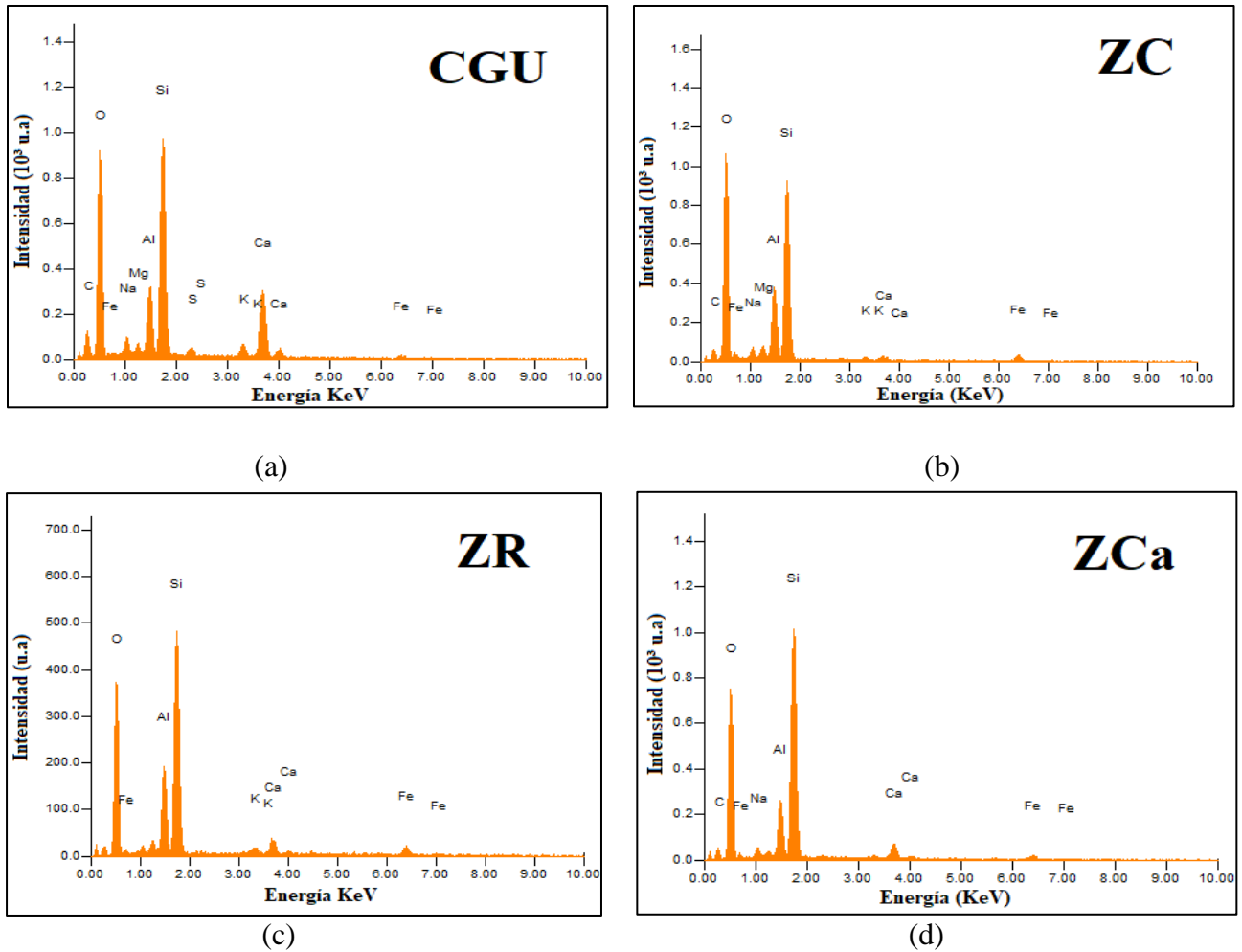


Figura 52. Espectro EDS a) muestra de cemento tipo GU, b) muestra de zeolita café ZC, c) muestra de zeolita roja ZR, d) muestra de zeolita Calmosa Corp. ZCa todas con energía de 15keV.

### Descripción:

Se tiene los Espectros elementales de rayos X EDS tomados de un espectrómetro de rayos X de energía dispersiva en un microscopio electrónico de barrido JSM-IT 100 de Jeol SEM Tecnologías que muestra en la **Figura 52** (b) en ZC la presencia de picos altos de sílice (Si) y Oxígeno (O), seguido de aluminio (Al) en cantidad moderada que se encuentran a una intensidad alrededor de 1.1 a 0.4 x10<sup>3</sup> respectivamente, y leve apreciación de hierro (Fe), carbono (C), sodio (Na), Magnesio (Mg), Calcio (Ca) y potasio

(K). Así mismo en la **Figura 52** (c) muestra ZR con presencia de picos altos de sílice (Si) y Oxígeno (O), seguido de aluminio (Al) en cantidad moderada que se encuentran a una intensidad alrededor de  $0.5$  a  $0.2 \times 10^3$  respectivamente, y leve apreciación de hierro (Fe), Calcio (Ca) y potasio (K). Y en la **Figura 52** (d) ZCa presenta picos altos de sílice (Si) y Oxígeno (O), seguido de la misma manera de aluminio (Al) en cantidad moderada que se encuentran a una intensidad alrededor de  $1.1$  a  $0.2 \times 10^3$  respectivamente, y leve apreciación de hierro (Fe), carbono (C), sodio (Na) y Calcio (Ca). Estos espectros se realizaron con energía de voltaje de 15 KeV.

### 3.3.2. Análisis SEM

De acuerdo a la visualización de las imágenes SEM realizadas, se observa la diferencia entre la estructura de cada una de las zeolitas así como del cemento, todas las imágenes mostradas están realizadas con una energía de voltaje de 15 keV y un aumento de 2000X. Se puede observar similitud entre CGU y ZC donde se aprecia granos finos, angulares poliédricos cada uno se encuentra agrupados formando una masa con tamaños menores, apreciándose de mejor manera al fondo de la imagen **Figura 51 a)** - **Figura 51 b)**. Otra similitud observada se encuentra entre la ZR y ZCa donde en su superficie se puede ver granos cúbicos poliédricos de tamaño grandes y pequeños, en el fondo de la imagen se puede observar una masa con tamaños menores todas con características homogéneas, de estas la ZR muestra en su superficie granos cúbicos casi apreciándose de mejor manera en la **Figura 51 d)**.

Al realizar una observación a profundidad se aprecia similitud entre las imágenes SEM de CGU y ZCa donde presenta mayor volumen en la ZCa pero con forma angular como se muestra en la imagen del CGU. En este caso se escoge las mejores propiedades realizando una comparación con las demás propiedades analizadas en esta investigación.

### 3.3.3. EDS - Espectroscopía de Dispersión de Rayos X de Energía Dispersiva

Dentro de los resultados arrojados por EDS se puede observar el porcentaje másico y atómico de cada uno de los elementos químicos de los que está compuesta cada muestra de CGU, ZR, ZC y ZCa.

En la **Tabla 30** se muestra el porcentaje másico y atómico de los elementos químicos que componen la muestra de Cemento CGU, así como su relación silicio – aluminio.

**Tabla 30.** Análisis EDS de la muestra de Cemento Tipo GU - CGU

Cemento Tipo GU - CGU			
Elemento	Masa %	Átomos %	Si/Al
C	4,92	17,35	3,40
O	21,12	55,87	
Na	0,86	1,58	
Mg	0,38	0,66	
Al	2,34	3,67	
Si	7,95	11,98	
K	1,02	1,11	
Ca	6,16	6,5	
Fe	1	0,76	
S	0,4	0,52	
<b>Total</b>	46,15	100	

Fuente: [Autor]

Mediante factores de conversión (Factor Óxido) del porcentaje másico de los elementos químicos se ha obtenido la composición química de la muestra de cemento CGU es decir el compuesto oxido y de ello los porcentajes másico y atómico reales como se muestra en la **Tabla 31**.

- Los porcentajes másicos reales se forman al multiplicar el porcentaje másico obtenido del análisis EDS (microscopía electrónica de barrido) por el factor de conversión.

- Con la sumatoria de cada uno de los porcentajes máxicos reales se obtiene a continuación el porcentaje atómico real utilizando la siguiente ecuación.

$$\%AR = \frac{\%MR * 100}{\sum \%MR}$$

*Ecuación 5. Porcentaje Atómico Real*

Donde:

**%AR** Porcentaje Atómico Real

**%MR** Porcentaje Máxico Real

**Tabla 31.** Composición química de la muestra de Cemento Tipo GU – CGU

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CGU</b>					
<b>Elemento</b>	<b>% Máxico</b>	<b>Óxido</b>	<b>Factor óxido</b>	<b>% Máxico Real</b>	<b>% Atómico Real</b>
Na	0,86	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,348	1,16	3,30
Mg	0,38	<b>MgO</b>	1,6583	0,63	1,79
Al	2,34	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,8895	4,42	12,57
Si	7,95	<b>SiO<sub>2</sub></b>	2,1393	17,01	48,35
K	1,02	<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,2046	1,23	3,49
Ca	6,16	<b>CaO</b>	1,3992	8,62	24,50
Fe	1	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,1113	1,11	3,16
S	0,4	<b>SO<sub>3</sub></b>	2,4972	1,00	2,84
<b>TOTAL</b>	<b>20,11</b>			<b>35,18</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** [Autor]

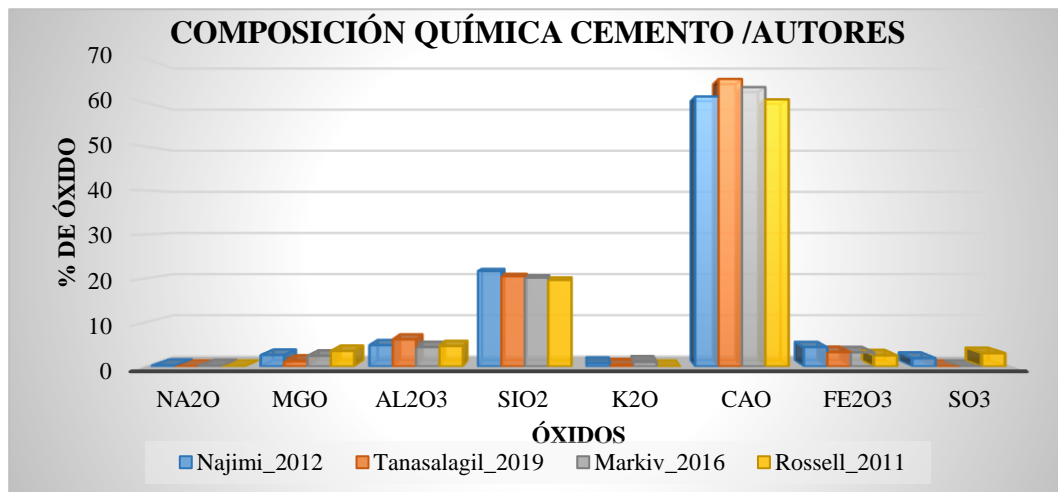
Para realizar una comparación entre los resultados obtenidos en la **Tabla 32** se muestra la composición química en porcentajes máxicos del Cemento de acuerdo a varios autores reportados.

**Tabla 32.** Composición química del Cemento Portland de acuerdo a varios autores

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO DE ACUERDO A VARIOS AUTORES</b>				
<b>Oxido</b>	Najimi_2012	Tanasalagil_2019	Markiv_2016	Rosell_2011
<b>% Masa</b>				
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,25	0,00	0,17	0,00
<b>MgO</b>	2,6	1,22	2,41	3,54
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,85	6,17	4,41	4,66
<b>SiO<sub>2</sub></b>	21,68	20,5	20,17	19,65
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,71	0,36	1,02	0,00
<b>CaO</b>	61,32	65,32	63,45	60,68
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,4	3,27	3,21	2,52
<b>SO<sub>3</sub></b>	1,9	0,00	0,00	3,03
<b>TOTAL</b>	<b>97,71</b>	<b>96,84</b>	<b>94,84</b>	<b>94,08</b>

Fuente: [Autor]

Dentro de los resultados obtenidos con respecto al cemento CGU se tiene Oxido de Aluminio y Silicio con porcentajes de 12.57% y 48.35% respectivamente, en comparación a ensayos realizados por varios autores presentándose en la **Tabla 32** no tienen similitud, esto se debe a la variación entre propiedades y métodos de fabricación entre países diferentes. Los compuestos antes mencionados son representativos en la presente investigación, no obstante al observar la **Figura 53** se nota el Óxido de Calcio como compuesto más relevante dentro de distintas investigaciones.



*Figura 53.* Composición Química del Cemento de acuerdo a varios autores.

Fuente: [Autor]

En las siguientes tablas se muestra a continuación el porcentaje de masa y porcentaje atómico que presenta cada uno de los elementos que componen las muestras de zeolitas analizadas así como los porcentajes de la composición química (óxidos) de los mismos. En la **Tabla 33** se muestra la composición química de las Zeolitas naturales de acuerdo a varios autores.

**Tabla 33.** Composición química de Zeolitas de acuerdo a varios autores

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ZEOLITAS DE ACUERDO A VARIOS AUTORES</b>					
<b>Oxido</b>	<b>Najimi_2012</b>	<b>Raggiotti_2015</b>	<b>Tanasalagil_2019</b>	<b>Markiv_2016</b>	<b>Rossell_2011</b>
	<b>% Atómico</b>				
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2,04	5,90	16,77	1,22	1,47
<b>MgO</b>	1,20	0,80	0,27	0,55	0,61
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13,66	12,40	31,57	8,77	11,76
<b>SiO<sub>2</sub></b>	67,69	64,90	50,11	75,34	64,39
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,42	1,90	0,23	2,41	1,29
<b>CaO</b>	1,68	0,60	0,09	1,3	3,64
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,44	0,00	0,07	0,05	1,96
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>89,65</b>	<b>86,50</b>	<b>99,11</b>	<b>89,64</b>	<b>85,12</b>

Fuente: [Autor]

En la **Tabla 34** y **Tabla 35** se muestra los porcentajes máxicos y atómicos de los elementos químicos que componen la muestra de zeolita ZR, así como también la su relación silicio- aluminio, y su composición química (óxidos).

**Tabla 34.** Análisis EDS de la muestra de Zeolita Roja ZR.

<b>Zeolita Roja ZR</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Masa %</b>	<b>Átomos %</b>	<b>Si/Al</b>
<b>C</b>	0	0	2,69
<b>O</b>	5,88	61,18	
<b>Na</b>	0	0	
<b>Mg</b>	0	0	
<b>Al</b>	1,46	8,99	
<b>Si</b>	3,93	23,28	
<b>Ca</b>	0,62	2,58	

<b>K</b>	0,16	0,68	
<b>Fe</b>	1,11	3,3	
<b>TOTAL</b>	13,16	100,01	

Fuente: [Autor]

**Tabla 35.** Composición química de la muestra de Zeolita Roja ZR.

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ZR</b>					
<b>Elemento</b>	<b>% másico</b>	<b>Oxido</b>	<b>Factor Ox.</b>	<b>% másico</b>	<b>% atómico</b>
Na	0	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,348	0,00	0,00
Mg	0	<b>MgO</b>	1,6583	0,00	0,00
Al	1,46	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,8895	2,76	20,50
Si	3,93	<b>SiO<sub>2</sub></b>	2,1393	8,41	62,46
K	0,16	<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,2046	0,19	1,43
Ca	0,62	<b>CaO</b>	1,3992	0,87	6,45
Fe	1,11	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,1113	1,23	9,16
S	0	<b>SO<sub>3</sub></b>	2,4972	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>7,28</b>			<b>13,46</b>	<b>100,00</b>

Fuente: [Autor]

Al analizar los resultados de porcentaje atómico de la ZR escogiendo los porcentajes con similitud a estudios realizados por varios autores se tiene Óxido de Aluminio y Silicio con valores de 20.50% y 62.46% que se encuentran en el rango con zeolitas presentadas por investigaciones en la **Tabla 33**. Estos compuestos tomados en cuenta por su mayor porcentaje de composición presente en el material estudiado.

En la **Tabla 36** se muestra el análisis EDS de la zeolita ZC donde se observa los porcentajes másicos y atómicos de los elementos químicos que componen la muestra así como su relación silicio- aluminio como los análisis anteriores, en la **Tabla 37** se puede ver la composición química de esta zeolita.

**Tabla 36.** Análisis EDS de la muestra de Zeolita Café ZC

<b>Zeolita Café ZC</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Masa %</b>	<b>Átomos %</b>	<b>Si/Al</b>
<b>C</b>	3,53	15,96	2,73
<b>O</b>	17,1	58,03	
<b>Na</b>	0,56	1,32	
<b>Mg</b>	0,63	1,4	

<b>Al</b>	2,77	5,56	
<b>Si</b>	7,56	14,62	
<b>Ca</b>	0,39	0,53	
<b>K</b>	0,26	0,37	
<b>Fe</b>	2,28	2,22	
<b>Total</b>	35,08	100,01	

Fuente: [Autor]

**Tabla 37.** Composición química de la muestra de Zeolita Café ZC.

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ZC</b>					
<b>Elemento</b>	<b>% másico</b>	<b>Oxido</b>	<b>Factor Ox.</b>	<b>% másico</b>	<b>% atómico</b>
Na	0,56	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,348	0,75	2,84
Mg	0,63	<b>MgO</b>	1,6583	1,04	3,93
Al	2,77	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,8895	5,23	19,68
Si	7,56	<b>SiO<sub>2</sub></b>	2,1393	16,17	60,80
K	0,26	<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,2046	0,31	1,18
Ca	0,39	<b>CaO</b>	1,3992	0,55	2,05
Fe	2,28	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,1113	2,53	9,53
S	0	<b>SO<sub>3</sub></b>	2,4972	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>14,45</b>			<b>26,60</b>	<b>100,00</b>

Fuente: [Autor]

Con los resultados obtenidos de la ZC presenta porcentajes atómicos del Oxido de Aluminio y Silicio con valores de 19.68 y 60.80 % respectivamente lo cual al realizar una comparación con los porcentajes presentados por varios autores en la **Tabla 33** con los mismos óxidos se observa similitud entre estos ya que dichos compuestos son importantes dentro de la composición química de las Zeolitas. Esto da a conocer la existencia de propiedades similares entre zeolitas del ECUADOR con otros países.

De la misma manera como en los análisis anteriores en la **Tabla 38** podemos encontrar el análisis EDS de la zeolita ZCa con porcentajes másicos y atómicos de los elementos químicos y la relación silicio- aluminio que estas tienen y en la **Tabla 39** se puede ver la composición química de esta zeolita.



**Tabla 38.** Análisis EDS de la muestra de Zeolita Calmosa Corp. ZCa.

<b>Zeolita Calmosacorp ZCa</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Masa %</b>	<b>Átomos %</b>	<b>Si/Al</b>
<b>C</b>	2,71	15,1	4,52
<b>O</b>	13,35	55,92	
<b>Na</b>	0,45	1,3	
<b>Mg</b>	0	0	
<b>Al</b>	1,79	4,44	
<b>Si</b>	8,09	19,29	
<b>Ca</b>	1,33	2,22	
<b>Fe</b>	1,44	1,73	
<b>TOTAL</b>	29,16	100	

Fuente: [Autor]

**Tabla 39.** Composición química de la muestra de Zeolita Calmosa Corp. ZCa.

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ZCa</b>					
<b>Elemento</b>	<b>% másico</b>	<b>Oxido</b>	<b>Factor Ox.</b>	<b>% másico</b>	<b>% atómico</b>
Na	0,45	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,348	0,61	2,45
Mg	0	<b>MgO</b>	1,6583	0,00	0,00
Al	1,79	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,8895	3,38	13,66
Si	8,09	<b>SiO<sub>2</sub></b>	2,1393	17,31	69,91
K	0	<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,2046	0,00	0,00
Ca	1,33	<b>CaO</b>	1,3992	1,86	7,52
Fe	1,44	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,1113	1,60	6,46
S	0	<b>SO<sub>3</sub></b>	2,4972	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>13,1</b>			<b>24,76</b>	<b>100,00</b>

Fuente: [Autor]

Como lo descrito anteriormente se presentan resultados de porcentajes de compuestos óxidos de Aluminio y Silicio lo cuales son representativos en la composición química de las zeolitas en este caso ZCa con valores de 13.66% y 69.91% respectivos cuyos resultados son similares a los obtenidos de estudios en distintos países como se muestra en la **Tabla 33** donde presentan valores de 15% y 60% aproximadamente.

De entre ellos los porcentajes másicos más representativos en comparación con el Cemento CGU y presentando mejores resultados se encuentra en la zeolita ZC verificados en la **Tabla 31** y **Tabla 37**.

#### **3.3.4. Análisis EDS**

La Espectroscopia Electrónica de Dispersión de Rayos X muestra en sus espectros de respuesta picos altos y bajos dependiendo el mayor porcentaje de elemento químico que conforma cada muestra. De acuerdo al análisis realizado se observa picos altos de silicio y oxígeno en todos los espectros presentando menor porcentaje de silicio en la ZC y menor cantidad de oxígeno en la ZR y ZCa y entre los picos bajos se tiene presencia de potasio en la ZCa, ausencia de sodio en la ZR y en las mencionadas ausencia de magnesio, de entre estas mayor cantidad de calcio se encuentra en la CGU así como presencia de azufre la cual no se encuentra en ninguna de las zeolitas presentadas lo descrito se observa con claridad en la **Figura 52**.

La relación silicio- aluminio más sobresaliente se encuentra en la zeolita ZCa con un valor de 4.52 seguido de las zeolitas ZR y ZC con 2.69 y 2.73, de acuerdo a dichos resultados se puede observar la similitud existente entre los dos últimos pero el valor más apropiado para realizar una comparación con el cemento CGU la cual tiene 3.40 es la ZC ya que es el valor más cercano al cemento, por otro lado se podría realizar una prueba con la ZCa ya que este tiene mayor valor de la relación Si/Al de entre todas las mencionadas se puede apreciar de mejor manera en la **Figura 54**.

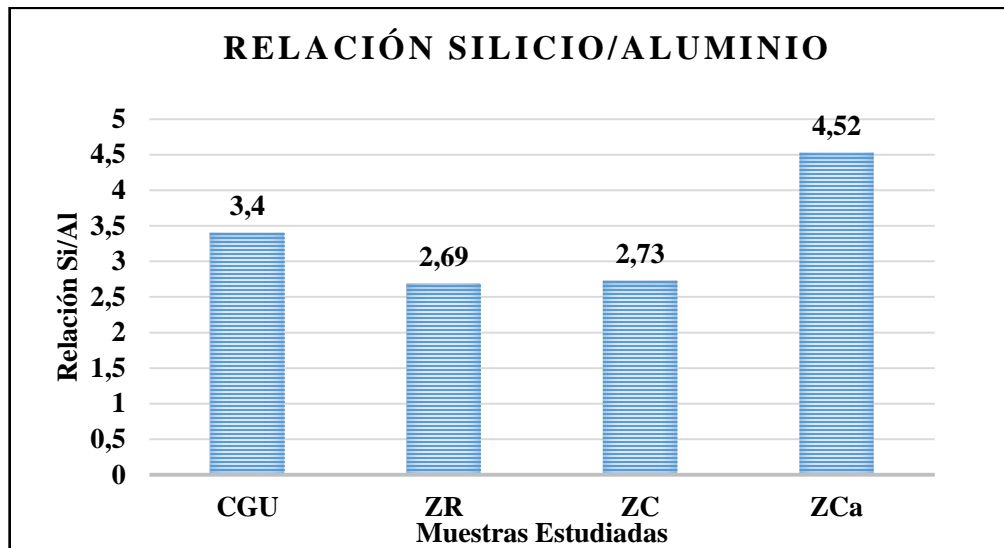


Figura 54. Esquema de comparación de la Relación Si/Al del cemento y aluminosilicatos.

Fuente: [Autor]

Al realizar una comparación entre los porcentajes de óxidos encontrados en cada uno de estos materiales con estudios realizados por varios autores se presenta el mayor porcentaje de compuesto químico contenido en las zeolitas en el  $\text{SiO}_2$  (óxido de silicio) con valores que varían entre 50% y 75% como se puede apreciar de mejor manera en la **Figura 55**, por otro lado los porcentajes encontrados en el presente estudio se encuentra entre 60% y 70% lo cual se encuentra el rango de comparación con respecto a los mencionados como se muestra en la **Figura 56**.

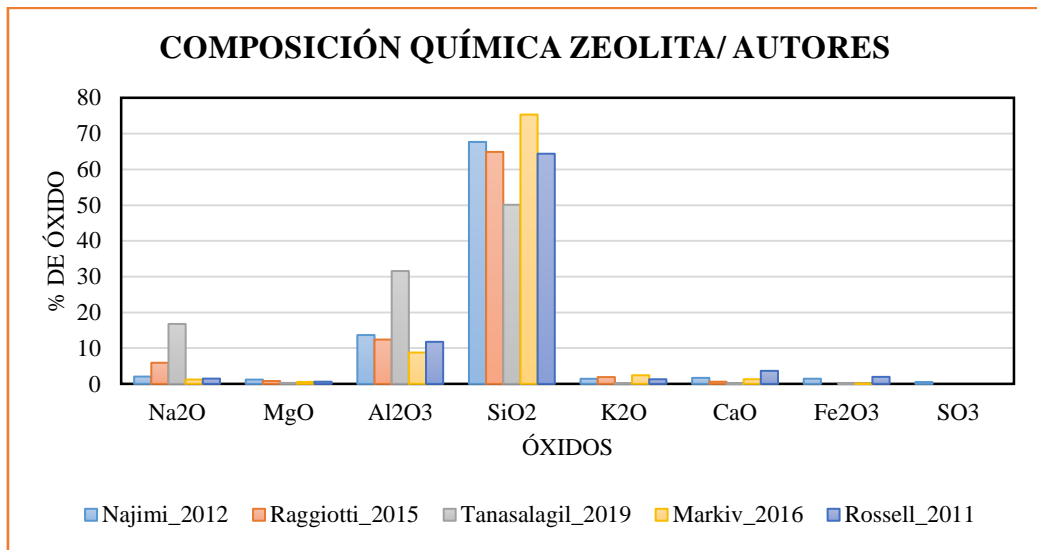


Figura 55. Composición química de las zeolitas estudiadas por varios autores.

