



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**  
**DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS  
DE ALUMINOSILICATOS DEL CANTÓN GUAYAQUIL PARA  
SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND IP”**

**AUTOR:** Ramiro Paul Fernández Álvarez

**TUTOR:** Ing. MSc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre

**AMBATO – ECUADOR**

**Enero -2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil con el tema: “**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE ALUMINOSILICATOS DEL CANTÓN GUAYAQUIL PARA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND IP**”, elaborado por el Sr. Ramiro Paul Fernández Álvarez portador de la cedula de ciudadanía: 0504001405, 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 competentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Enero 2021



---

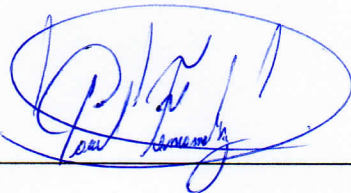
**Ing. MSc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre**

**TUTORA**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo Ramiro Paul Fernández Álvarez con CI: 0504001405 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE ALUMINOSILICATOS DEL CANTÓN GUAYAQUIL PARA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND IP”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Enero 2021



**Ramiro Paul Fernández Álvarez**

**C.I. 050400140-5**

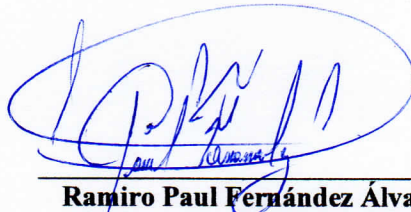
**AUTOR**

## **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 reglamentaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Enero 2021



**Ramiro Paul Fernández Álvarez**

**C.I. 050400140-5**