Fuente: [Autor]

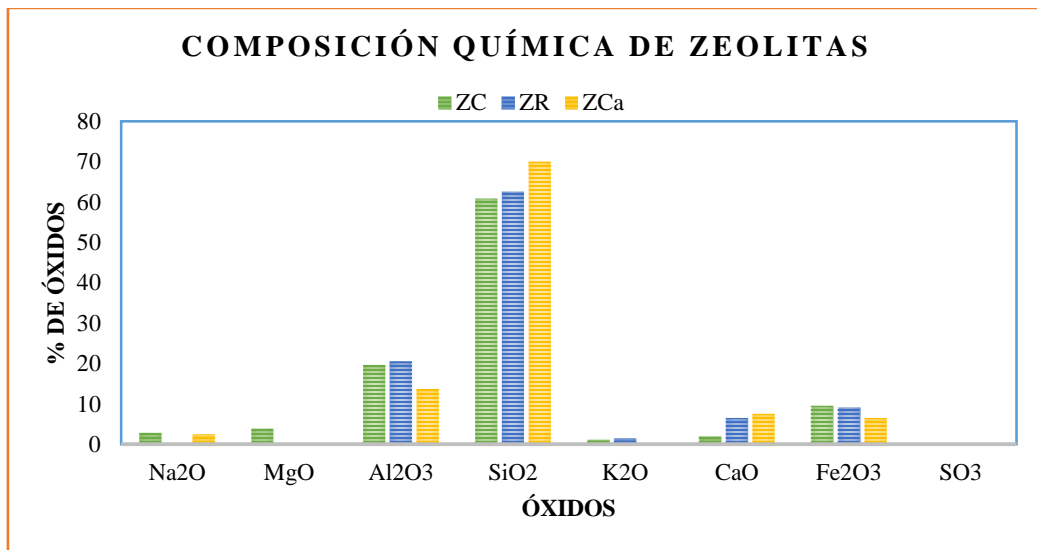
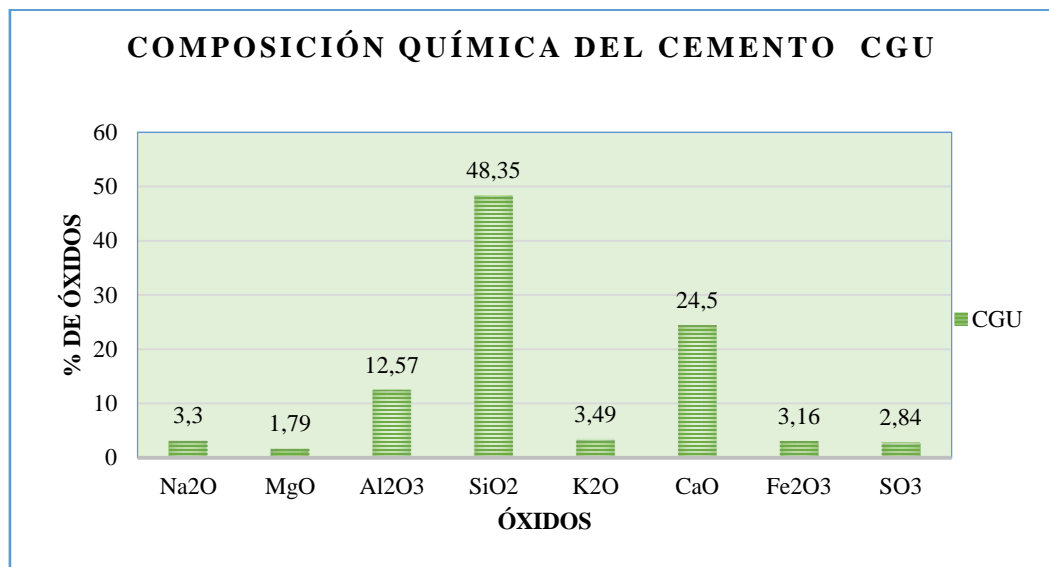


Figura 56. Composición química de las zeolitas estudiadas.

Fuente: [Autor]

Por otro lado el Cemento CGU se encuentra con un 48.35% de  $\text{SiO}_2$  dentro del porcentaje atómico y 17.01% en el porcentaje másico, y entre los porcentajes másicos encontrados en estudios realizados por varios autores están en un rango de 19% a 22%, lo cual indica las propiedades del cemento son similares tanto con el estudiado en la presente investigación como en investigaciones de distintas partes del mundo. De acuerdo a investigaciones realizadas por *Torre 2004* y *Kourid 2010* aseguran que el porcentaje de  $\text{CaO}$  varía entre 50% a 70% siendo este de mayor concentración dentro de los compuestos del cemento Portland. En la presente investigación se tiene 24.50% de este compuesto mostrado en la **Figura 57** lo cual se debe a las propiedades del cemento utilizado es decir estas varían entre países.



*Figura 57. Composición Química del Cemento Portland CGU*

**Fuente:** [Autor]

En este estudio se puede observar la mayor cantidad de óxido encontrado en el  $\text{SiO}_2$  en las zeolitas ZR, ZC y ZCa con porcentajes de 62.46%, 60.80% y 69.91% respectivamente, el cemento se encuentra con un porcentaje de 48.35% lo cual representa que cualquiera de las zeolitas cumplen con el requerimiento ya que cubren al valor del

cemento el material óptimo para la sustitución en este caso es la zeolita ZC por su mayor aproximación al porcentaje del CGU con respecto al óxido mencionado como se visualiza en la **Figura 58**.

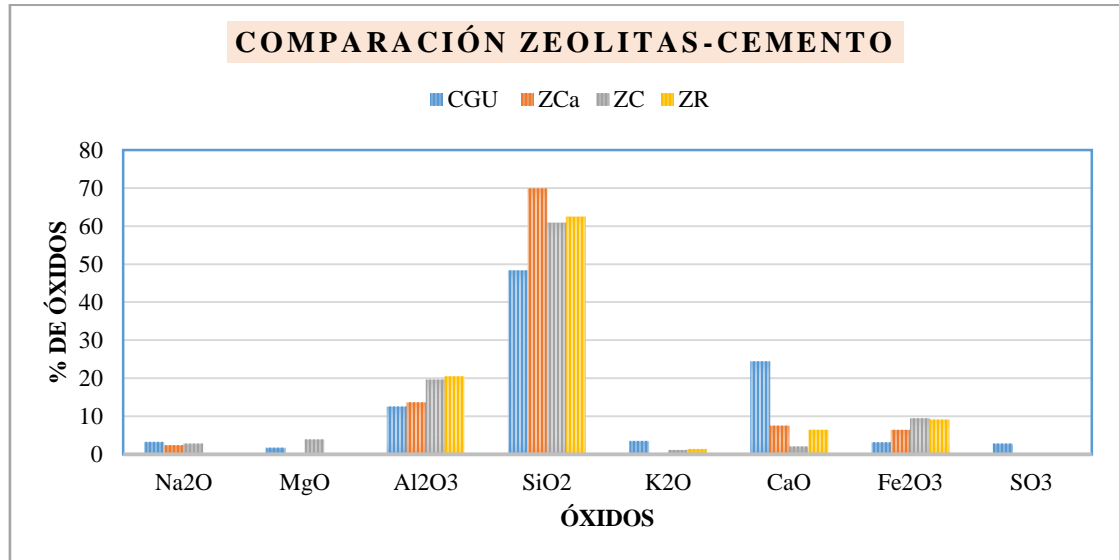


Figura 58. Composición Química Zeolitas y Cemento.

Fuente: [Autor]

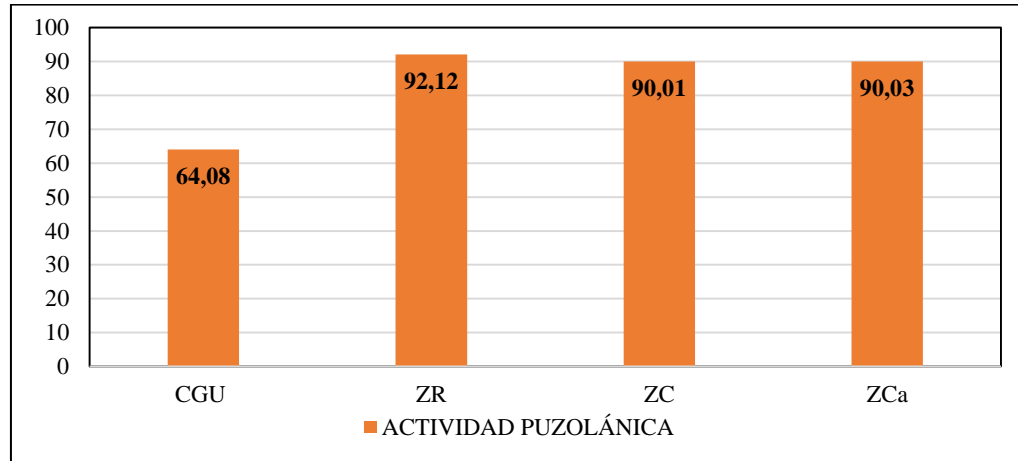
De acuerdo a la norma **ASTM C 618-03** la cual menciona la actividad puzolánica de las zeolitas se encuentran en buen estado al realizar la sumatoria de los porcentajes de óxidos principales dando este resultado mínimo 70% como se lo detalla en la **Tabla 40**, donde se confirma lo anteriormente mencionado ya que se obtiene porcentajes mayores a 90% en cada una de las zeolitas.

**Tabla 40.** Actividad Puzolánica de las Zeolitas ZR, ZC, y ZCa.

ACTIVIDAD PUZOLÁNICA ASTM C 618-03				
ÓXIDO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A. P.
<b>CGU</b>	12,57	48,35	3,16	<b>64,08</b>
<b>ZR</b>	20,5	62,46	9,16	<b>92,12</b>
<b>ZC</b>	19,68	60,8	9,53	<b>90,01</b>
<b>ZCa</b>	13,66	69,91	6,46	<b>90,03</b>

Fuente: [Autor]

Dentro de la **Figura 59** se encuentra la representación de los porcentajes de actividad puzolánica de cada una de las zeolitas estudiadas y del cemento portland tipo GU.



**Figura 59.** Actividad Pozzolánica

**Fuente:** [Autor]

### 3.4.Determinación de la Densidad de acuerdo a la Norma NTE INEN 0156 – ASTM C 188

En la **Tabla 41** se muestra los resultados de los ensayos de densidad realizados, en este caso se encuentran 11 datos de los cuales se han clasificado mediante desviación estándar, al obtener el promedio de estos valores y aplicar la **Ecuación 4** se obtiene 4 densidades principales elegidos para este estudio.

La desviación estándar de acuerdo a la **Ecuación 4** se obtiene de la siguiente manera:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (D_i - X)^2}{N}}$$

- Promedio de las densidades obtenidas en los ensayos.

$$X = \frac{\sum D}{N}$$

$$X = 3,082$$

- Cuadrado de la sumatoria de las densidad ensayadas menos el promedio de las mismas densidades.

$$\sum_i^N (D_i - X)^2 = 0,027$$

- División de la sumatoria obtenida por el número de datos ensayados.

$$\Sigma/N = 0,002$$

- **Desviación estándar**

$$\sigma = \sqrt{\Sigma} = \mathbf{0.050}$$

- Límites de rango de datos de densidad

$$\mathbf{Mínimo} = \mathbf{X} - \sigma$$

$$\text{Mínimo} = 3,032$$

$$\mathbf{Máximo} = \mathbf{X} + \sigma$$

$$\text{Máximo} = 3,131$$

**Tabla 41.** Desviación estándar de los ensayos de densidad del cemento CGU

DESVIACIÓN ESTANDAR CGU				
		(D-X) <sup>2</sup>	DENSIDAD	ENSAYOS EN EL RANGO
<b>RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE D (DENSIDAD)</b>	2,987	0,009	3,170	
	3,170	0,008	3,170	
	3,086	0,000	<b>3,086</b>	
	3,041	0,002	3,085	
	3,067	0,000	3,084	E2/CGU
	3,055	0,001	3,084	E3/CGU
	3,085	0,000	<b>3,082</b>	
	3,084	0,000	3,067	E1/CGU
	3,170	0,008	3,066	E4/CGU
	3,084	0,000	3,055	



	3,066	0,000	<b>3,041</b>
<b>X (Promedio)</b>	<b>3,082</b>	<b><math>\Sigma = 0,027</math></b>	2,987
<b>N (# Datos )</b>	11	LÍMITES DENSIDAD	<b>MÍNIMO</b>
<b><math>\Sigma/N</math></b>	0,002		3,032
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR <math>\sigma</math></b>	<b>0,050</b>		<b>MÁXIMO</b>
			3,131

Fuente: [Autor]

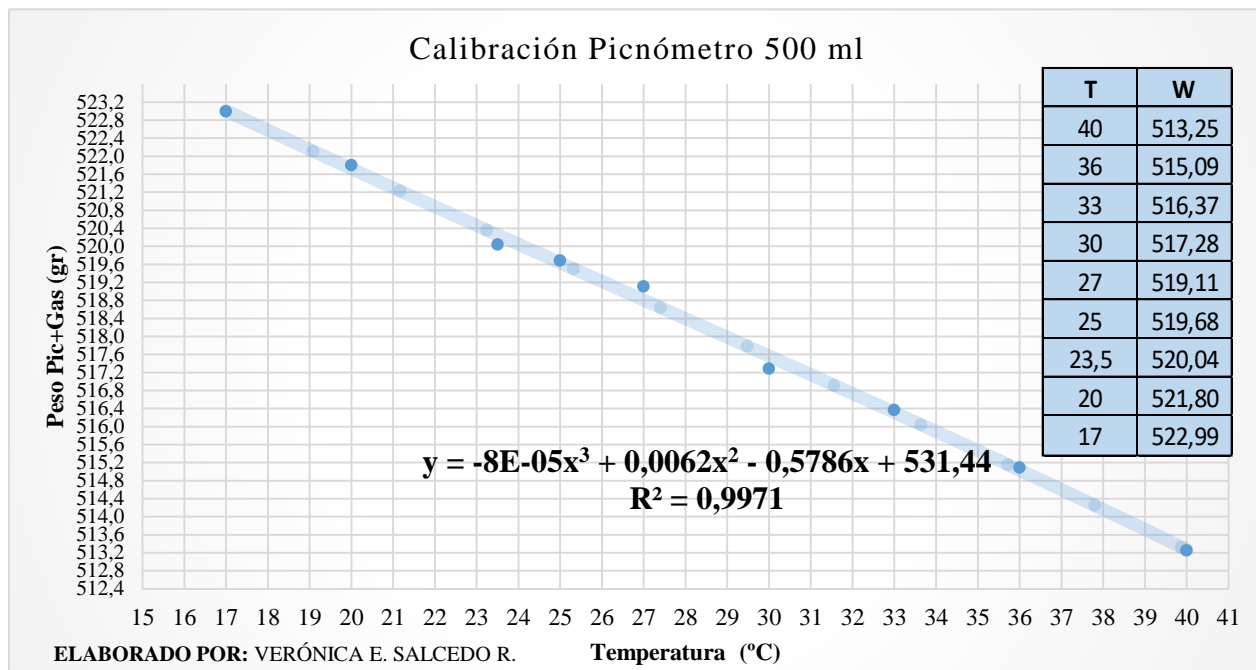
En la **Tabla 41** se muestra el promedio de los valores de densidad del CGU en color rojo, en color negro se muestra el resultado de la desviación estándar, en color azul se muestran los cuatro resultados elegidos para este estudio, correspondientes al valor más cercano al promedio calculado en el rango de los valores máximo y mínimo.

En la **Tabla 42** se encuentra la determinación de la densidad real del cemento CGU, detallando los cálculos utilizados, la densidad en este caso fue determinada por el Método de calibración del picnómetro en la cual se utiliza la ecuación de la recta indicada en la **Figura 60**.

**Tabla 42.** Densidad Real del cemento CGU

<b>MÉTODO DEL PICNÓMETRO/CALIBRACIÓN</b>		<b>ENSAYADO POR:</b>	Verónica E. Salcedo R.			
<b>NORMA</b>	NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	<b>TIPO</b>	<b>CGU</b>			
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
M1	Masa del picnómetro	gr	151,8	151,8	151,8	151,8
M2	Masa del picnómetro + Cemento	gr	215,8	215,8	215,8	215,8
M3	Masa del picnómetro + cemento + Gasolina	gr	567,85	569,14	569,34	570,88
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	gr	352,05	353,34	353,54	355,08
M5	Masa del picnómetro + 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	<b>519,18</b>	<b>520,44</b>	<b>520,65</b>	<b>522,35</b>
M6=M5-M1	Masa 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	367,38	368,64	368,85	370,55
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la Gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0,735	0,737	0,738	0,741
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por el cemento	gr	15,33	15,30	15,31	15,47
MC=M2-M1	Masa de la cemento	gr	64	64	64	64
	Temperatura	°C	26	23	22,5	18,5
VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm <sup>3</sup>	20,866	20,750	20,752	20,876
DRC=MC/VG	Densidad Real del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	3,067	3,084	3,084	3,066
DRP	Densidad Real Promedio	gr/cm <sup>3</sup>	<b>3,075</b>			

Fuente: [Autor]



**Figura 60.** Curva de calibración Picnómetro 500 ml

**Fuente:** [Verónica E. Salcedo R.]

En la **Tabla 42** se puede observar en negrillas los resultados de la masa del picnómetro más gasolina obtenida por medio de la ecuación de la recta mostrada en la **Figura 60**.

Como lo mencionado anteriormente en la **Tabla 43** se muestra la desviación estándar para la zeolita ZR donde se encuentra 5 densidades, se observa el promedio de los valores de densidad en color rojo, en color negro se muestra el resultado de la desviación estándar, en color azul se muestran tres resultados elegidos para este estudio, correspondientes al valor más cercano al promedio calculado en el rango de los valores máximo y mínimo.

**Tabla 43.** Desviación estándar de los ensayos de densidad de la zeolita ZR

DESVIACIÓN ESTÁNDAR ZR				
		(D-X) <sup>2</sup>	DENSIDAD	ENSAYOS EN EL RANGO
<b>D (DENSIDAD)</b>	2,335	0,001	2,335	
	2,305	0,000	2,307	E3/ZR
	2,299	0,000	2,305	E1/ZR
	2,307	0,000	2,299	

	2,251	0,002	<b>2,299</b>	E2/ZR
X (Promedio)	<b>2,299</b>	$\Sigma = 0,004$	2,251	
N (# Datos )	5	LÍMITES DE DENSIDAD	<b>MÍNIMO</b>	
$\Sigma/N$	0,001		2,272	
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR <math>\sigma</math></b>	<b>0,027</b>		<b>MÁXIMO</b>	
			2,327	

Fuente: [Autor]

En la **Tabla 44** se muestra la determinación de la densidad real de la zeolita ZR, con sus respectivos cálculos, estos ensayos se realizaron siguiendo la norma NTE INEN 0156 es decir mediante el método tradicional.

**Tabla 44.** Densidad Real de la Zeolita ZR.

<b>OBSERVACIONES: METODO PICNÓMETRO</b>		<b>TIPO</b>	<b>ZR</b>		
<b>ENSAYADO POR</b>	Doris V. Yanchaguano T.	<b>FECHA</b>	05/02/2020	04/02/2020	04/02/2020
<b>NORMA</b>	NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	<b>HORA</b>	10:50	10:30	12:30
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>E2</b>	<b>E6</b>	<b>E7</b>
M1	Masa del picnómetro	gr	151,83	161,99	161,99
M0	Masa del picnómetro + zeolita+ aire + gasolina	gr	564,55	573,6	573,05
M2	Masa del picnómetro + zeolita	gr	215,83	225,99	225,99
M3	Masa del picnómetro + zeolita + Gasolina	gr	565,64	574,85	574,88
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	gr	349,81	348,86	348,89
M5	Masa del picnómetro + 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	522,21	531,42	531,37
M6=M5-M1	Masa 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	370,38	369,43	369,38
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la Gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0,741	0,739	0,739
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	gr	20,57	20,57	20,49
MC=M2-M1	Masa de la zeolita	gr	64,00	64,00	64,00
T	Temperatura	°C	23	23	23
VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm <sup>3</sup>	27,77	27,84	27,74
DRC=MC/VG	Densidad Real de la zeolita	gr/cm <sup>3</sup>	2,305	2,299	2,307
DRP	Densidad Real Promedio	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2,304</b>		

Fuente: [Autor]

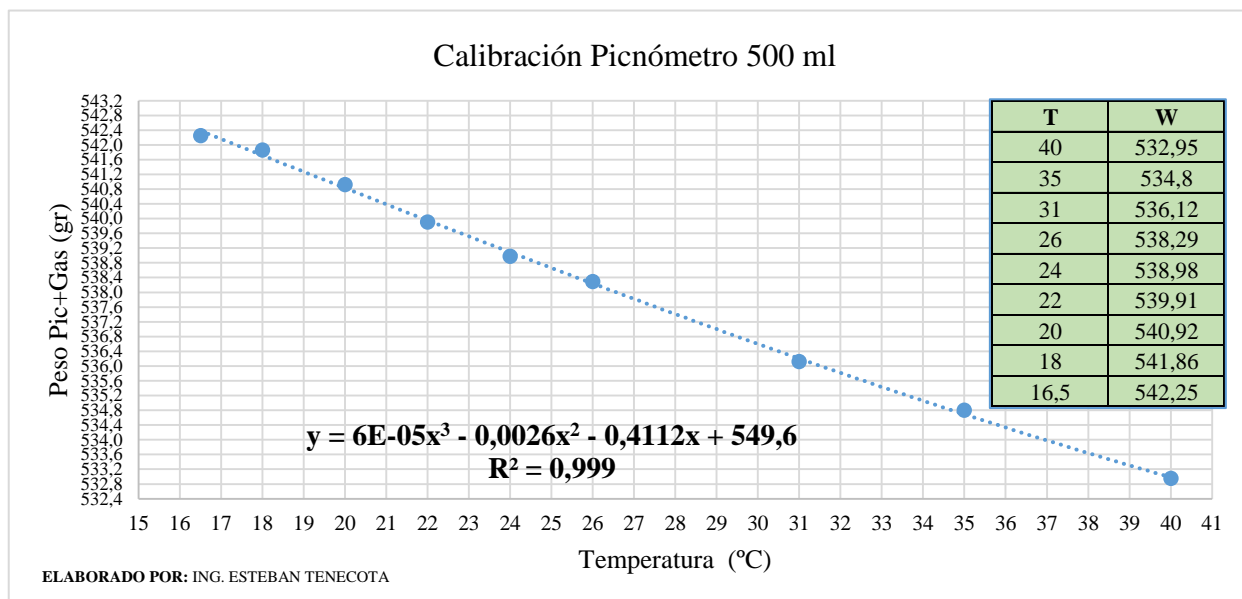
En la **Tabla 45** se presenta la desviación estándar para la zeolita ZCa, con 13 densidades obtenidas por los ensayos realizados, se observa el promedio de los valores de densidad en color rojo, en color negro se muestra el resultado de la desviación estándar, en color azul se muestran cuatro resultados elegidos para este estudio, correspondientes al valor más cercano al promedio calculado en el rango de los valores máximo y mínimo.

**Tabla 45.** Desviación estándar de los ensayos de densidad de la zeolita ZCa, Método del Picnómetro – Curva de Calibración

DESVIACIÓN ESTANDAR ZCa				
		(D-X) <sup>2</sup>	DENSIDAD	ENSAYOS EN EL RANGO
D (DENSIDAD)	2,328	0,000	2,375	
	2,375	0,002	2,363	
	2,323	0,000	2,360	
	2,360	0,001	<b>2,336</b>	
	2,300	0,001	<b>2,335</b>	E4/ZCa
	2,363	0,001	<b>2,332</b>	E3/ZCa
	2,302	0,001	<b>2,332</b>	
	2,325	0,000	<b>2,328</b>	E1/ZCa
	2,332	0,000	<b>2,325</b>	E2/ZCa
	2,319	0,000	2,323	
	2,336	0,000	2,320	
	2,335	0,000	<b>2,319</b>	
	2,320	0,000	2,302	
	X (Promedio)	<b>2,332</b>	$\Sigma = 0,006$	2,300
N (# Datos )	13	LÍMITES DENSIDAD	<b>MÍNIMO</b>	
$\Sigma/N$	0,000		2,311	
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR <math>\sigma</math></b>	<b>0,021</b>		<b>MÁXIMO</b>	
			2,354	

Fuente: [Autor]

En la **Tabla 46** se muestra la densidad real de la ZCa realizado mediante el método por curva de calibración, al utilizar la ecuación de la recta indicada en la **Figura 61** con sus respectivos cálculos se tienen los resultados de la fila M5, valores presentados en negrillas.



**Figura 61.** Curva de calibración Picnómetro 500 ml- PIC. 7/16

**Fuente:** [Esteban Tenecota]

**Tabla 46.** Densidad Real de la Zeolita ZCa, Método del Picnómetro – Curva de Calibración

MÉTODO DEL PICNÓMETRO/ CALIBRACIÓN		TIPO	ZCa			
<b>ENSAYADO POR</b>	Doris V. Yanchaguano T.	<b>FECHA</b>	06/02/2020	07/02/2020	07/02/2020	07/02/2020
<b>NORMA</b>	NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	<b>HORA</b>	11:50	10:40	11:00	12:40
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
M1	Masa del picnómetro	gr	169,62	169,62	169,62	169,62
M2	Masa del picnómetro + zeolita	gr	233,62	233,62	233,62	233,62
M3	Masa del picnómetro + zeolita + Gasolina	gr	578,18	581,91	582,38	583,63
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	gr	344,56	348,29	348,76	350,01
M5	Masa del picnómetro + 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	<b>534,23</b>	<b>538,21</b>	<b>538,63</b>	<b>539,93</b>
M6=M5-M1	Masa 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	364,61	368,59	369,01	370,31
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la Gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0,729	0,737	0,738	0,741
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	gr	20,05	20,30	20,25	20,30
MC=M2-M1	Masa de la zeolita	gr	64,00	64,00	64,00	64,00
	Temperatura	°C	36	26	25	22

VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm <sup>3</sup>	27,49	27,53	27,44	27,41
DRC=MC/VG	Densidad Real de la zeolita	gr/cm <sup>3</sup>	2,328	2,325	2,332	2,335
DRP	Densidad Real Promedio	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2,330</b>			

**Fuente:** [Autor]

Por otro lado al aplicar el método siguiendo la Norma NTE INEN 0156 como se indica en la **Tabla 47** se tiene dos valores de densidad a la temperatura normada de 23°C, donde al realizar una comparación entre estos se ve una diferencia de estos ensayos se ve una diferencia de 0.123 g/cm<sup>3</sup> entre los dos métodos, pero de igual manera cumplen con las condiciones de la densidad de las zeolitas en el rango 1,9 a 2,8 g/cm<sup>3</sup> según estudios de Torres en el 2015[76].

**Tabla 47.** Densidad Real de la Zeolita ZCa, Método del Picnómetro Tradicional

MÉTODO DEL PICNÓMETRO		TIPO	ZCa	
<b>ENSAYADO POR:</b>	Doris V. Yanchaguano T.	<b>FECHA</b>	06/02/2020	07/02/2020
<b>NORMA</b>	NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	<b>HORA</b>	10:20	10:20
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>
M1	Masa del picnómetro	gr	161,99	161,99
M0	Masa del picnómetro + zeolita + aire + gasolina	gr	573,27	572,74
M2	Masa del picnómetro + zeolita	gr	225,99	225,99
M3	Masa del picnómetro + zeolita + Gasolina	gr	575,27	575,23
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	gr	349,28	349,24
M5	Masa del picnómetro + 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	532,82	532,69
M6=M5-M1	Masa 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	370,83	370,70
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la Gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0,742	0,741
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	gr	21,55	21,46
MC=M2-M1	Masa de la zeolita	gr	64,00	64,00
	Temperatura	°C	23	23

VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm <sup>3</sup>	29,06	28,95
DRC=MC/VG	Densidad Real de la zeolita	gr/cm <sup>3</sup>	2,203	2,211
DRP	Densidad Real Promedio	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2,207</b>	

Fuente: [Autor]

De acuerdo a la ficha técnica la Calmosacorp S.A. indica la densidad con un valor de 2.10 gr/cm<sup>3</sup> [74] cuyo valor es menor a los resultados obtenidos con los diferentes ensayos de densidad realizados, es decir el material está en buenas condiciones para ser elegido como reemplazo del cemento.

Dentro de la **Tabla 48** se presenta la desviación estándar para la zeolita ZC, con 5 densidades obtenidas por los ensayos realizados, se observa el promedio de los valores de densidad en color rojo, en color negro se muestra el resultado de la desviación estándar, en color azul se muestran cuatro resultados elegidos para este estudio, correspondientes al valor más cercano al promedio calculado en el rango de los valores máximo y mínimo.

**Tabla 48.** Desviación estándar de los ensayos de densidad de la zeolita ZC, Método del Picnómetro – Curva de Calibración

DESVIACIÓN ESTANDAR ZC				
		(D-X) <sup>2</sup>	DENSIDAD	ENSAYOS EN EL RANGO
<b>D (DENSIDAD)</b>	2,338	0,000	2,368	
	2,346	0,000	<b>2,346</b>	E2/ZC
	2,334	0,000	<b>2,345</b>	
	2,368	0,001	<b>2,338</b>	E1/ZC
	2,337	0,000	<b>2,337</b>	E4/ZC
X (Promedio)	<b>2,345</b>	$\Sigma = 0,001$	<b>2,334</b>	E3/ZC
N (# Datos )	5	LÍMITES DENSIDAD	<b>MÍNIMO</b>	
$\Sigma/N$	0,000		2,332	
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR <math>\sigma</math></b>	<b>0,012</b>		<b>MÁXIMO</b>	
			2,357	

Fuente: [Autor]

Al igual que los ensayos anteriores en la **Tabla 49** se encuentra los ensayos de densidad real de la zeolita ZC, con el método de la curva de calibración, al utilizar la ecuación presenta en la **Figura 61** con la cual se obtienen los valores presentados en negrillas en la misma tabla.

**Tabla 49.** Densidad Real de la Zeolita ZC, Método del Picnómetro – Curva de Calibración

MÉTODO DEL PICNÓMETRO		TIPO	ZC			
<b>ENSAYADO POR</b>	Doris Yanchaguano	<b>FECHA</b>	12/02/2020	12/02/2020	12/02/2020	12/02/2020
<b>NORMA</b>	NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	<b>HORA</b>	16:42	16:59	17:13	17:38
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
M1	Masa del picnómetro	gr	169,62	169,62	169,62	169,62
M2	Masa del picnómetro + zeolita	gr	233,62	233,62	233,62	233,62
M3	Masa del picnómetro + zeolita + Gasolina	gr	583,25	579,96	580,42	585,75
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	gr	349,63	346,34	346,80	352,13
M5	Masa del picnómetro + 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	<b>539,50</b>	<b>535,94</b>	<b>536,54</b>	<b>542,15</b>
M6=M5-M1	Masa 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	369,88	366,32	366,92	372,53
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la Gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0,740	0,733	0,734	0,745
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	gr	20,25	19,98	20,12	20,40
MC=M2-M1	Masa de la zeolita	gr	64,00	64,00	64,00	64,00
	Temperatura	°C	23	31,5	30	17
VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm <sup>3</sup>	27,37	27,27	27,42	27,38
DRC=MC/VG	Densidad Real de la zeolita	gr/cm <sup>3</sup>	2,338	2,346	2,334	2,337
DRP	Densidad Real Promedio	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2,339</b>			

Fuente: [Autor]



En la **Tabla 50** se verifica la similitud entre los ensayos de densidad real de la zeolita ZC realizados mediante el método tradicional siguiendo la Norma NTE INEN 0156 en comparación con los cálculos realizados en la **Tabla 49**.

**Tabla 50.** Densidad Real de la Zeolita ZC, Método del Picnómetro Tradicional

MÉTODO DEL PICNÓMETRO		TIPO	ZC	
<b>ENSAYADO POR:</b>	Doris Yanchaguano	<b>FECHA</b>	13/02/2020	13/02/2020
<b>NORMA</b>	NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	<b>HORA</b>	15:11	16:06
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>
M1	Masa del picnómetro	gr	169,62	169,62
M0	Masa del picnómetro + zeolita+ aire + gasolina	gr	582,54	585,91
M2	Masa del picnómetro + zeolita	gr	233,62	233,62
M3	Masa del picnómetro + zeolita + Gasolina	gr	583,73	583,76
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	gr	350,11	350,14
M5	Masa del picnómetro + 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	539,61	539,73
M6=M5-M1	Masa 500cm <sup>3</sup> Gasolina	gr	369,99	370,11
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la Gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0,740	0,740
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	gr	19,88	19,97
MC=M2-M1	Masa de la zeolita	gr	64,00	64,00
	Temperatura	°C	23	23
VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm <sup>3</sup>	26,87	26,98
DRC=MC/VG	Densidad Real de la zeolita	gr/cm <sup>3</sup>	2,382	2,372
DRP	Densidad Real Promedio	gr/cm <sup>3</sup>	2,377	

Fuente: [Autor]

La diferencia entre los ensayos realizados de los dos métodos es 0.038 lo cual indica que los datos son similares, pero no han cumplido con la normativa establecida INEN 0156 la cual dice que la diferencia entre ensayos es de  $\pm 0.03$  elaboradas en un mismo laboratorio y por el mismo laboratorista, por otro lado se cumple con la densidad de la Zeolita especificada por Torres en el 2015 [76].

En la **Tabla 51** se indica el resumen de los ensayos de densidad con los parámetros más relevantes y de mayor interés.

**Tabla 51.** Resumen de los ensayos de Densidad

<b>DENSIDAD NORMA INEN 0156</b>				
<b>NORMA</b>	<b>NTE INEN 0156 - ASTM C 188-03</b>			
<b>Datos</b>	<b>T</b>	<b>DRC</b>	<b>DRP</b>	<b>TIPO</b>
<b>Unidad</b>	<b>°C</b>	<b>g/cm3</b>	<b>g/cm3</b>	
<b>MÉTODO PICNÓMETRO/ CURVA DE CALIBRACIÓN</b>				
E1	26	3,067	3,075	<b>CGU</b>
E2	23	3,084		
E3	22,5	3,084		
E4	18,5	3,066		
Ensayado por: Verónica Salcedo				
<b>MÉTODO PICNÓMETRO</b>				
E1	23	2,305	2,304	<b>ZR</b>
E2	23	2,299		
E3	23	2,307		
Ensayado por: Doris Yanchaguano				
<b>MÉTODO PICNÓMETRO/ CURVA DE CALIBRACIÓN</b>				
E1	36	2,328	2,330	<b>ZCa</b>
E2	26	2,325		
E3	25	2,332		
E4	22	2,335		
<b>MÉTODO PICNÓMETRO</b>				
E1	23	2,203	2,207	<b>ZCa</b>
E2	23	2,211		
Ensayado por: Doris Yanchaguano				
<b>MÉTODO PICNÓMETRO/ CURVA DE CALIBRACIÓN</b>				
E1	23	2,338	2,339	<b>ZC</b>
E2	31,5	2,346		
E3	30	2,334		
E4	17	2,337		
<b>MÉTODO PICNÓMETRO</b>				
E1	23	2,382	2,377	<b>ZC</b>
E2	23	2,372		
Ensayado por: Doris Yanchaguano				

**Fuente:** [Autor]

### 3.4.1. Análisis de densidades

En la **Tabla 42** se tiene 4 densidades del cemento CGU y el promedio de estas, siendo los resultados los siguientes: 3.067, 3.084, 3.084, 3.066 g/cm<sup>3</sup> cuyo promedio es 3.075 g/cm<sup>3</sup> dicho valor representa el cumplimiento con lo estipulado en la norma NTE INEN 0156 la cual indica que el rango de densidad debe estar entre 2.9 y 3.15 g/cm<sup>3</sup>.

Con respecto a los ensayos de densidad de la ZR en la **Tabla 43** se encuentra tres densidades y el promedio de estas de acuerdo a la Norma NTE INEN 0156, ensayos realizados a 23°C de acuerdo a esta norma, dando los siguientes resultados: 2.305, 2.299, 2.307 g/cm<sup>3</sup> con un promedio entre ellos de 2.304 g/cm<sup>3</sup>, lo cual cumple con los lineamientos de la norma utilizada que indica una diferencia entre ensayos de  $\pm 0.03$  además cumplen con las condiciones presentadas en *Torres 2015* que indica un rango de densidad de las zeolitas entre 1.9 a 2.8 g/cm<sup>3</sup> [76].

En la **Tabla 46** se tiene la densidad de la ZCa con los cálculos respectivos con lo cual se obtienen los siguientes resultados: 2.328, 2.325, 2.332, 2.335 g/cm<sup>3</sup> dando un promedio entre estos valores de 2.330 g/cm<sup>3</sup>. Estos resultados se encuentran cumpliendo con lo establecido en la Norma y por el estudio de Torres 2015 mostrado anteriormente. De la misma manera en la **Tabla 47** se tiene densidades de la ZCa en este caso ensayos realizados por el método tradicional en donde se obtuvieron resultados de 2.203 y 2.211 g/cm<sup>3</sup> con un promedio de 2.207 g/cm<sup>3</sup> cumpliendo estos valores con lo establecido anteriormente y con los datos de la ficha técnica de Calmosacorp. S.A. donde se presenta una densidad de 2.10 g/cm<sup>3</sup>.

Dentro de los ensayos de densidad de la zeolita ZC presentados en la **Tabla 49** donde se utilizaron los dos métodos se tiene resultados de: 2.338, 2.346, 2.334, 2.337 g/cm<sup>3</sup> teniendo de dichos valores un promedio de 2.339 g/cm<sup>3</sup>. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de la norma establecida para densidad se tienen los siguientes resultados: 2.382 y 2.372 g/cm<sup>3</sup> con un promedio de 2.377 g/cm<sup>3</sup> como se muestra en la **Tabla 50** dentro de estos resultados se realizar una comparación con el rango de densidades establecido por *Torres 2015* que se encuentra entre 1.9 y 2.8 g/cm<sup>3</sup>.

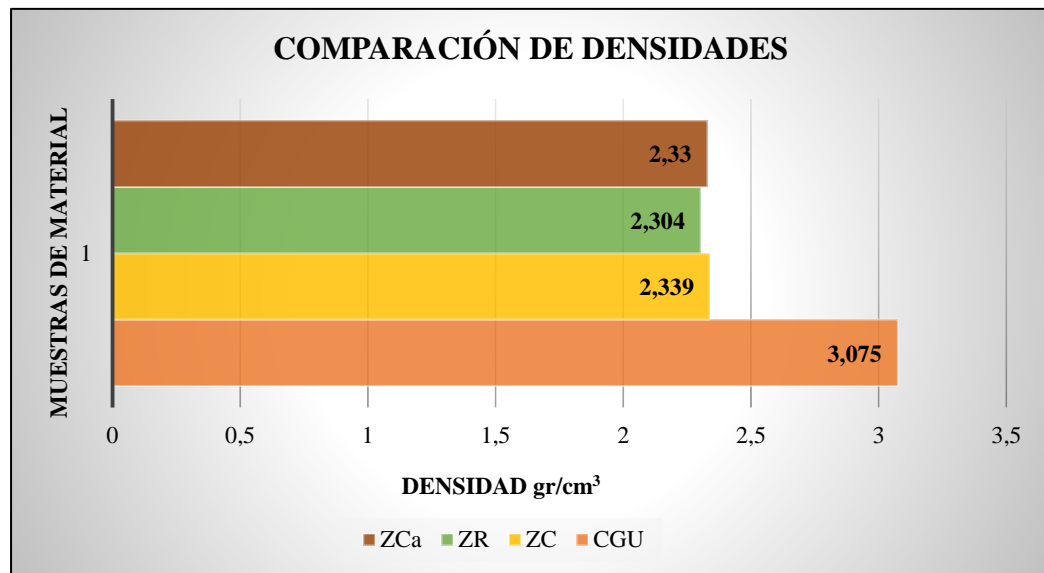


Figura 62. Gráfico Comparativo Densidades

Fuente: [Autor]

Al tener el promedio de las densidades de cada una de las zeolitas estudiadas como son ZR, ZCa y ZC las cuales tienen resultados de  $2.304 \text{ g/cm}^3$ ,  $2.330 \text{ g/cm}^3$  y  $2.377 \text{ g/cm}^3$  respectivamente se realiza una comparación con estudios realizados para dicha sustitución en donde la densidad se encuentra en un rango de  $1.9$  a  $2.8 \text{ g/cm}^3$  cumpliendo con lo estipulado por *Torre en 2004*. En comparación con la densidad obtenida del cemento CGU el cual tiene un valor de  $3.075 \text{ g/cm}^3$ , dicho cemento cumple con lo establecido donde la densidad varía entre  $2.9$  y  $3.15 \text{ g/cm}^3$  se presenta gráficamente en la **Figura 62**. Por medio y en comparación de la literatura estudiada donde se encuentran reemplazos de zeolita por cemento se afirma que en el presente trabajo se puede realizar un análisis utilizando cualquiera de las tres zeolitas estudiadas especialmente la ZC ya que es la zeolita con mayor densidad que las demás por otro lado se tiende a utilizar la zeolita de menor densidad ya que según *Costafreda en 2018* mientras menor es la densidad mejores propiedades adquiere en contacto con el cemento.

### 3.5.Determinación de la Finura por el método de Tamizado Seco según la norma NTE INEN 0489

En la **Tabla 52** se presenta la desviación estándar de los ensayos de finura realizados, mostrando en color rojo el promedio de los 4 ensayos, en color negro la desviación estándar obtenida y en color azul los resultados de finura elegidos para este estudio, cuyos valores se encuentran en el rango de límites máximo y mínimo establecido mediante cálculos realizados como se muestra en el ensayo anterior, utilizando la **Ecuación 4**.

**Tabla 52.** Desviación estándar de los ensayos de finura por método de tamizado seco del Cemento CGU

DESVIACIÓN ESTANDAR CGU				
		(F-X) <sup>2</sup>	% FINURA	ENSAYOS EN EL RANGO
<b>F (%FINURA)</b>	99,960	0,000	99,960	1/CGU
	99,940	0,000	99,960	4/CGU
	99,940	0,000	99,950	
	99,960	0,000	99,940	2/CGU
X (Promedio)	99,950	$\Sigma = 0,000$	99,940	3/CGU
N (# Datos )	4	LÍMITES FINURA	MÍNIMO	
$\Sigma/N$	0,000		99,940	
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR <math>\sigma</math></b>	<b>0,010</b>		MÁXIMO	
			99,960	

Fuente: [Autor]

Dentro de la **Tabla 53** se encuentra los resultados de los ensayos de finura del cemento CGU, donde se observa el número de repeticiones de un minuto en cada ensayo realizado, el peso en la fuente y el residuo en el tamiz así como el promedio de finura obtenido. Las tablas detalladas de cada ensayo se presentan en el **Anexo 3**.

**Tabla 53.** Finura por Método de Tamizado seco del cemento CGU

FINURA POR MÉTODO TAMIZADO SECO INEN 489						
NORMA	NTE INEN 0489 - ASTM C184-82					
Cemento CGU						
Datos	Peso de material	Repeticiones 1min	Peso en fuente por norma	Peso residuo del material	Finura	Promedio
	<b>m</b>	<b>#</b>	<b>w&lt;0,05</b>	<b>mR</b>	<b>F</b>	<b>X</b>
Unidad	g	NA	g	g	%	%
1/CGU	50	3	0,03	0,02	99,96	<b>99,95</b>
2/CGU	50	3	0,03	0,03	99,94	
3/CGU	50	3	0,02	0,03	99,94	
4/CGU	50	3	0,04	0,02	99,96	

Fuente: [Autor]

Al observar los resultados de finura en porcentaje se tiene una diferencia entre ensayos de 0.02%, cumpliendo con la norma establecida, en este caso se tiene 3 repeticiones de un minuto en cada ensayo.

En la **Tabla 54** se muestra la desviación estándar de los ensayos de la finura de la Zeolita ZR, en este caso se tienen 8 valores, en color rojo se presenta el promedio de estos, en color negro se tiene la desviación estándar y en color azul se encuentra los resultados escogidos para la presente investigación, dichos valores están dentro del rango máximo y mínimo, en este caso se escoge valores próximos al promedio y de mínima variación entre ellos.

**Tabla 54.** Desviación estándar de los ensayos de finura por método de tamizado seco de la Zeolita ZR

DESVIACIÓN ESTÁNDAR ZR				
		(F-X) <sup>2</sup>	% FINURA	ENSAYOS EN EL RANGO
F (%FINURA)	98,760	0,735	99,860	
	99,840	0,050	99,860	
	99,820	0,041	99,840	
	99,760	0,020	99,820	
	99,240	0,143	99,800	
	99,800	0,033	99,760	
	99,860	0,059	99,618	

	99,860	0,059	99,240
<b>X (Promedio)</b>	<b>99,618</b>	$\Sigma=1,140$	98,760
N (# Datos )	8	LÍMITES FINURA	<b>MÍNIMO</b>
$\Sigma/N$	0,142		99,240
<b>DESVIACION ESTANDAR <math>\sigma</math></b>	<b>0,377</b>		<b>MÁXIMO</b>
			99,995

Fuente: [Autor]

En la **Tabla 55** se muestran los resultados de los ensayos de finura de la Zeolita ZR en porcentaje donde se observa una variación máxima de 0.06%, el número de repeticiones de ensayos de un minuto varía de 5 a 6, el peso en la fuente es nulo y el residuo del tamiz se encuentra de 0.07 a 0.10 gramos. Las tablas de datos de cada ensayo se presentan en el **Anexo 3**.

**Tabla 55.** Finura por Método de Tamizado seco de la Zeolita ZR

FINURA POR METODO TAMIZADO SECO INEN 489						
NORMA	NTE INEN 0489 - ASTM C184-82					
TIPO	Zeolita ZR					
Datos	Peso de material	Repeticiones 1min	Peso en fuente por norma	Peso residuo del material	Finura	Promedio
	<b>m</b>	<b>#</b>	<b>w&lt;0,05</b>	<b>mR</b>	<b>F</b>	<b>X</b>
Unidad	g	NA	g	g	%	%
<b>1/ZR</b>	50	6	0,03	0,08	99,84	<b>99,83</b>
<b>2/ZR</b>	50	5	0,02	0,09	99,82	
<b>3/ZR</b>	50	5	0,00	0,1	99,80	
<b>4/ZR</b>	50	3	0,00	0,07	99,86	

Fuente: [Autor]

Por medio de la **Tabla 56** se presenta la desviación estándar de los ensayos de finura de la Zeolita ZCa, al igual que lo indicado anteriormente se tiene 8 ensayos realizados de los cuales se escogieron 4 de estos ubicados dentro del rango máximo y mínimo, donde en color rojo se tiene el promedio de los valores de ensayos realizados, en color negro la

desviación estándar obtenida y en color azul los cuatro valores elegidos para la presente investigación.

**Tabla 56.** Desviación estándar de los ensayos de finura por método de tamizado seco de la Zeolita ZCa

<b>DESVIACIÓN ESTANDAR ZCa</b>					
		(F-X) <sup>2</sup>	% FINURA	ENSAYOS EN EL RANGO	
<b>F (%FINURA)</b>	99,740	0,055	99,920		
	98,820	0,469	99,900		
	98,580	0,856	99,780	2/ZCa	
	99,780	0,076	99,740	1/ZCa	
	99,560	0,003	99,740	4/ZCa	
	99,900	0,156	99,560	3/ZCa	
	99,920	0,172	99,505		
	99,740	0,055	98,820		
X (Promedio)	99,505	$\Sigma = 1,842$	98,580		
N (# Datos )	8	LÍMITES FINURA	<b>MÍNIMO</b>		
$\Sigma/N$	0,230		99,025		
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR <math>\sigma</math></b>	<b>0,480</b>		<b>MÁXIMO</b>		
			99,985		

Fuente: [Autor]

La **Tabla 57** presenta los resultados de los porcentajes de finura de la zeolita ZCa, donde existe una diferencia máxima entre ensayos de 0.22% y un promedio entre ellos de 99.71%, el número de repeticiones de un minuto varía de 4 a 10 esto dependiendo de la fuerza utilizada para realizar cada uno de los ensayos.

El proceso detallado de cada uno de los ensayos se encuentra en las tablas ubicadas en el **Anexo 3**.



**Tabla 57.** Finura por Método de Tamizado seco de la Zeolita ZCa

FINURA POR METODO TAMIZADO SECO INEN 489						
NORMA	NTE INEN 0489 - ASTM C184-82					
TIPO	Zeolita ZCa					
Datos	Peso de material	Repeticiones 1min	Peso en fuente por norma	Peso residuo del material	Finura	Promedio
	m	#	w<0,05	mR	F	X
Unidad	g	NA	g	g	%	%
<b>1/ZCa</b>	50	4	0,00	0,13	99,74	<b>99,71</b>
<b>2 /ZCa</b>	50	10	0,01	0,11	99,78	
<b>3 /ZCa</b>	50	6	0,01	0,22	99,56	
<b>4/ZCa</b>	50	6	0,04	0,13	99,74	

Fuente: [Autor]

En la **Tabla 58** se reporta la desviación estándar de los ensayos de finura de la Zeolita ZC, se presenta 4 ensayos de los cuales de acuerdo a los resultados obtenidos se escogen 2 ya que estos están dentro del rango máximo y mínimo, dentro de esta tabla en color rojo se encuentra el promedio de los ensayos, en color negro la desviación estándar y en color azul los resultados escogidos para el presente estudio.

**Tabla 58.** Desviación estándar de los ensayos de finura por método de tamizado seco de la Zeolita ZC

DESVIACIÓN ESTANDAR ZC				
		(F-X) <sup>2</sup>	% FINURA	ENSAYOS EN EL RANGO
<b>F (%FINURA)</b>	99,940	0,006	99,940	
	99,780	0,007	<b>99,920</b>	2/ZC
	99,820	0,002	<b>99,865</b>	
	99,920	0,003	<b>99,820</b>	1/ZC
X (Promedio)	<b>99,865</b>	$\Sigma=0,018$	99,780	
N (# Datos )	4	LÍMITES FINURA	<b>MÍNIMO</b>	
$\Sigma/N$	0,004		99,798	
<b>DESVIACIÓN ESTANDAR <math>\sigma</math></b>	<b>0,067</b>		<b>MÁXIMO</b>	
			99,932	

Fuente: [Autor]

La **Tabla 59** muestra los ensayos de finura de la Zeolita ZC en porcentajes donde la diferencia máxima entre ensayos es de 0.10%, se tiene un promedio de 99.87% entre dichos ensayos y el número de repeticiones de un minuto están entre 7 y 10, lo cual representa equilibrio estos.

Las tablas de datos de cada ensayo se presentan en el **Anexo 3**.

**Tabla 59.** Finura por Método de Tamizado seco de la Zeolita ZC

FINURA POR METODO TAMIZADO SECO INEN 489						
NORMA	NTE INEN 0489 - ASTM C184-82					
TIPO	Zeolita ZC					
Datos	Peso de material	Repeticiones 1min	Peso en fuente por norma	Peso residuo del material	Finura	Promedio
	m	#	<0,05	mR	F	X
Unidad	g	NA	g	g	%	%
<b>1/ZC</b>	50	10	0,04	0,09	99,82	<b>99,87</b>
<b>2/ZC</b>	50	7	0,03	0,04	99,92	

Fuente: [Autor]

### 3.5.1. Análisis de Finura por Tamizado Seco

Los resultados obtenidos dentro de los ensayos de finura del cemento CGU tienen porcentajes de 99.96%, 99.94%, 99.94%, 99.96 % obteniendo un promedio de 99.95% realizados con 3 repeticiones con respecto al ensayo de un minuto para cada uno, lo cual indica la fácil separación de las partículas de cemento por la baja humedad que esta tiene. Por otro lado el promedio de la finura de la zeolita ZR obtenida es 99.83% cuyos ensayos de un minuto fueron realizados en repeticiones diferentes de 6, 5 ,5 y 3 respectivos para cada uno, al observar la formación de grumos durante la realización del ensayo y comparando con los resultados obtenidos se nota mayor humedad entre un ensayo y otro.

La finura de la ZCa tiene un promedio de 99.71%, con distintas repeticiones en los ensayos de un minuto de 4, 10, 6, 6 respectivamente para cada uno, por estos resultados

se confirma mayor humedad de esta entre el cemento CGU y la zeolita ZR ya que en los ensayos se notó la acumulación de pasta en la base del tamiz utilizado. Por último la finura de la zeolita ZC tiene un promedio de 99.87% con 10 y 7 repeticiones de ensayos de un minuto respectivamente, con ello se nota la alta humedad de este material en comparación con los ensayos anteriores.

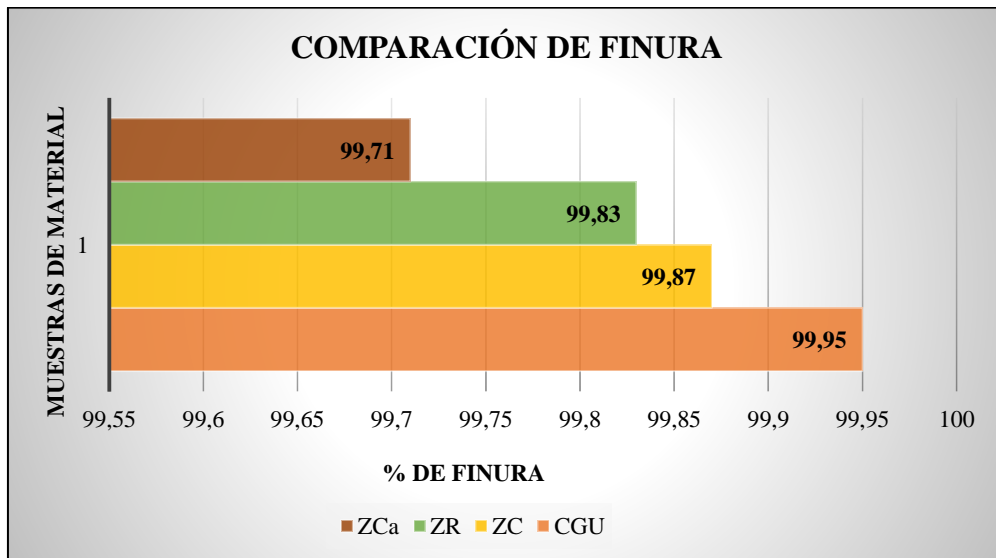


Figura 63. Gráfico Comparativo de Porcentajes de Finura

La finura del cemento CGU al tener un promedio de 99.95% se encuentra en buenas condiciones para su utilización, no obstante al comparar estos resultados con las zeolitas ZR, ZCa y ZC cuyos promedios son 99.83%, 99.71% y 99.87% respectivamente por un lado cumple con lo establecido en la norma ya que entre los materiales el porcentaje no varía más de 2% lo cual indica la posibilidad de sustitución de las zeolitas por cemento en pequeños porcentajes, especialmente al utilizar la zeolita ZC ya que tiene mayor porcentaje de finura que las dos anteriores y se encuentra mayormente cercano al cemento se puede visualizar de mejor manera en la **Figura 63**.

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- 1) Con la extracción, recolección y transporte de las zeolitas ZC, ZR y ZCa se observó que la ubicación de acuerdo a las coordenadas dadas por ARCOM no se encuentran realmente correctas ya que al tomar puntos con el GPS en el sitio de visita se tiene coordenadas distintas con respecto a las primeras.
- 2) Mediante la molienda de las Zeolitas ZR y ZC con la maquina MAA se obtuvo poca cantidad de material menor a 75  $\mu\text{m}$ , dando como porcentaje de ZR un 15.3% y ZC un 8.3%, lo que representa la dureza de cada material, siendo la ZR más blanda que la ZC por ende presenta mayor cantidad de material fino.
- 3) La granulometría de la Zeolita ZR según la norma NTE INEN 0696, se determinó mediante distintas moliendas y tiempos que al moler 1000 gamos en 40 minutos se tiene un porcentaje de 19,90% con material retenido en el tamiz N° 4, 300 gramos en 40 minutos se tiene un valor de 35,94% con material retenido en el tamiz N°10 y 300 gramos en 40 minutos se tiene 28,22% con material retenido en el Tamiz N°200 donde al comparar dichos porcentajes se observa que el material más recomendable para molienda es con el retenido en el tamiz N°10 ya que se tiene mayor cantidad de material fino requerido.
- 4) La granulometría de la Zeolita ZC determinada mediante la norma NTE INEN 0696 tiene material fino en porcentajes de 19.95% al moler 300 gramos en 20 minutos con material retenido en el tamiz N° 4 y 34.87% al moler 300 gramos en

60 minutos con material retenido en el tamiz N°10 donde al realizar una comparación se afirma en este caso que el material recomendable para molienda es el retenido en el tamiz N°10 ya que se tiene incremento en la obtención de material fino.

- 5) Dentro de la granulometría estudiada la zeolita ZC tiende a tener más dureza que la ZR ya que se obtiene menor cantidad de material fino, por otro lado la ZR al ser más blanda es más frágil y puede tener acumulación de humedad al exponerla mucho tiempo a la intemperie.
- 6) Es notable que las zeolitas al pertenecer a un mismo entorno natural y material tienen variación en sus propiedades químicas, físicas y morfológicas. Al observar las imágenes SEM se tiene una notoria similitud entre el cemento CGU y la Zeolita ZC principalmente y en segundo plano con la zeolita ZCa, por lo cual se afirma que cualquiera de las dos zeolitas pueden ser ocupadas para próximos análisis.
- 7) Mediante el análisis EDS con la relación silicio- aluminio se obtiene mayor valor en la zeolita ZCa con 4.52 seguido del CGU la cual tiene 3.40 y las dos últimas ZR y ZC con 2.69 y 2.73 con estos resultados observa similitud entes las dos primeras por tener valores altos, pero al analizar los resultados cercanos al cemento CGU la zeolita ZC es la más apropiada para un análisis de sustitución.
- 8) Los compuestos químicos (óxidos) de cada una de las zeolitas ZR, ZCa y ZC, y el cemento CGU tienen una relación coherente y similar en porcentajes de masa con respecto al Oxido de Silicio, especialmente en la Zeolita ZCa con 69.91% siendo esta de mayor concentración, no obstante el cemento se encuentra con 48.35% donde al realizar un análisis porcentual la zeolita ZC tiene 60.80% encontrándose más cercano al porcentaje del cemento en este y otros compuestos químicos.

- 9) Dentro de la actividad puzolánica de las zeolitas se concluye que el mayor porcentaje se encuentra en la ZR la cual es la más sobresaliente de entre los demás análisis, cumpliendo con la norma establecida ASTM C 618-03.
- 10) La densidad presentada por las zeolitas ZR, ZCa y ZC, tienen valores de 2.304, 2.330, 2.339 gramos por centímetros cúbicos respectivamente, cuyos resultados encuentran parecidas a los presentados en la literatura de *Costafreda 2018*, donde se encuentra densidades de 2.31 gramos por centímetro cubico, lo cual en comparación con la densidad del cemento CGU cuyo valor es 3.075 estos valores se encuentran por debajo ya que tiene mayor porcentaje de compuestos puzolánicos y sin adición de materiales secundarios, por lo que de acuerdo a la misma literatura menciona que mientras menor será la densidad de la zeolita es mejor ya que de esta manera no reacciona con el cemento y puede ser sustituido sin efectos secundarios, por los tanto en este caso la zeolita más destacada y apropiada es la ZR .
- 11) La finura del cemento CGU tiene un porcentaje de 99.95%, esto quiere decir que este porcentaje en la cantidad de 50 gramos es menor a 150  $\mu\text{m}$  o 0.15 mm lo que indica que está en buenas condiciones para realización morteros u hormigón, ya que de acuerdo a *Torre 2004* a mayor finura aumenta la resistencia, el calor de hidratación y cambios de volumen, por lo general según este autor la finura debe ser inferior a 0.1mm para afirmar la calidad del material a ocupar, realizando una comparación entre los resultados obtenidos de finura de las zeolitas ZR, ZCa y ZC se tienen porcentajes de 99.83%, 99.71% y 99.87% respectivamente lo cual muestra similitud entre ellas, presentando mejores condiciones la zeolita ZC con mayor finura, y siendo está más apropiada para sustitución del cemento.

## 4.2.Recomendaciones

- 1) Es recomendable contactar a los proveedores de las zeolitas naturales para realizar la compra de estas ya que no todas tienen disponibilidad de prestar ayuda con la adquisición de las mismas.
- 2) Al transportar el material (Zeolita Natural) se recomienda mantenerlo protegido y no expuesto a la intemperie, selladas herméticamente con fundas Ciplox u otras de mayor garantía.
- 3) Es recomendable eliminar todo el aire contenido en las fundas Ciplox con Zeolitas o Cemento para evitar variaciones en los resultados a causa del oxígeno concentrado dentro de estas.
- 4) Es recomendable buscar un lugar a temperatura constante para realizar el ensayo de densidad ya que la variación de esta puede afectar a los resultados buscados.
- 5) Dentro de la utilización del MBT y MAA se recomienda limpiar el interior del tambor ya que existen residuos (polvo) acumulados que en el momento de ingresar las zeolitas pueden afectar a sus propiedades.
- 6) Se recomienda tomar en cuenta que si el material está en malas condiciones este se queda adherido a las paredes de los tamices y es necesario cambiar de material para tener mejores resultados en los ensayos de laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. K. Mehta, «Concrete structure, properties and materials», *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 13, n.º 4, pp. 499-499, 1999.
- [2] J. S. Damtoft, J. Lukasik, D. Herfort, D. Sorrentino, y E. M. Gartner, «Sustainable development and climate change initiatives», *Cem. Concr. Res.*, vol. 38, n.º 2, pp. 115-127, 2008.
- [3] M. B. Rosell Lam, J. L. Costafreda Mustelie, J. L. Parra Alfaro, y B. Calvo Pérez, «Influencia De La Adición De Zeolita En Las Propiedades Micro Y Macroestructurales En Pastas Y Morteros», *Cent. Tec. Para El Desarro. Mater. Constr.*, vol. 12, n.º 9, pp. 1-12, 2011.
- [4] K. Lekha y A. J. Vanreyk, «Zeolite Addition on Concrete Sustainability-a Review», *Int. J. Adv. Res. Innov. Ideas Educ.*, vol. 3, n.º 2, pp. 5578-5582, 2017.
- [5] A. M. Jacob y L. G. Das, «Ecofriendly Concrete by Partial Replacement of Cement by Zeolite», *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, n.º 5, pp. 8194-8200, 2017.
- [6] T. Markiv, K. Sobol, M. Franus, y W. Franus, «Mechanical and durability properties of concretes incorporating natural zeolite», *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 16, n.º 4, pp. 554-562, 2016.
- [7] J. L. Costafreda, J. J. Díaz, y B. Calvo, «Propiedades Físicas, Mecánicas Y Químicas De Algunas Zeolitas Naturales Procedentes De México, Cuba Y España», *Arch. Digit. UPM- E-cienciaDatos*, vol. 2010, n.º 1, pp. 1-9, 2018.
- [8] M. Najimi, J. Sobhani, B. Ahmadi, y M. Shekarchi, «An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan», *Constr. Build. Mater.*, vol. 35, n.º 4, pp. 1023-1033, 2012.
- [9] S. Huaquisto Cáceres y G. Belizario Quispe, «Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento», *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Res.*, vol. 20, n.º 2, pp. 255-234, 2018.
- [10] J. Jiménez y M. Cornejo, «Estudio y simulación del comportamiento del cemento Portland tipo I , con adición del 20 % de Zeolita Ecuatoriana mediante el curado al aire . Resumen», *ResearchGate*, vol. 33, n.º 244, p. 9, 2016.
- [11] D. Jana, «A new look to an old pozzolan: Clinoptilolite - A promising pozzolan in concrete», *Int. Cem. Microsc. Assoc. - 29th Int. Conf. Cem. Microsc. 2007*, vol. 20, n.º 24, pp. 167-205, 2007.
- [12] J. L. Costafreda Mustelie, Jorge L Martín Sánchez, Domingo A; Costafreda Velázquez, *las Zeolitas naturales de Iberoamérica*. 2018.
- [13] J. J. Dopico Montes De Oca, J. F. Martirena Hernandez, A. López Rodríguez, y R. González López, «Efecto de la adición mineral cal- zeolita sobre la resistencia a la compresión y la durabilidad de un hormigón», *Rev. Ing. Constr.*, vol. 24, n.º 2, pp. 181-194, 2009.
- [14] F. E. Morante Carballo, «Las Zeolitas De La Costa De Ecuador ( Guayaquil ): Geología , Caracterización y Aplicaciones», 2004.
- [15] L. Machiels y R. Snellings, «Mineralogía Cuantitativa de los Depositos de Zeolitas en la costa del ecuador», *Rev. Tecnol. ESPOL*, vol. 19, n.º 1, pp. 41-48, 2006.
- [16] A. F. Guevara Gavilanes, «“ Explotación de Zeolitas a Cielo Abierto ” Referencia : Concesión Minera El Refugio TESIS DE GRADO Previa a la obtención del Título de : INGENIERO DE MINAS Presentada por : ANIBAL FERNANDO GUEVARA GAVILANES GUAYAQUIL - ECUADOR», 2002.
- [17] H. Collazos García, «La aplicación de Zeolita en la producción avícola: Revisión», *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, vol. 1, n.º 1, p. 7, 2010.
- [18] A. F. Adriano Macas, «“ Absorción y Desorción de Vapor de Agua mediante la utilización de las zeolitas Naturales de la Provincia de Guayas" Tesis de grado. Previo a la obtención del Título de : INGENIERO MECÁNICO. Escuela superior politécnica del litoral. Facultad de Ingeniería», 2012.
- [19] B. E. Vizcaino Ramon, «Identificación y Caracterización de la Zeolita Natural Tipo Clinoptilolita», 1998.
- [20] Y. G. Valenzuela Romero, «Análisis Comparativo de la Resistencia a Compresión del Hormigón Tradicional, con Hormigón al Emplear Zeolita Natural en Reemplazo Parcial del Cemento», 2017.



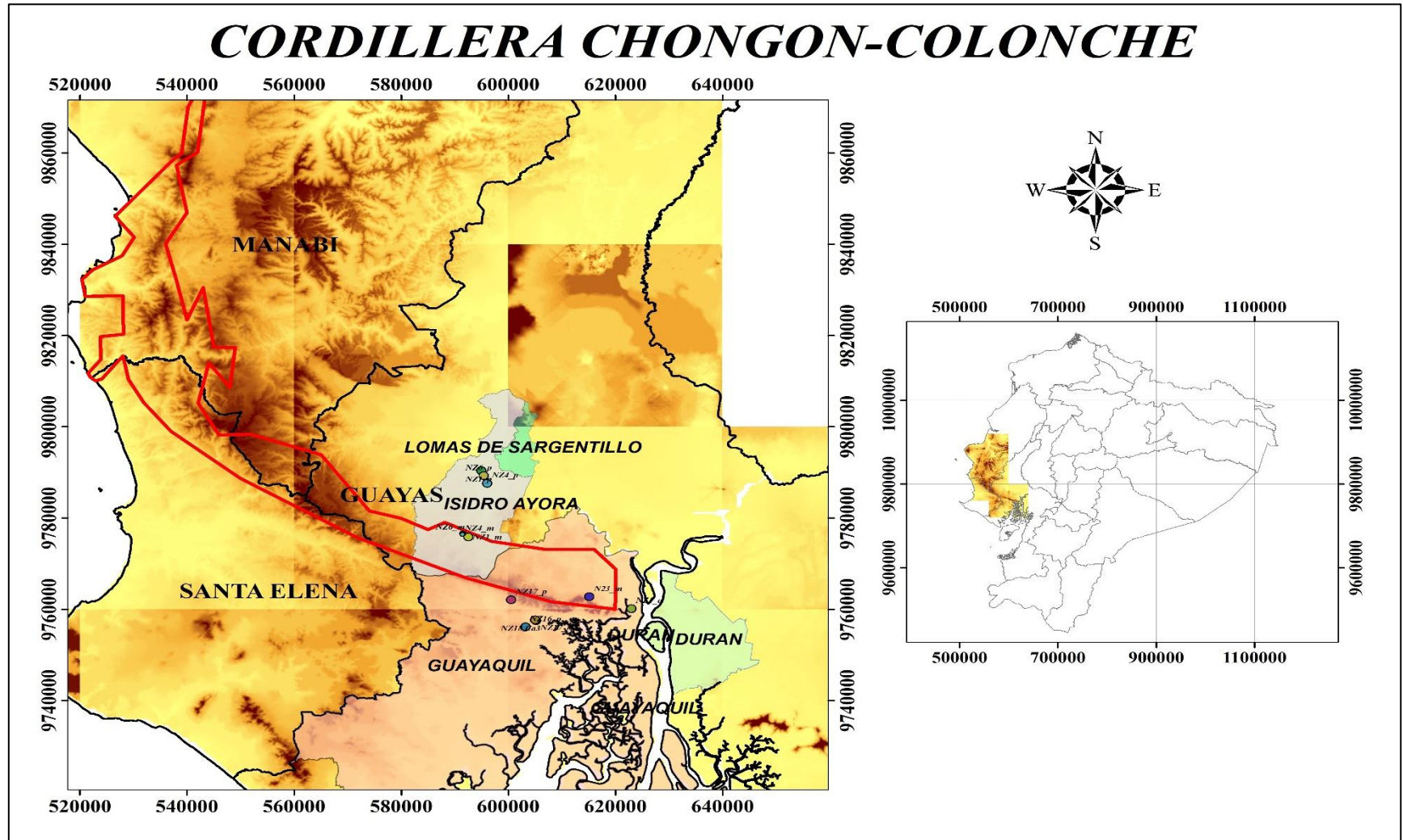
- [21] A. E. Bustillos Yaguana y M. A. Suin Arévalo, «Diseño y construcción de un reactor químico para la obtención de zeolitas sintéticas.», 2014.
- [22] V. S. Jakkula, «Synthesis of zeolites and their application as soil amendments to increase crop yield and potentially act as controlled release fertilizers A thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy by Vijay S. Jakkula», 2005.
- [23] D. O. Garcés León, «Caracterización mineralógica del depósito de zeolitas naturales en el río Guaragua (Isidro Ayora, provincia del Guayas) y su aplicación en la remoción de amonio en aguas residuales», 2013.
- [24] R. Novo Fernández y J. L. Costafreda Mustelier, «Las zeolitas naturales de México», en *LAS ZEOLITAS NATURALES DE IBEROAMÉRICA*, 2018, pp. 280-321.
- [25] M. C. Bilbao Chávez, M. Campos Pimentel, M. de L. Villalba, L. H. Colmenero Sujo, y M. S. Espino Valdés, «Remoción de arsénico en agua mediante zeolita natural proveniente del Estado de Chihuahua, México», *Rev. Apl. Científica y Técnica*, vol. 4, n.º 13, p. 6, 2018.
- [26] T. G. Díaz Coronel, F. D. Sánchez Mora, G. H. Vásquez Montúfar, y L. T. Llerena Ramos, «EMPLEO DE ZEOLITAS NATURALES EN LA FERTILIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DEL FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN LA ZONA DE QUEVEDO», *Cienc. y Tecnol.*, vol. 2, n.º 1, pp. 1-6, 2009.
- [27] M. Quilambaqui, F. Morante, y D. Bajaña, «USOS DE LAS ZEOLITAS NATURALES DEL “ BLOQUE TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL DE LA ZEOLITA (BTEZ) DE LA ESPOL ” Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ», *X Congr. Ecuatoriano la Cienc. del Suelo*, vol. 10, n.º 9205, pp. 1-10, 2005.
- [28] E. Alvear, M. Quilambaqui, P. Álvarez, y J. Rodríguez, «Evaluación de Zeolitas Naturales Mezcladas en la Dieta Para la Alimentación de Pollos de Engorde (Broiler) en el Cenae-Espol», *Cenae-Espol*, vol. 2, n.º 8, p. 10, 2004.
- [29] H. Pérez, I. Rodríguez, y C. Arzola, *Aprovechamiento sostenible de los Residuos de origen orgánico y la zeolita en la agricultura*. 2016.
- [30] L. P. Anchundia Benítez y E. E. Segarra López, «Análisis Del Conocimiento De La Producción Del Mineral Zeolita en la Ciudad de Guayaquil y su Aceptación en el Mercado Internacional», 2017.
- [31] M. J. Bastidas Ronquillo, «Estudio de Geopolímeros basados en zeolitas naturales del Ecuador: Aplicaciones a eficiencia energética en construcciones en climas tropicales», 2013.
- [32] O. Molina Bas, «La Influencia de las Cenizas Volantes Como Sustituto Parcial del Cemento Portland en la Durabilidad del Hormigón», 2008.
- [33] A. Gomez Mendoza, «La formación de un cartel en el primer tercio del siglo XX: La industria del cemento portland», *Rev. Hist. Económica / J. Iber. Lat. Am. Econ. Hist.*, vol. 5, n.º 2, pp. 325-361, 1987.
- [34] J. Ruiz Hidalgo, «Componentes Y Procesos Químicos Del Cemento», *Innovación y Exp. Educ.*, vol. 18, n.º 45, p. 8, 2009.
- [35] H. E. S.A., «Nuestros procesos de producción». p. 10, 2011.
- [36] A. Torre, “ *Curso Básico De Tecnología Del Concreto*. 2004.
- [37] A. Al Kour y A. Hammad, *Cement and Concrete Technology*, vol. 15, n.º 2. 2010.
- [38] E. Vejmelková, T. Kulovaná, M. Keppert, M. Ondráček, y R. Černý, «Natural zeolite as environmentally friendly supplementary cementitious material in concrete», *WIT Trans. Ecol. Environ.*, vol. 165, n.º 10, pp. 275-285, 2012.
- [39] E. Vejmelková *et al.*, «Engineering properties of concrete containing natural zeolite as supplementary cementitious material: Strength, toughness, durability, and hygrothermal performance», *Cem. Concr. Compos.*, vol. 55, n.º 9, pp. 259-267, 2015.
- [40] R. Madandoust, J. Sobhani, y P. Ashoori, «Concrete made with zeolite and metakaolin: A comparison on the strength and durability properties», *Asian J. Civ. Eng.*, vol. 14, n.º 4, pp. 533-544, 2013.
- [41] A. Joshaghani, «The effects of zeolite as supplementary cement material on pervious concrete», *ResearchGate*, vol. 43, n.º 3, p. 12, 2016.
- [42] B. Ahmadi y M. Shekarchi, «Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material», *Cem. Concr. Compos.*, vol. 32, n.º 2, pp. 134-141, 2010.
- [43] E. I. Cement, “ *BEST AVAILABLE TECHNIQUES ” FOR THE CEMENT INDUSTRY A contribution from the European Cement Industry to the exchange of information and preparation*

- of the IPCC BAT REFERENCE Document for the cement industry, n.º December. 1999.
- [44] M. M. Alejandro Giraldo y J. Iván Tobón, «Evolución Mineralógica Del Cemento Portland Durante El Proceso De Hidratación Mineralogical Evolution of Portland Cement During Hydration Process», *Dyna*, vol. 73, n.º 148, pp. 69-81, 2006.
- [45] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Cemento Portland Requisitos*, vol. 2625. 2012, pp. 1-19.
- [46] Holcim Fuerte, «Ficha técnica-Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general». p. 16, 2018.
- [47] Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 151, «Cemento. Definición de términos relacionados con el cemento hidráulico.» p. 7, 2005.
- [48] Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2380, «Cemento Hidráulico. Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos», vol. 1973. p. 13, 2011.
- [49] Holcim Fuerte, «Cemento fuerte». p. 5, 2015.
- [50] D. L. Bish y D. W. Ming, *NATURAL ZEOLITES: ocurrence, properties, applications*, vol. 45. 1955.
- [51] F. Morante, D. Garcés, L. Machiels, A. Mina, y R. Noriega, «Metodología de Investigación para la Prospección de Yacimientos de Zeolitas Naturales de Origen Vulcano Sedimentarios», *Técnicas Apl. a la Caracter. y Aprovech. Recur. geológico-mineros*, vol. 31, n.º 643, p. 13, 2013.
- [52] A. Resources, «Georreferenciación y Sistemas de Coordenadas», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000s000000.htm>.
- [53] E. Áviles Pino, «Cordillera Chongón-Colonche», *Enciclopedia del Ecuador*, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.encyclopediadelecuador.com/geografia-del-ecuador/cordillera-chongon-colonche/>.
- [54] B. L. International, «Cordillera Chongón Colonche», *Partnership for Nature and People*, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/14625>.
- [55] R. Ayerza, «Importancia hídrica de los bosques de la cordillera Chongón- Colonche para las tierras áridas del noroeste de Santa Elena», *Rev. Ambient.*, vol. 9, n.º 1, p. 16, 2019.
- [56] A. E. Ágreda, «Checklist de las aves de la Cordillera Chongón – Colonche y áreas protegidas en las provincias de Guayas , Santa Elena y Manabí», *Nat. Conserv.*, vol. 2, n.º 305, p. 40, 2012.
- [57] V. y S. Superintendencia de Compañías, «SUPERCIAS», 2020. [En línea]. Disponible en: [https://portal.supercias.gob.ec/wps/portal/Inicio/Institucion!/ut/p/a1/jZBNT4NAEIZ\\_DVf2LVBKvS2tUrAVo2mke2kWst11yJLdpf59KdGDiuXnMI\\_PO5kZwkhBWMvPsuZWqpY315yFxyC5RxIkyBBnM6R3z168pDlw6w\\_AYQBWCd0Eiy2AIPKQruPNerHcAwn4U5\\_vwgg0epinT96jn\\_uzLz2uGMX\\_9BPAH\\_u\\_EDYiUxeM](https://portal.supercias.gob.ec/wps/portal/Inicio/Institucion!/ut/p/a1/jZBNT4NAEIZ_DVf2LVBKvS2tUrAVo2mke2kWst11yJLdpf59KdGDiuXnMI_PO5kZwkhBWMvPsuZWqpY315yFxyC5RxIkyBBnM6R3z168pDlw6w_AYQBWCd0Eiy2AIPKQruPNerHcAwn4U5_vwgg0epinT96jn_uzLz2uGMX_9BPAH_u_EDYiUxeM).
- [58] A. de R. y C. Minero, «ARCOM», 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.controlminero.gob.ec/292-operativos-de-control-contra-las-actividades-ilegales-en-mineria-realizo-la-arcom-en-el-2019/>.
- [59] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 0696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. 2011, p. 12.
- [60] J. V. Hurtado Flores, «Determinación del módulo de rotura en vigas de homigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera Ramirez», 2014.
- [61] D. Industry, «Que es una Tamizadora», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/cooper-research-technology/product-68434-1372931.html>.
- [62] m&m Instrumentos Técnicos, «Que es un Tamiz», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.myminstrumentostecnicos.com/equipos-de-laboratorio/tamices/►-tamiz-que-es/#:~:text=El tamiz es un Utensilio,conocido por cedazo o criba.>
- [63] W. Zhou, R. Apkarian, Z. L. Wang, y D. Joy, «Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM)», en *Scanning Microscopy for Nanotechnology: Techniques and Applications*, 2007, p. 2.
- [64] D. E. Newbury y N. W. M. Ritchie, «Is scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDS) quantitative?», *Scanning*, vol. 35, n.º 3, p. 28, 2013.
- [65] E. Experimental, «Técnicas de Caracterización SEM/EDS». p. 20, 2013.
- [66] JEOL SEM, «JSM-IT100 Microscopio Electrónico de Barrido InTouchScope», 1996, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.jeol.co.jp/en/products/detail/JSM-IT100.html>.
- [67] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad INEN 156*, vol. 0156. 2009, p. 11.
- [68] Universidad Centroamericana, *Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y Absorción Del Agregado Fino.*, n.º 01. 2001, p. 14.

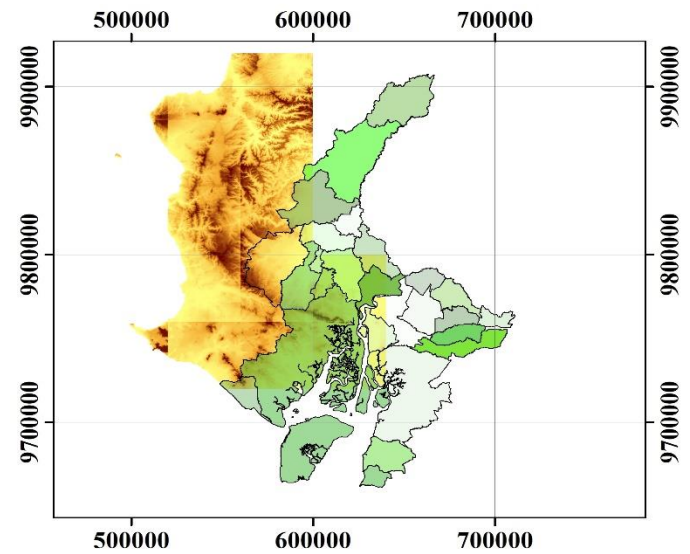
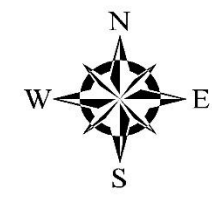
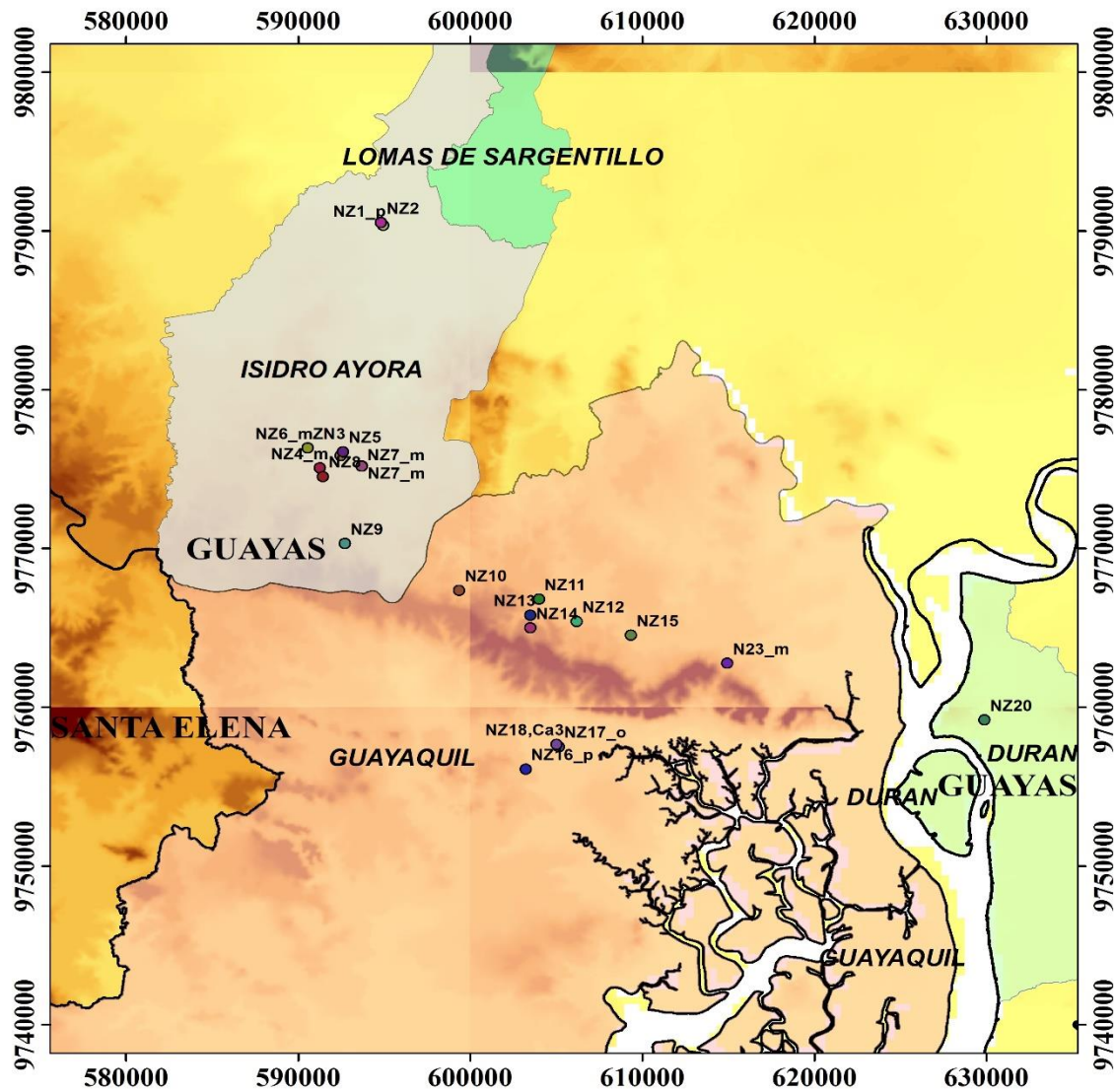
- [69] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Cementos. Determinación de la finura por tamizado seco NTE INEN 0489*. 1987, p. 13.
- [70] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Cemento Hidráulico. Determinación de la Finura Mediante el Aparato de Permeabilidad al Aire. INEN 0196*. 2009, p. 20.
- [71] U. E. para E. de Materiales, «Máquina de Abrasión Los Ángeles», 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.utest.com.tr/es/25827/M-quina-de-Abrasi-n-Los-ngeles>.
- [72] E. A. Cabezas Casco, «Diseño y Construcción de un Molino de Bolas para Aplicaciones de Pulvimetalurgia en los Laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato», 2017.
- [73] K. Academy, «Desviación Estándar», 2019. .
- [74] Calmosacorp SA, «FICHA TÉCNICA GENERAL ZEOLITA 40», 2019.
- [75] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, «Preparación de muestras para SEM», 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.upv.es/entidades/SME/info/753330normalc.html>.
- [76] R. V. Torres Aimara, «Uso de Zeolita y Humus en el Cultivo de Zanahoria Amarilla (Daucus carota L.)», 2015.

# ANEXOS

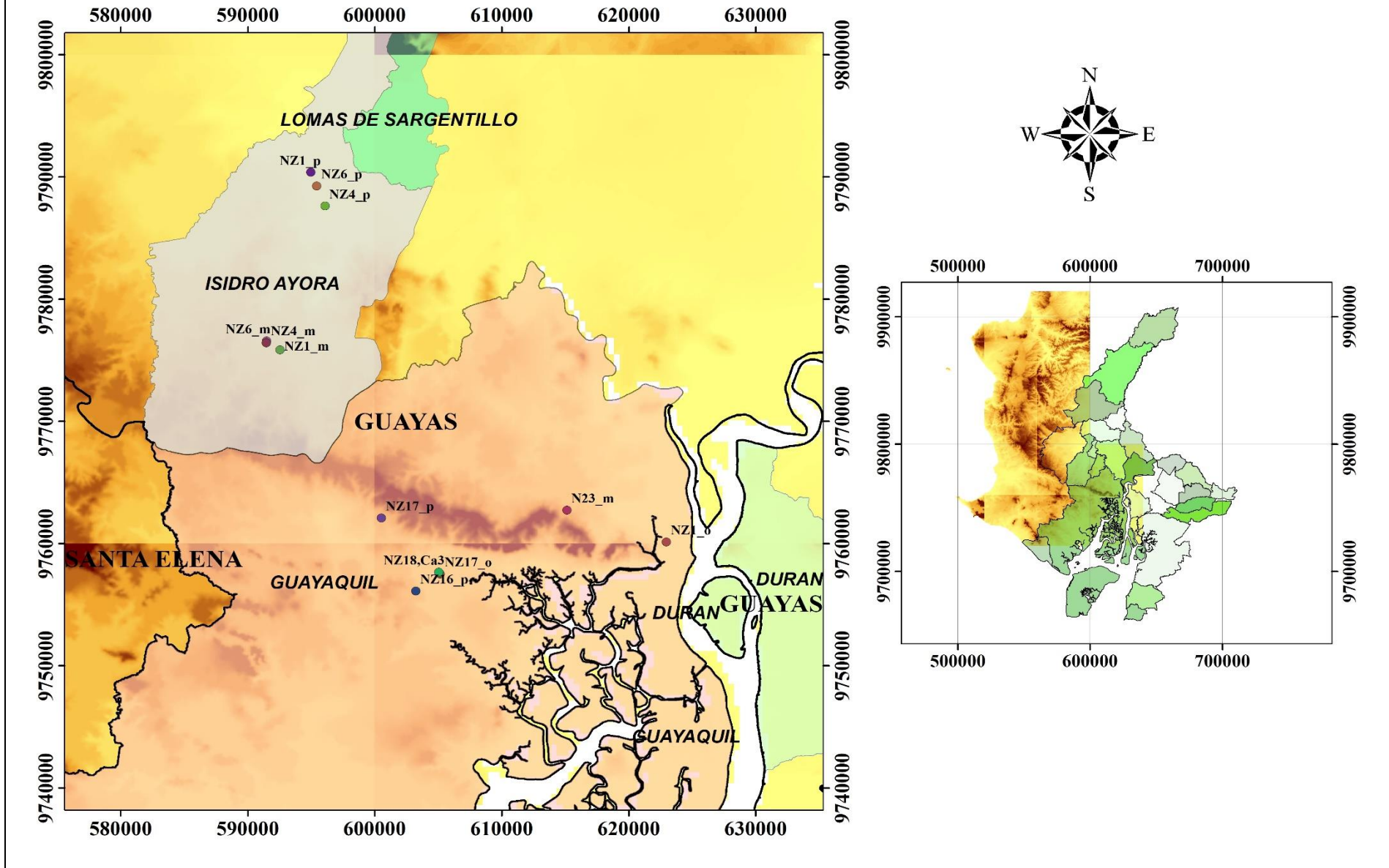
Anexo I. Mapas ArcGIS



# MAPA DE LA VISITA- UBICACION DE PUNTOS CON ARCOM



# MAPA DE LA VISITA- UBICACION DE PUNTOS CON GPS



• **Análisis granulométrico de la Zeolita ZR**

Tabla 60. Granulometría ZR-1 Retiene Tamiz N°4

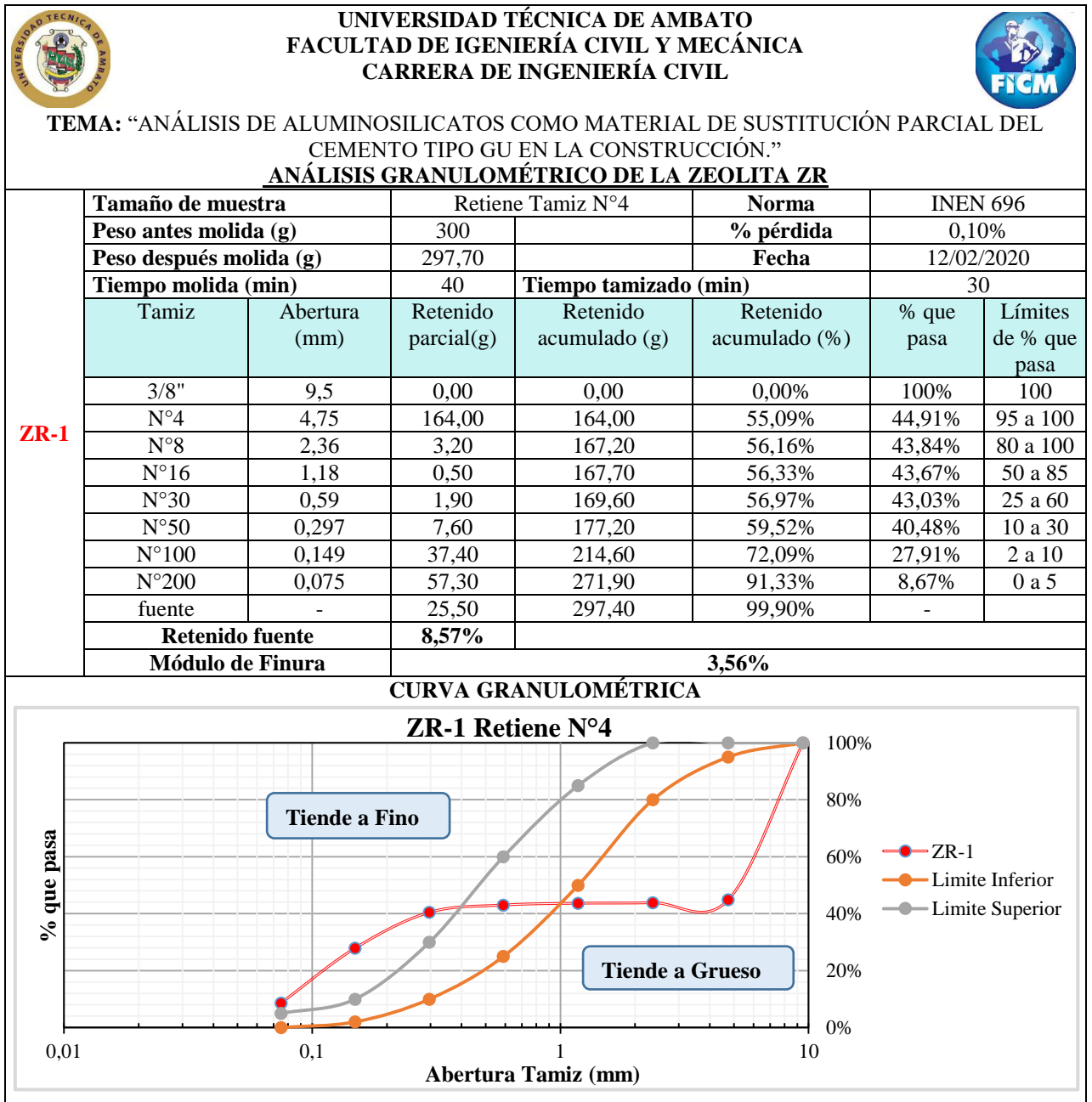


Tabla 61. Granulometría ZR-2 Retiene Tamiz N°4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

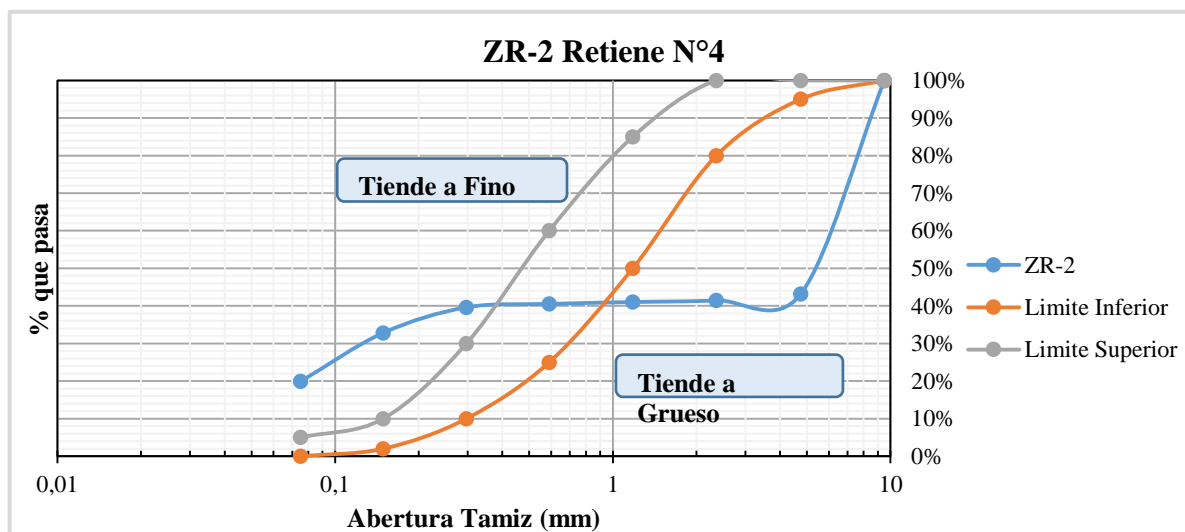


TEMA: “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN.”

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ZEOLITA ZR**

<b>ZR-2</b>	<b>Tipo de muestra</b>		Retiene Tamiz N°4		<b>Norma</b>		<b>INEN 696</b>
	<b>Peso antes molida (g)</b>		1000,00		<b>% pérdida</b>		0,11%
	<b>Peso después molida (g)</b>		991,70		<b>Fecha</b>		13/02/2020
	<b>Tiempo molida (min)</b>		40		<b>Tiempo tamizado (min)</b>		30
	<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido parcial (g)</b>	<b>Retenido acumulado(g)</b>	<b>Retenido acumulado (%)</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Límites de % que pasa</b>
	3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00%	100%	100
	N°4	4,75	563,40	563,40	56,81%	43,19%	95 a 100
	N°8	2,36	17,10	580,50	58,54%	41,46%	80 a 100
	N°16	1,18	4,40	584,90	58,98%	41,02%	50 a 85
	N°30	0,59	4,90	589,80	59,47%	40,53%	25 a 60
N°50	0,297	9,00	598,80	60,38%	39,62%	10 a 30	
N°100	0,149	67,40	666,20	67,18%	32,82%	2 a 10	
N°200	0,075	128,20	794,40	80,10%	19,90%	0 a 5	
fuelle	-	196,20	990,60	99,89%	-		
<b>Retenido fuente</b>		<b>19,78%</b>					
<b>Módulo de Finura</b>		<b>3,61%</b>					

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Fuente: [Autor]



Tabla 62. Granulometría ZR-3 Retiene Tamiz N°4

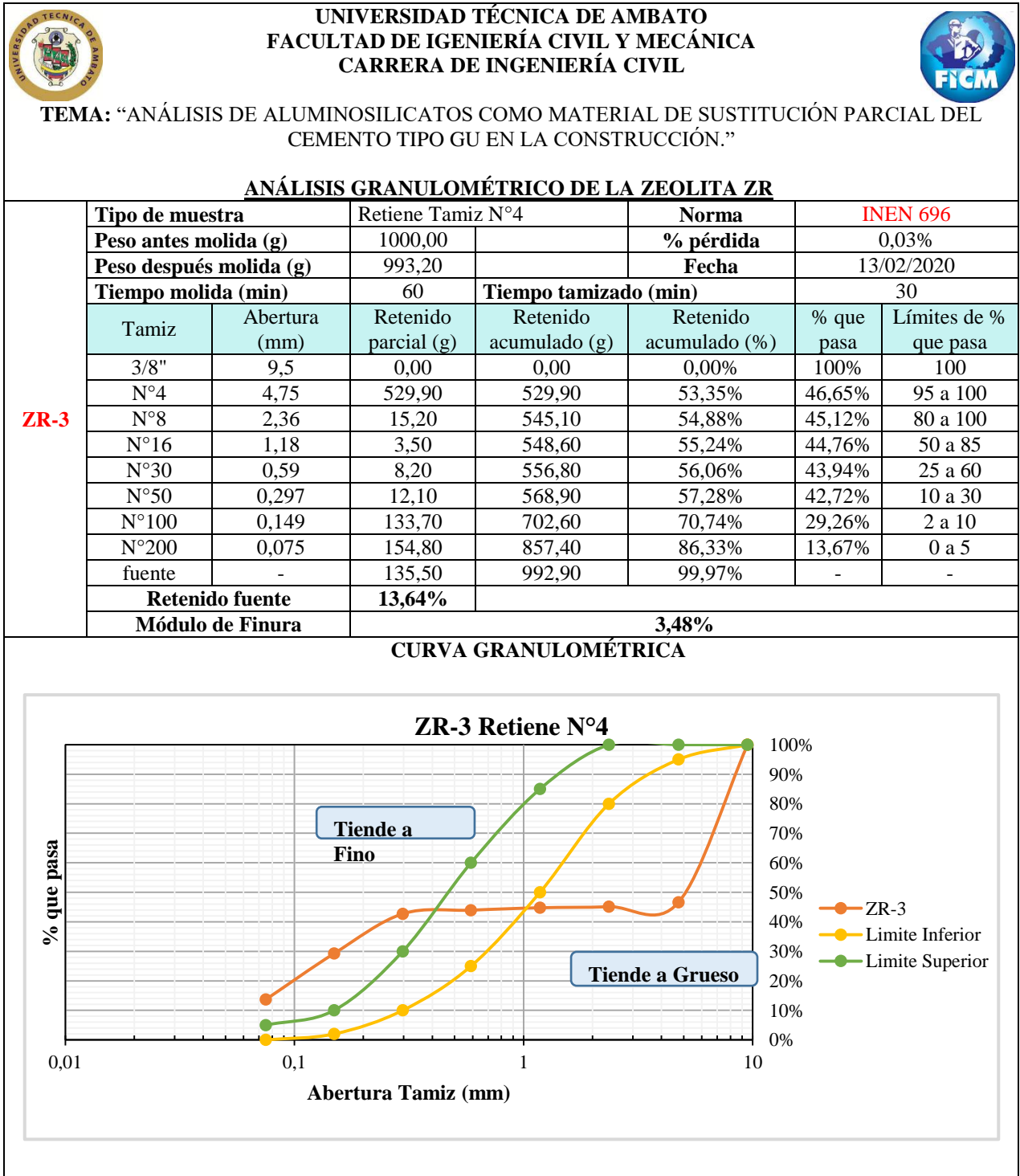
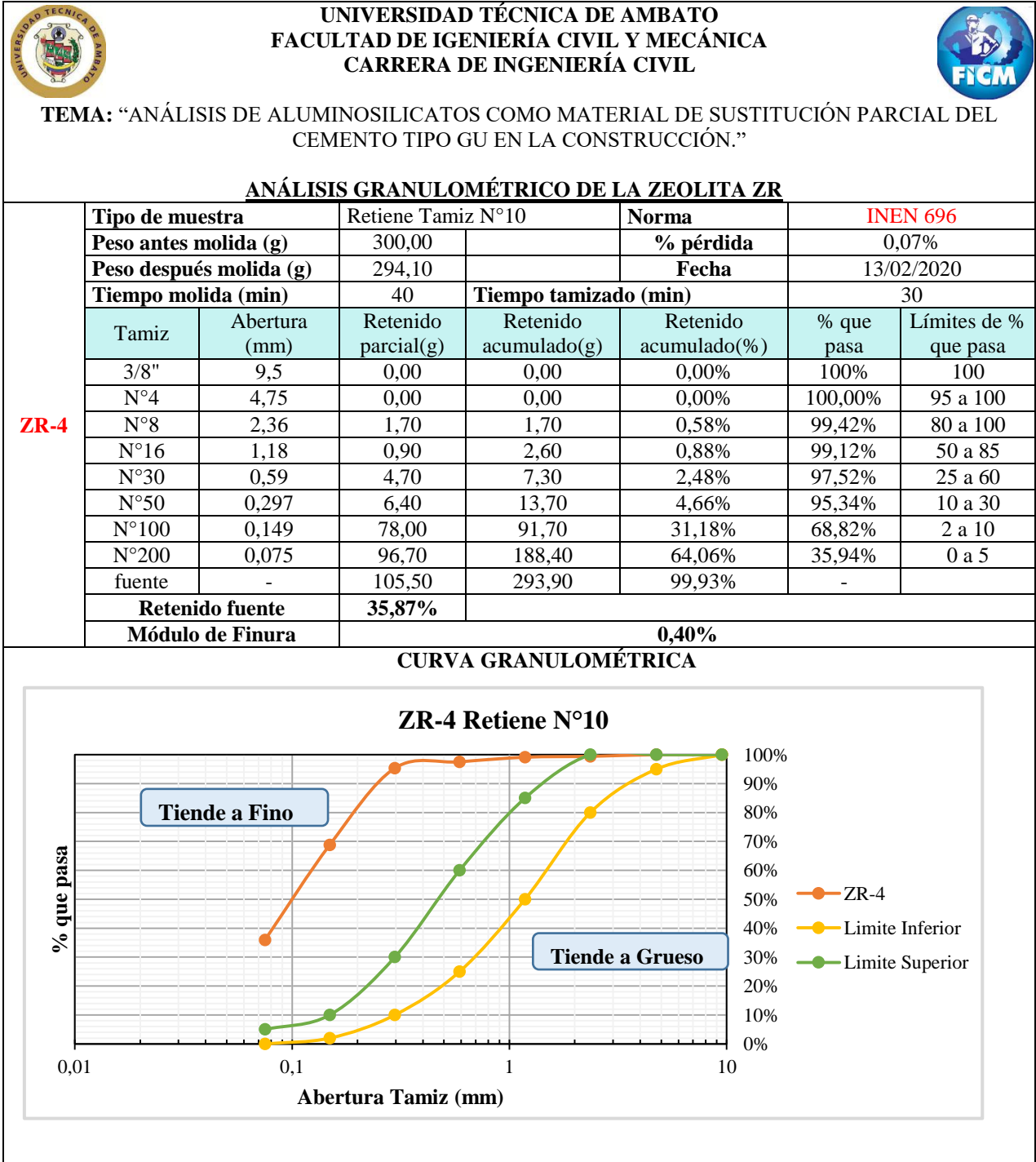


Tabla 63. Granulometría ZR-4 Retiene Tamiz N°10



Fuente: [Autor]

Tabla 64. Granulometría ZR-5 Retiene Tamiz N°10

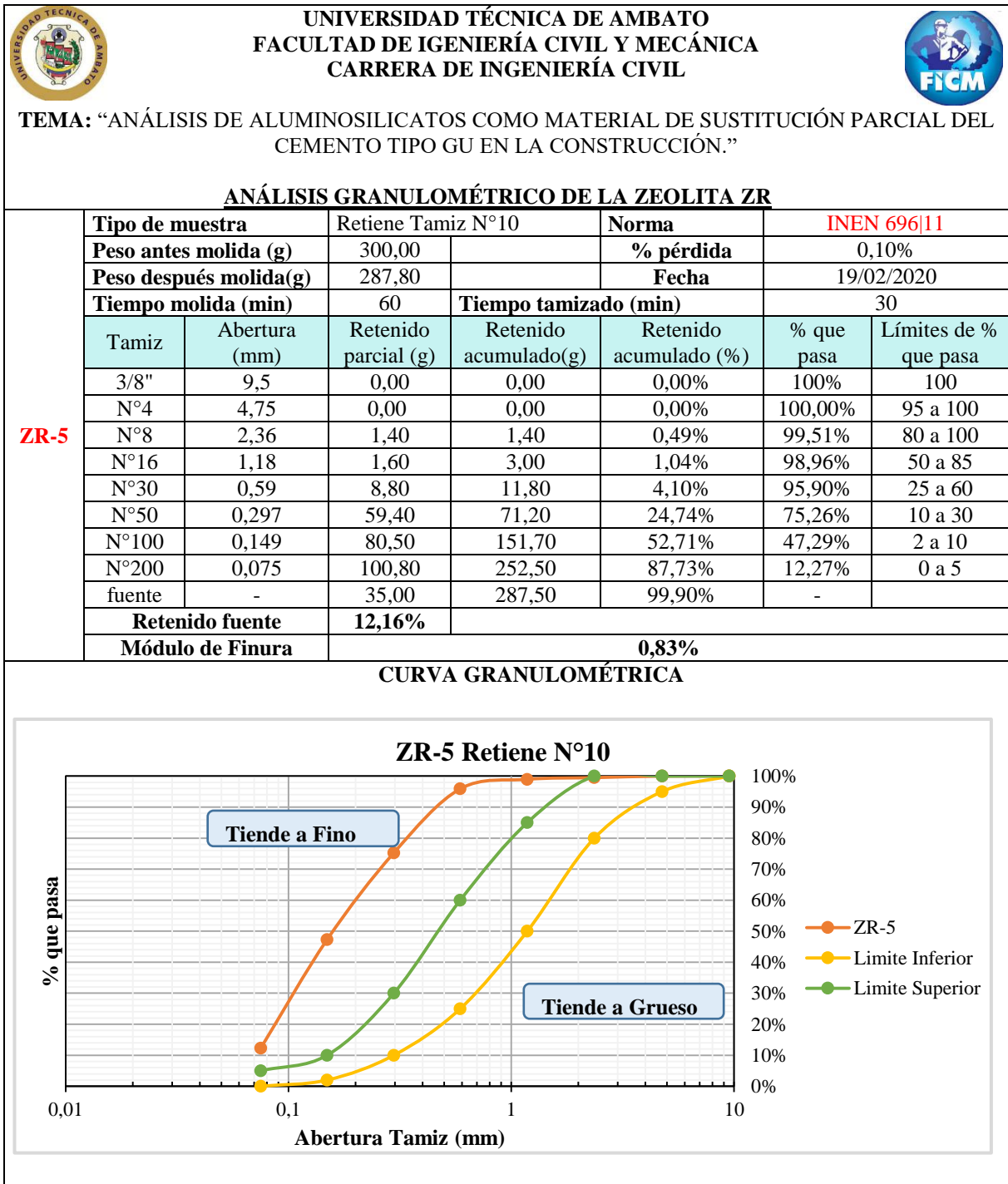


Tabla 65. Granulometría ZR-6 Retiene Tamiz N°200

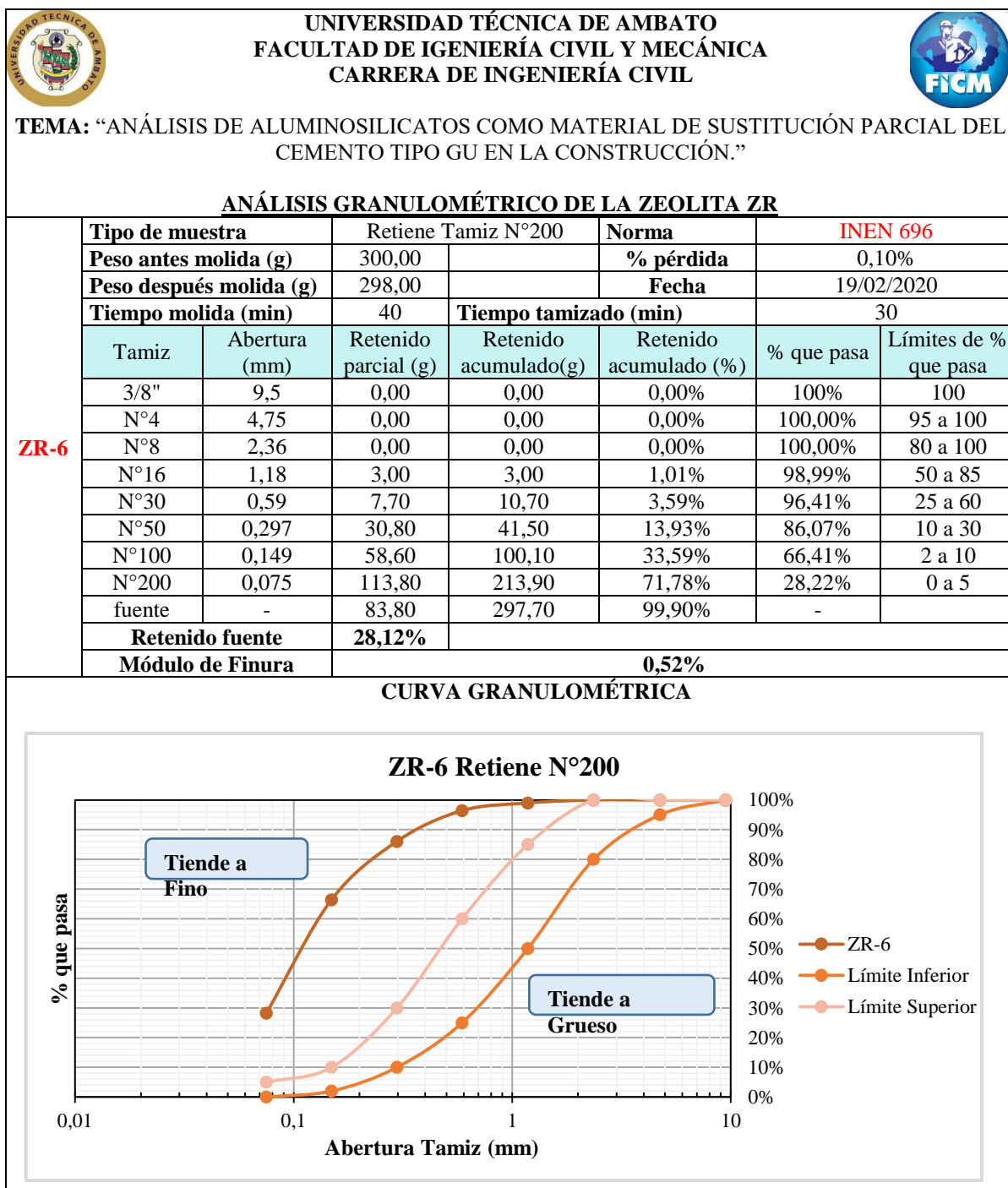


Tabla 66. Granulometría ZR-7 Retiene Tamiz N°200

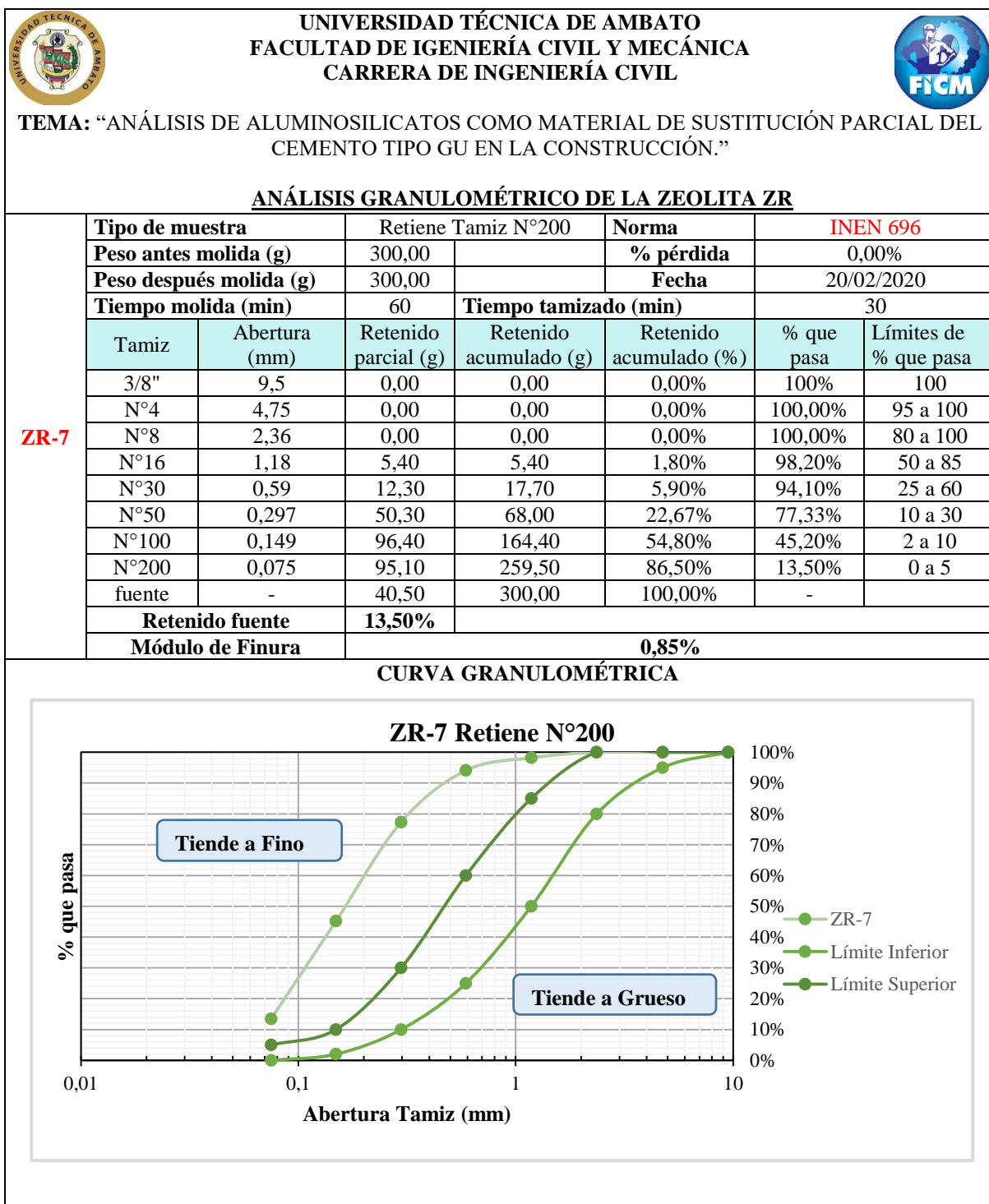


Tabla 67. Granulometría ZR- 8 Retiene Tamiz N°200

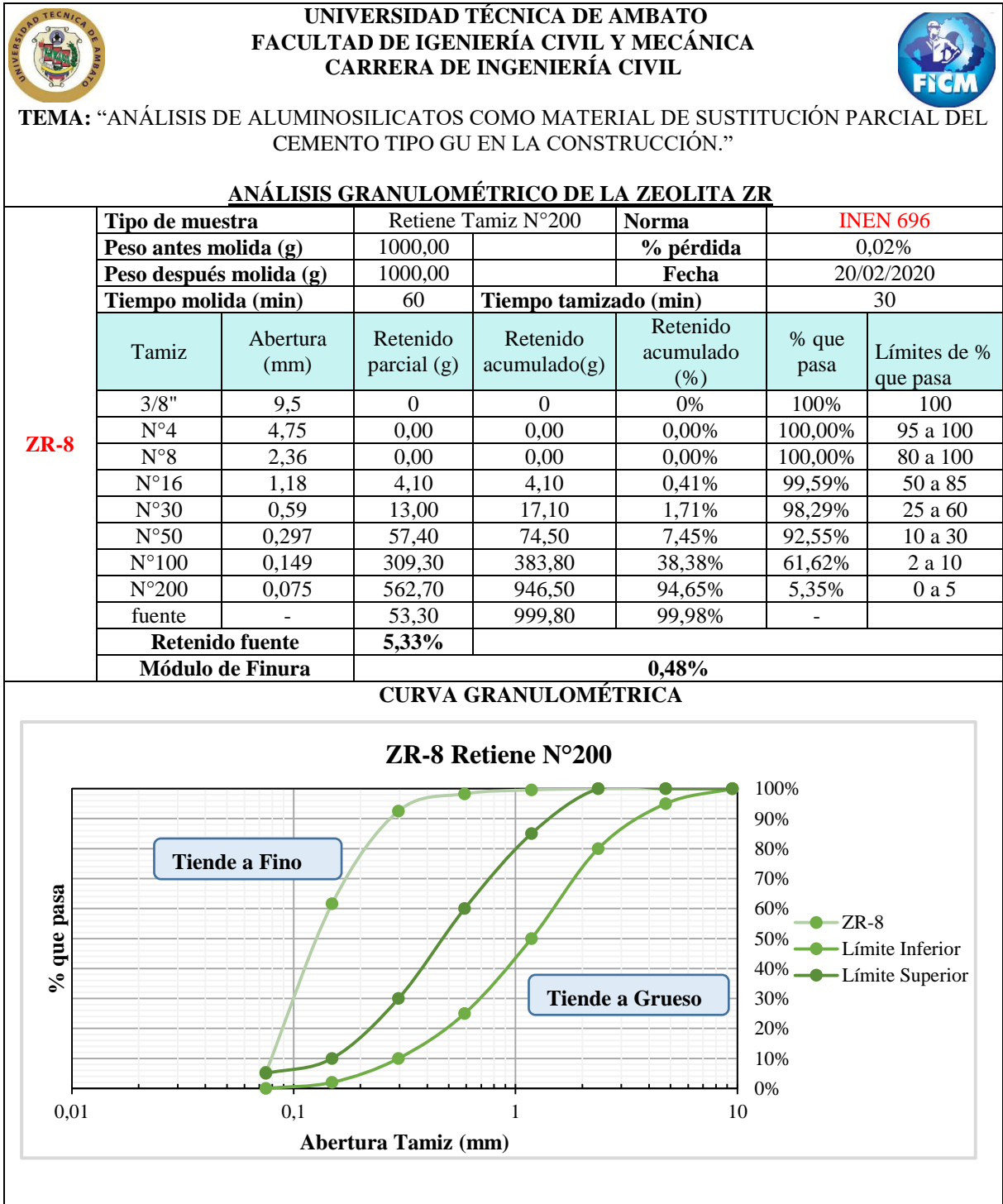




Tabla 68. Granulometría ZR- 9 Retiene Tamiz N°200



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

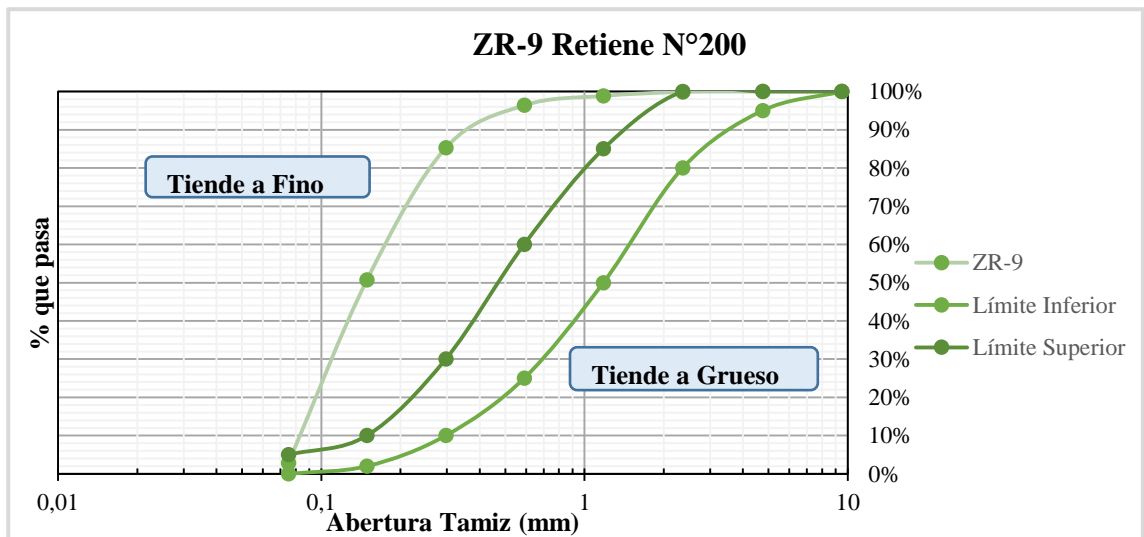


**TEMA: “ANÁLISIS DE ALUMINOSILICATOS COMO MATERIAL DE SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO TIPO GU EN LA CONSTRUCCIÓN.”**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ZEOLITA ZR**

<b>ZR-9</b>	<b>Tipo de muestra</b>		Retiene Tamiz N°200		<b>Norma</b>		<b>INEN 696</b>
	<b>Peso antes molida (g)</b>		1000,00		<b>% pérdida</b>		0,29%
	<b>Peso después molida (g)</b>		1000,00		<b>Fecha</b>		20/02/2020
	<b>Tiempo molida (min)</b>		120		<b>Tiempo tamizado (min)</b>		30
	<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido parcial (g)</b>	<b>Retenido acumulado(g)</b>	<b>Retenido acumulado (%)</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Límites de % que pasa</b>
	3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00%	100%	100
	N°4	4,75	0,00	0,00	0,00%	100,00%	95 a 100
	N°8	2,36	0,00	1,20	0,12%	99,88%	80 a 100
	N°16	1,18	10,30	11,50	1,15%	98,85%	50 a 85
	N°30	0,59	24,70	36,20	3,62%	96,38%	25 a 60
N°50	0,297	111,40	147,60	14,76%	85,24%	10 a 30	
N°100	0,149	345,70	493,30	49,33%	50,67%	2 a 10	
N°200	0,075	478,50	971,80	97,18%	2,82%	0 a 5	
fuente	-	25,30	997,10	99,71%	-		
<b>Retenido fuente</b>		<b>2,53%</b>					
<b>Módulo de Finura</b>		<b>0,69%</b>					

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Fuente: [Autor]

- **Análisis granulométrico de la Zeolita ZC**

Tabla 69. Granulometría ZC- 1 Retiene Tamiz N°4

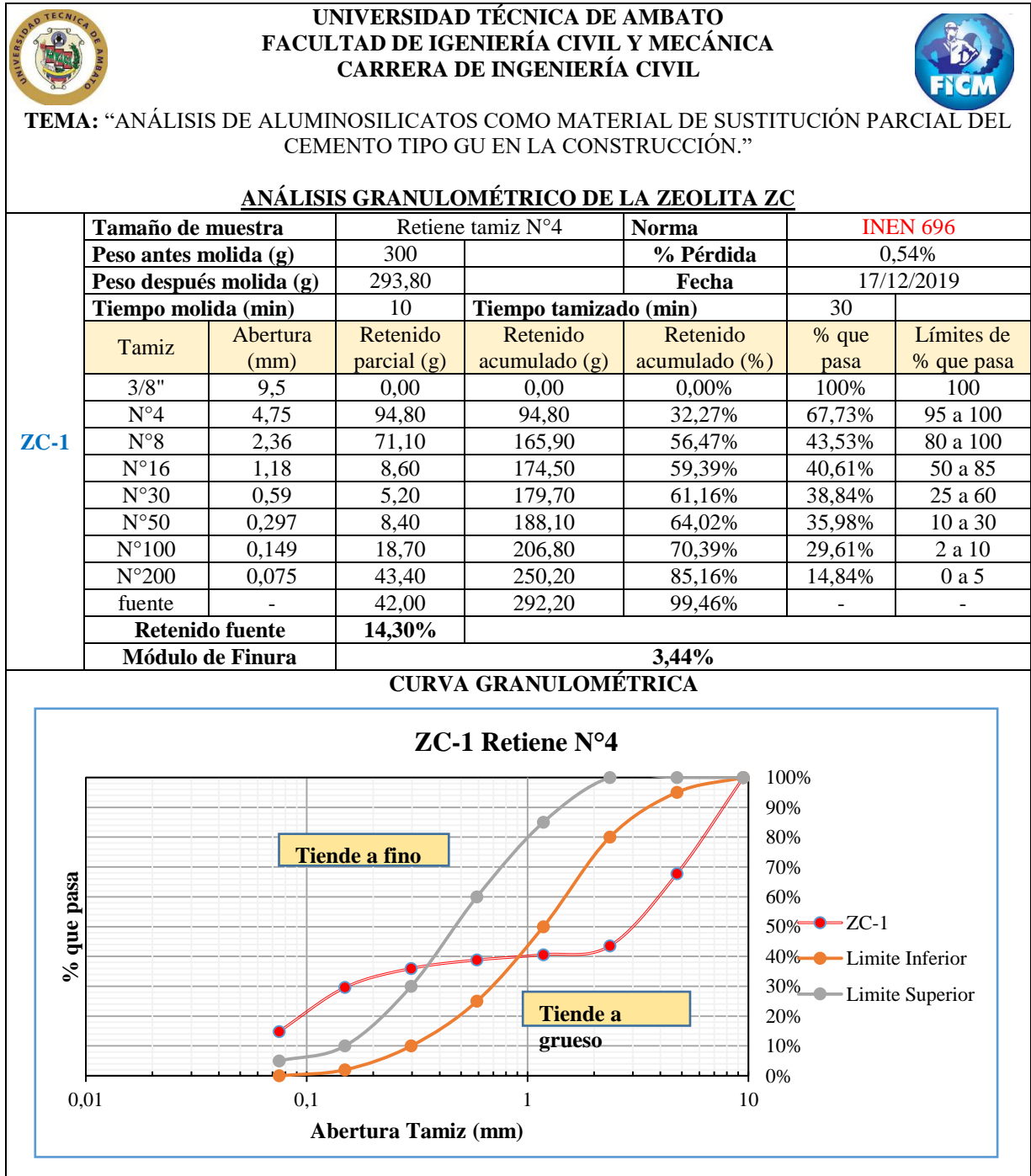




Tabla 70. Granulometría ZC- 2 Retiene Tamiz N°4

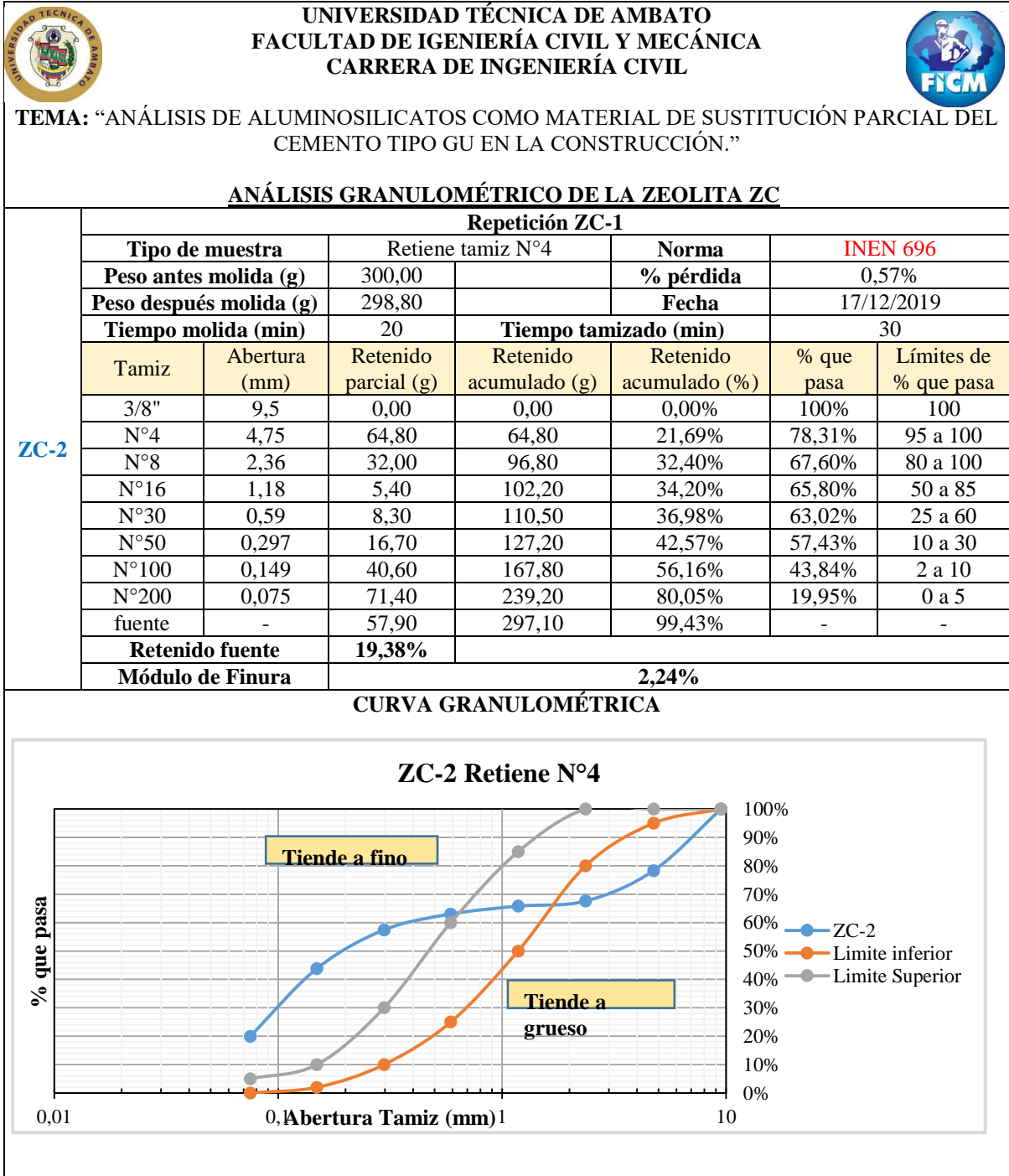


Tabla 71. Granulometría ZC- 3 Retiene Tamiz N°10

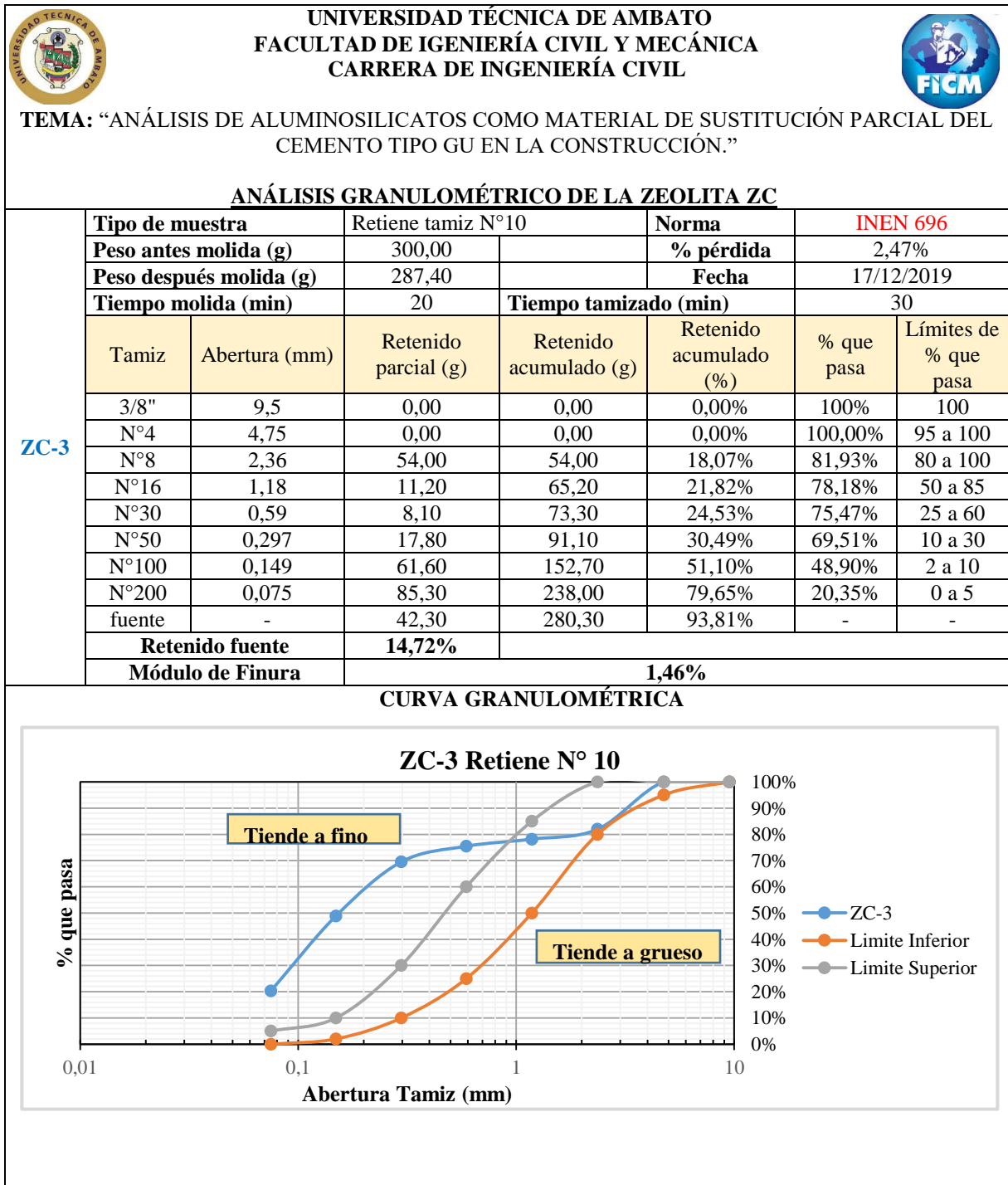
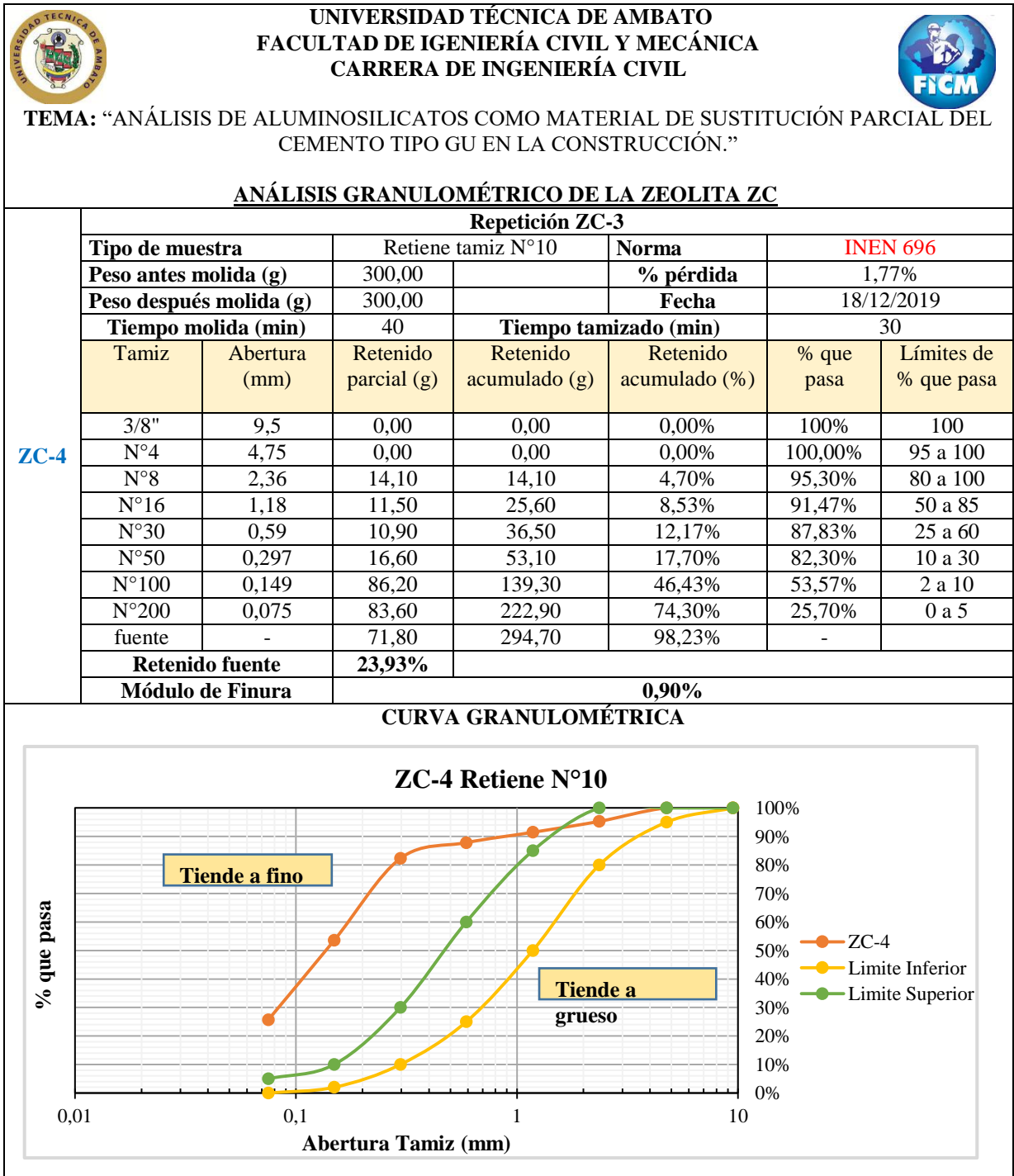
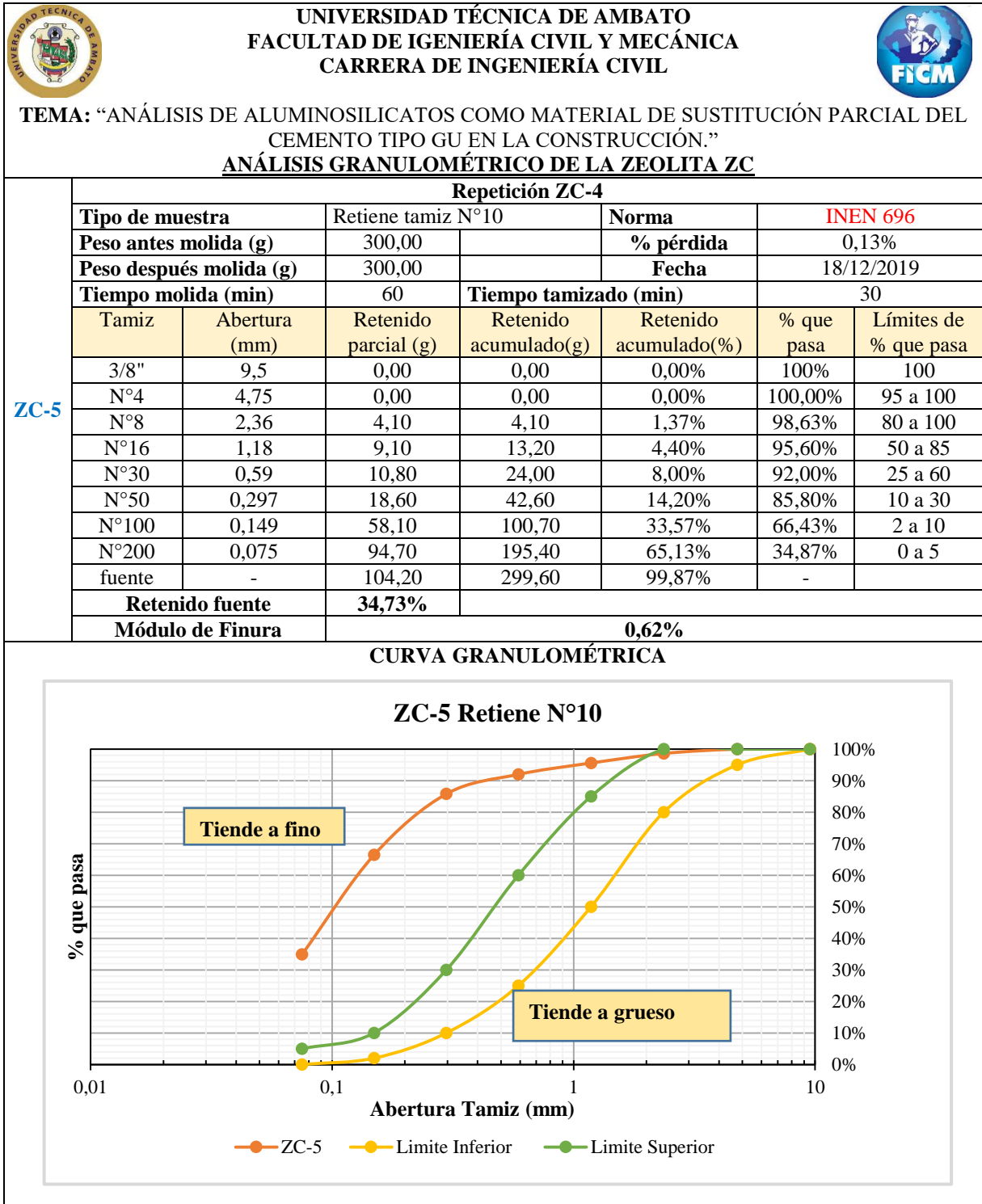


Tabla 72. Granulometría ZC- 4 Retiene Tamiz N°10



Fuente: [Autor]

Tabla 73. Granulometría ZC- 5 Retiene Tamiz N°10



Fuente: [Autor]

Tabla 74. Granulometría ZC- 6 Retiene Tamiz N°10

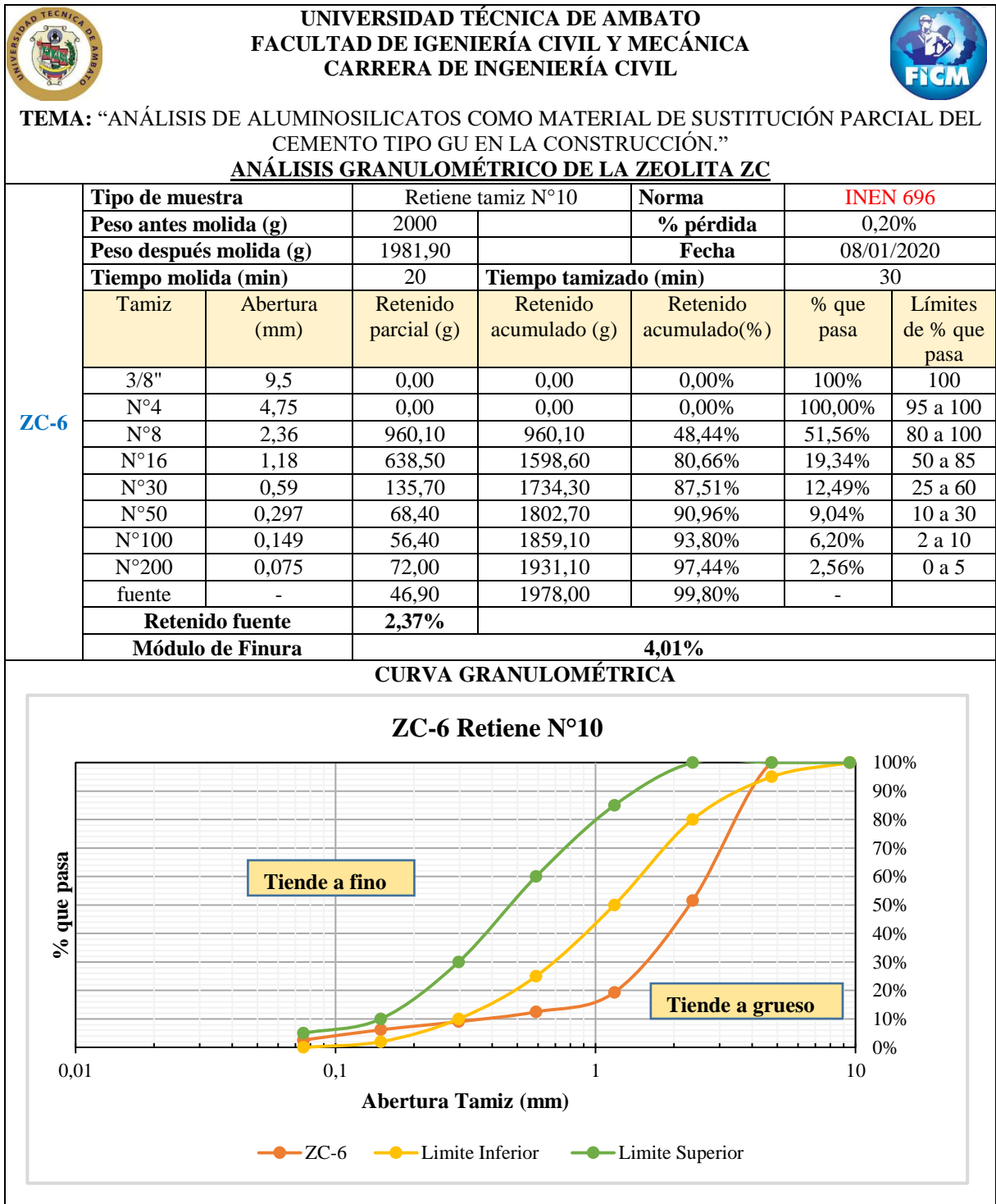


Tabla 75. Granulometría ZC- 7 Retiene Tamiz N°10.

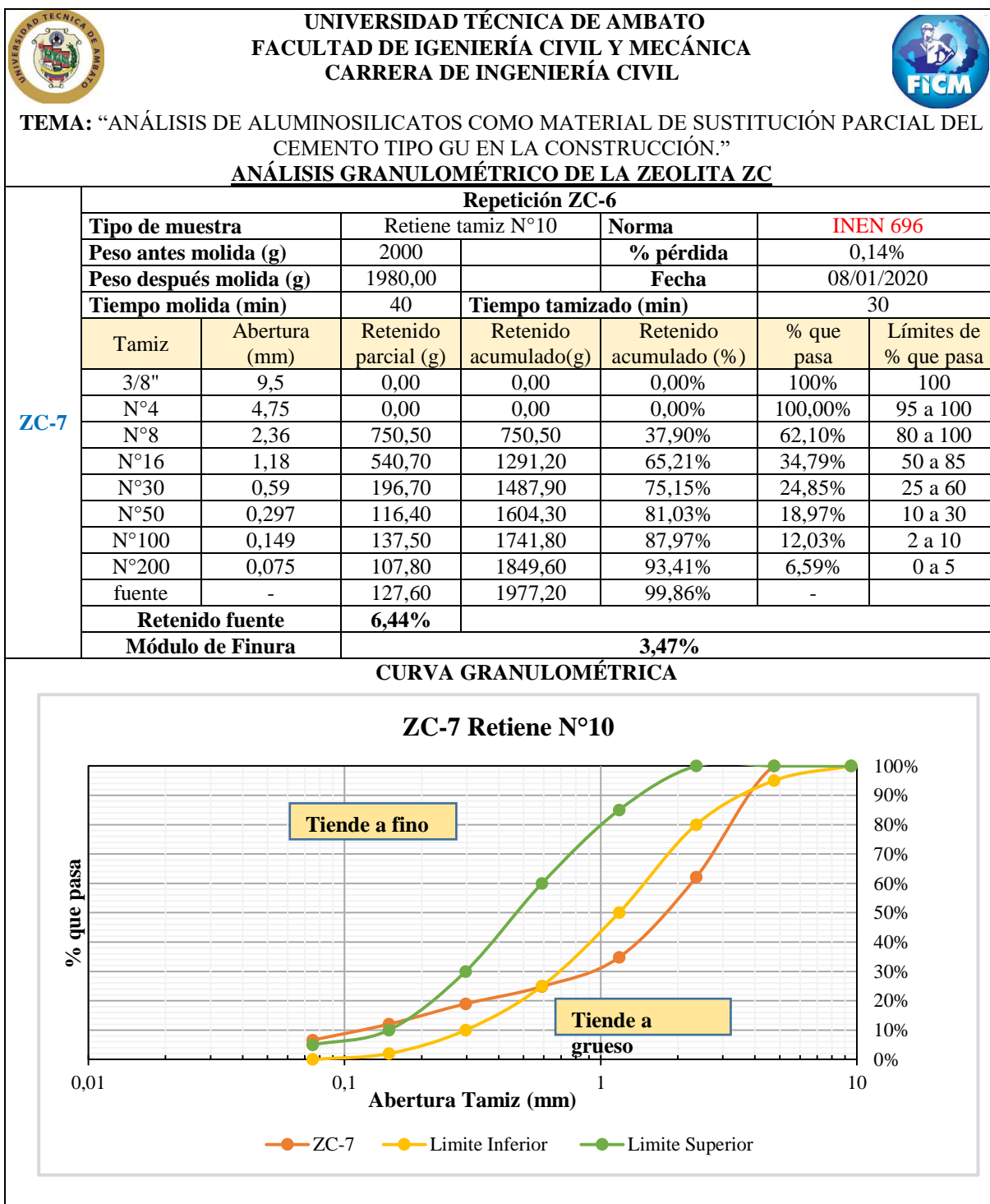


Tabla 76. Granulometría ZC- 8 Retiene Tamiz N°10.

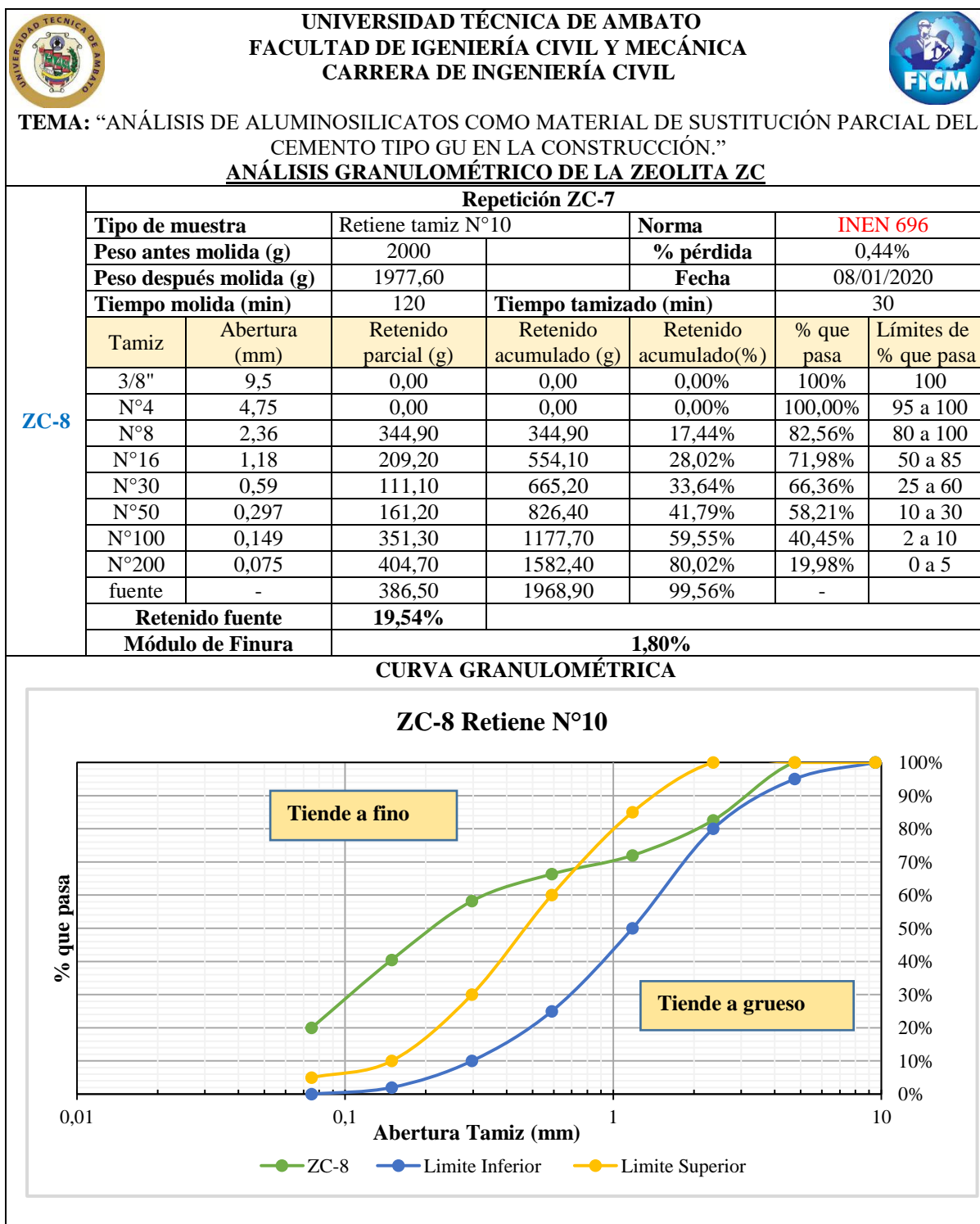
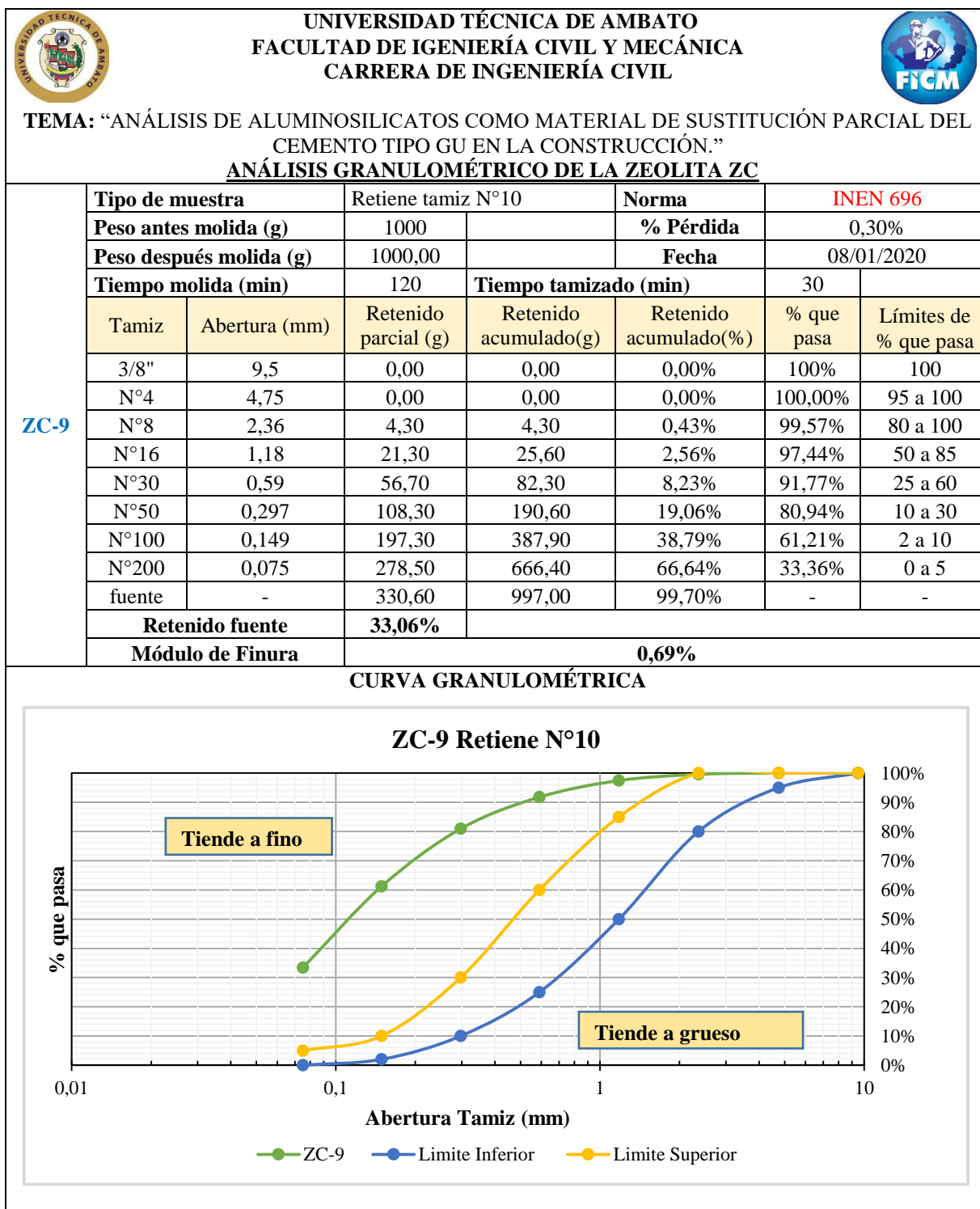


Tabla 77. Granulometría ZC- 9 Retiene Tamiz N°10.





**NOMENCLATURA PARA EL ENSAYO DE FINURA POR TAMIZADO SECO**

<b>Wf</b>	Peso Fuente
<b>Wt</b>	Peso Tamiz N°100
<b>W (&lt; 0,05)</b>	Peso muestra normado - pasa en 1 min
<b>R</b>	Wr último
<b>t</b>	Tiempo
<b>Wr</b>	Masa de la muestra retenida en el tamiz N°100
<b>Wm</b>	Peso de la muestra acumulada en la fuente
<b>F</b>	Finura de la muestra
<b>G60°</b>	Giro 60 grados
<b>G</b>	Golpes
<b>NA</b>	No Aplica
<b>m</b>	Masa total de la muestra del ensayo en gramos (50 g)
<b>mR</b>	Masa de la muestra retenida en el tamiz N°100 al final del ensayo

La determinación de este ensayo se lo realiza mediante la **Ecuación 3**.

$$F = 100\% - \frac{mR * 100\%}{m}$$

$$F = 100\% - \frac{0.02g * 100\%}{50g}$$

$$F = 100\% - 0.04\%$$

$$F = 99,96\%$$

- Finura por tamizado seco del cemento CGU

Tabla 78. Finura del Cemento 1/CGU según el método del tamizado seco.

ENSAYO 1/CGU										
FINURA DEL CEMENTO CGU SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (<0,05)	% retenido	% pasa(F)
Peso inicial		NA	NA	250,75	281,04	0	-	NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	250,8	330,98	50	0	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	259,08	322,65	41,61	8,33	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	262,45	319,17	38,13	11,7	NA	NA	NA
Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	300,13	281,52	0,48	49,38	37,68	0,96	99,04
	1	150	6	300,47	281,13	0,09	49,72	0,34	0,18	99,82
	1	150	6	300,5	281,06	0,02	49,75	0,03	0,04	99,96

Fuente: Verónica E. Salcedo R.

Tabla 79. Finura del Cemento 2/CGU según el método del tamizado seco.

ENSAYO 2/CGU										
FINURA DEL CEMENTO CGU SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (<0,05)	% retenido	% pasa(F)
Peso inicial	0	NA	NA	252,72	284,52	0	-	NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	252,81	334,46	50	0	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	276,92	310,26	25,74	24,2	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	279,61	307,46	22,94	26,89	NA	NA	NA
Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	302,38	284,66	0,14	49,66	22,77	0,28	99,72
	1	150	6	302,45	284,61	0,09	49,73	0,07	0,18	99,82
	1	150	6	302,48	284,55	0,03	49,76	0,03	0,06	99,94

Fuente: Verónica E. Salcedo R.

Tabla 80. Finura del Cemento 3/CGU según el método del tamizado seco.

ENSAYO 3/CGU										
FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (< 0,05)	% retenido	% pasa(F)
Peso inicial	0	NA	NA	252,72	284,52	0	-	NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	252,8	334,44	50	0	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	265,03	322,16	37,64	12,31	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	270,92	316,15	31,63	18,2	NA	NA	NA
Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	302,31	284,74	0,22	49,59	31,39	0,44	99,56
	1	150	6	302,43	284,6	0,08	49,71	0,12	0,16	99,84
	1	150	6	302,45	284,55	0,03	49,73	0,02	0,06	99,94

Fuente: Verónica E. Salcedo R.

Tabla 81. Finura del Cemento 4/CGU según el método del tamizado seco.

ENSAYO 4/CGU										
FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (< 0,05)	% retenido	% pasa(F)
Peso inicial	0	NA	NA	252,72	284,52	0	-	NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	252,79	334,45	50	0	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	261,71	325,43	40,91	8,99	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	265,97	321,05	36,53	13,25	NA	NA	NA
Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	301,35	285,67	1,15	48,63	35,38	2,3	97,7
	1	150	6	302,38	284,63	0,11	49,66	1,03	0,22	99,78
	1	150	6	302,42	284,54	0,02	49,7	0,04	0,04	99,96

Fuente: Verónica E. Salcedo R.

- Finura por tamizado seco de la Zeolita ZR

Tabla 82. Finura de la Zeolita 1/ZR según el método del tamizado seco.

Humedad Relativa del Ambiente ( % )	63	Fecha:	29/01/2020	Condiciones del día				Giros	4'	122
Temperatura Ambiente (°C)	23	Hora:	11:30:00	Parcialmente soleado					8'	268
<b>ENSAYO 1/ZR</b>										
<b>FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489</b>										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (< 0,05)	% retenido	% pasa (F)
Peso inicial		NA	NA	250,76	281,07	0		NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	250,76	331,04	50	0	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	270,76	312,92	31,85	20	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	290,12	293,48	12,41	290,12	NA	NA	NA
Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	298,08	285,5	4,43	298,08	NA	NA	NA
	1	150	6	301,03	282,56	1,49	301,03	2,95	2,98	97,02
	1	150	6	302,22	281,37	0,3	302,22	1,19	0,6	99,4
	1	150	6	302,29	281,3	0,23	302,29	0,07	0,46	99,54
	1	150	6	302,39	281,18	0,11	302,39	0,1	0,22	99,78
	1	150	6	302,42	281,15	0,08	302,42	0,03	0,16	99,84

Fuente: [Autor]

Tabla 83. Finura de la Zeolita 2/ZR según el método del tamizado seco.

Humedad Relativa del Ambiente ( % )	76	Fecha:	03/02/2020	Condiciones del día				Giros	4'	141
Temperatura Ambiente (°C)	20	Hora:	10:35:00	Parcialmente Nublado					8'	270
<b>ENSAYO 2/ZR</b>										
<b>FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489</b>										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (<0,05)	% retenido	%pasa (F)
Peso inicial		NA	NA	337,17	284,6	0	-	NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	337,17	334,63	50	0	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	357,26	314,55	29,95	20,09	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	374,95	296,81	12,21	37,78	NA	NA	NA
	1	150	6	381,74	290,03	5,43	44,57	NA	NA	NA

Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	385,68	286,07	1,47	48,51	3,94	2,94	97,06
	1	150	6	386,81	284,95	0,35	49,64	1,13	0,7	99,3
	1	150	6	387,03	284,71	0,11	49,86	0,22	0,22	99,78
	1	150	6	387,05	284,69	0,09	49,88	0,02	0,18	99,82

Fuente: [Autor]

Tabla 84. Finura de la Zeolita 3/ZR según el método del tamizado seco.

Humedad Relativa del Ambiente ( % )	44	Fecha:	28/01/2020	Condiciones del día	Giros	4'	150			
Temperatura Ambiente(°C)	24	Hora:	14:20:00	Soleado		8'	272			
<b>ENSAYO 3/ZR</b>										
<b>FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489</b>										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (< 0,05)	% retenido	% pasa (F)
Peso inicial	0	NA	NA	337,15	284,57	0,00		NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	337,15	334,49	50,00	0,00	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	364,59	306,84	22,27	27,44	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	374,15	297,12	12,55	37,00	NA	NA	NA
Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	384,64	286,59	2,02	47,49	10,49	4,04	95,96
	1	150	6	386,06	285,11	0,54	48,91	1,42	1,08	98,92
	1	150	6	386,24	284,83	0,26	49,09	0,18	0,52	99,48
	1	150	6	386,33	284,68	0,11	49,18	0,09	0,22	99,78
	1	150	6	386,33	284,67	0,10	49,18	0,00	0,20	99,80

Fuente: [Autor]

Tabla 85. Finura de la Zeolita 4/ZR según el método del tamizado seco.

Humedad Relativa del Ambiente ( % )	49	Fecha:	28/01/2020	Condiciones del día	Giros	4'	148			
Temperatura Ambiente (°C)	23	Hora:	15:35:00	Soleado		8'	264			
<b>ENSAYO 4/ZR</b>										
<b>FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489</b>										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (< 0,05)	% retenido	% pasa (F)
Peso inicial	0	NA	NA	337,15	284,57	0,00		NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	337,15	334,39	50,00	0,00	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	367,07	304,38	19,81	29,92	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	371,43	299,85	15,28	34,28	NA	NA	NA

Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	386,41	284,84	0,27	49,26	14,98	0,54	99,46
	1	150	6	386,55	284,65	0,08	49,40	0,14	0,16	99,84
	1	150	6	386,55	284,64	<b>0,07</b>	49,40	<b>0,00</b>	0,14	<b>99,86</b>

Fuente: [Autor]

- Finura por tamizado seco de la Zeolita ZCa

Tabla 86. Finura de la Zeolita 1/ZCa según el método del tamizado seco.

Humedad Relativa del Ambiente (%)	67	Fecha:	03/02/2020	Condiciones del día	Giros	4'	156			
Temperatura Ambiente (°C)	23	Hora:	12:45:00	Parcialmente Nublado		8'	293			
<b>ENSAYO 1/ZCa</b>										
<b>FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489</b>										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (<0,05)	% retenido	% pasa(F)
Peso inicial	0	NA	NA	337,17	284,6	0	-	NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	337,17	334,5	50,00	0	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	352,31	318,9	34,3	15,14	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	366,65	304,22	19,62	29,48	NA	NA	NA
Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	378,42	292,43	7,83	41,25	11,77	15,66	84,34
	1	150	6	384,83	286,03	1,43	47,66	6,41	2,86	97,14
	1	150	6	386,08	284,75	0,15	48,91	1,25	0,3	99,7
	1	150	6	386,08	284,73	<b>0,13</b>	48,91	<b>0,00</b>	0,26	<b>99,74</b>

Fuente: [Autor]

Tabla 87. Finura de la Zeolita 2/ZCa según el método del tamizado seco.

Humedad Relativa del Ambiente (%)	51	Fecha:	05/02/2020	Condiciones del día	Giros	4'	116			
Temperatura Ambiente (°C)	22	Hora:	13:00:00	Mayormente soleado		8'	236			
<b>ENSAYO 2/ZCa</b>										
<b>FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489</b>										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (<0,05)	% retenido	% pasa(F)
Peso inicial	0	NA	NA	337,13	284,57	0	-	NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	337,13	334,51	50,00	0	NA	NA	NA

<b>mov-giratorio</b>	4	NA	NA	355,87	315,19	30,62	18,74	NA	NA	NA
<b>mov-giratorio</b>	8	NA	NA	377,03	297,57	13	39,9	NA	NA	NA
<b>Ensayos de 1 minuto golpe-giro</b>	1	150	6	379,69	290,88	6,31	42,56	2,66	12,62	87,38
	1	150	6	382,67	287,88	3,31	45,54	2,98	6,62	93,38
	1	150	6	384,08	286,45	1,88	46,95	1,41	3,76	96,24
	1	150	6	384,79	285,73	1,16	47,66	0,71	2,32	97,68
	1	150	6	385,22	285,27	0,7	48,09	0,43	1,4	98,6
	1	150	6	385,49	284,98	0,41	48,36	0,27	0,82	99,18
	1	150	6	385,59	284,87	0,3	48,46	0,1	0,6	99,4
	1	150	6	385,65	284,8	0,23	48,52	0,06	0,46	99,54
	1	150	6	385,73	284,7	0,13	48,6	0,08	0,26	99,74
	1	150	6	385,74	284,68	<b>0,11</b>	48,61	<b>0,01</b>	0,22	<b>99,78</b>

Fuente: [Autor]

Tabla 88. Finura de la Zeolita 3/ZCa según el método del tamizado seco.

<b>Humedad Relativa del Ambiente ( % )</b>	48	<b>Fecha:</b>	28/01/2020	<b>Condiciones del día</b>	<b>Giros</b>	4'	186			
<b>Temperatura Ambiente(°C)</b>	22	<b>Hora:</b>	12:25:00	Soleado		8'	283			
<b>ENSAYO 3/ZCa</b>										
<b>FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489</b>										
	<b>t (min)</b>	<b>G</b>	<b>G 60°</b>	<b>Wf (g)</b>	<b>Wt (g)</b>	<b>Wr (g)</b>	<b>Wm (g)</b>	<b>W (&lt; 0,05)</b>	<b>% retenido</b>	<b>% pasa(F)</b>
<b>Peso inicial</b>	0	NA	NA	250,64	281,07	0,00		NA	NA	NA
<b>Colocar muestra</b>	0	NA	NA	250,64	330,96	50,00	0,00	NA	NA	NA
<b>mov-giratorio</b>	4	NA	NA	274,01	307,01	25,94	23,37	NA	NA	NA
<b>mov-giratorio</b>	8	NA	NA	283,97	296,68	15,61	33,33	NA	NA	NA
<b>Ensayos de 1 minuto golpe-giro</b>	1	150	6	288,96	291,53	10,46	38,32	4,99	20,92	79,08
	1	150	6	292,39	288,08	7,01	41,75	3,43	14,02	85,98
	1	150	6	295,73	284,68	3,61	45,09	3,34	7,22	92,78
	1	150	6	298,52	281,80	0,73	47,88	2,79	1,46	98,54
	1	150	6	298,94	281,30	0,23	48,30	0,42	0,46	99,54
	1	150	6	298,95	281,29	<b>0,22</b>	48,31	<b>0,01</b>	0,44	<b>99,56</b>

Fuente: [Autor]

Tabla 89. Finura de la Zeolita 4/ZCa según el método del tamizado seco

Humedad Relativa del Ambiente ( % )	49	Fecha:	28/01/2020	Condiciones del día		Giros	4'	148		
Temperatura Ambiente(°C)	23	Hora:	16:00:00	Soleado			8'	264		
<b>ENSAYO 4/ZCa</b>										
<b>FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489</b>										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (< 0,05)	% retenido	% pasa(F)
Peso inicial	0	NA	NA	250,64	281,07	0,00		NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	250,64	330,74	50,00	0,00	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	277,92	303,15	22,08	27,28	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	284,87	295,88	14,81	34,23	NA	NA	NA
Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	289,90	290,78	9,71	39,26	5,03	19,42	80,58
	1	150	6	294,07	286,54	5,47	43,43	4,17	10,94	89,06
	1	150	6	298,50	282,12	1,05	47,86	4,43	2,10	97,90
	1	150	6	299,14	281,39	0,32	48,50	0,64	0,64	99,36
	1	150	6	299,25	281,24	0,17	48,61	0,11	0,34	99,66
	1	150	6	299,29	281,20	0,13	48,65	0,04	0,26	99,74

Fuente: [Autor]

- Finura por tamizado seco de la Zeolita ZC

Tabla 90. Finura de la Zeolita 1/ZC según el método del tamizado seco

<b>ENSAYO 1/ZC</b>										
<b>FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489</b>										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (<0,05)	% retenido	% pasa(F)
Peso inicial		NA	NA	252,76	284,58	0	0	NA	NA	NA
Colocar muestra	0	NA	NA	252,79	334,55	50	0,03	NA	NA	NA
mov-giratorio	4	NA	NA	268,11	319,17	34,59	15,35	NA	NA	NA
mov-giratorio	8	NA	NA	273,32	313,9	29,32	20,56	NA	NA	NA
Ensayos de 1 minuto golpe-giro	1	150	6	276,23	310,93	26,35	23,47	2,91	52,7	47,3
	1	150	6	281,76	305,33	20,75	29	5,53	41,5	58,5
	1	150	6	287,62	299,43	14,85	34,86	5,86	29,7	70,3
	1	150	6	291,73	295,31	10,73	38,97	4,11	21,46	78,54
	1	150	6	296,04	291,01	6,43	43,28	4,31	12,86	87,14
	1	150	6	298,47	288,56	3,98	45,71	2,43	7,96	92,04
	1	150	6	300,32	286,72	2,14	47,56	1,85	4,28	95,72
	1	150	6	301,85	285,18	0,6	49,09	1,53	1,2	98,8
	1	150	6	302,29	284,72	0,14	49,53	0,44	0,28	99,72
	1	150	6	302,33	284,67	0,09	49,57	0,04	0,18	99,82

Fuente: [Autor]



Tabla 91. Finura de la Zeolita 2/ZC según el método del tamizado seco

ENSAYO 2/ZC										
FINURA DEL CEMENTO SEGÚN EL METODO DEL TAMIZADO SECO INEN 0489										
	t (min)	G	G 60°	Wf (g)	Wt (g)	Wr (g)	Wm (g)	W (<0,05)	% retenido	% pasa(F)
<b>Peso inicial</b>	0	NA	NA	337,12	284,55	0	0	NA	NA	NA
<b>Colocar muestra</b>	0	NA	NA	337,15	334,46	50	0,03	NA	NA	NA
<b>Movimiento giratorio</b>	4	NA	NA	355,81	315,57	31,02	18,69	NA	NA	NA
<b>Movimiento giratorio</b>	8	NA	NA	356,31	314,95	30,4	19,19	NA	NA	NA
<b>Ensayos de 1 minuto golpe-giro</b>	1	150	6	358,12	313,06	28,51	21	1,81	57,02	42,98
	1	150	6	371,78	299,35	14,8	34,66	13,66	29,6	70,4
	1	150	6	380,88	290,22	5,67	43,76	9,1	11,34	88,66
	1	150	6	385,05	286	1,45	47,93	4,17	2,9	97,1
	1	150	6	386,27	284,77	0,22	49,15	1,22	0,44	99,56
	1	150	6	386,41	284,63	0,08	49,29	0,14	0,16	99,84
	1	150	6	386,44	284,59	<b>0,04</b>	49,32	<b>0,03</b>	0,08	<b>99,92</b>

Fuente: [Autor]

Anexo 4. Fotografías



*Figura 64. Visita en Sitio a las Minas*



*Figura 65. Recolección de rocas de Zeolita Natural*



*Figura 66. Molienda en la MA*



*Figura 67. Trituración Manual del Material*



*Figura 68. Molienda con MBT*



*Figura 69. Tamices para Análisis Granulométrico*



*Figura 70. Tamizado material molido.*



*Figura 71. Densidad del Cemento*



*Figura 72. Finura método Tamizado Seco*



*Figura 73. Ensayos de un minuto*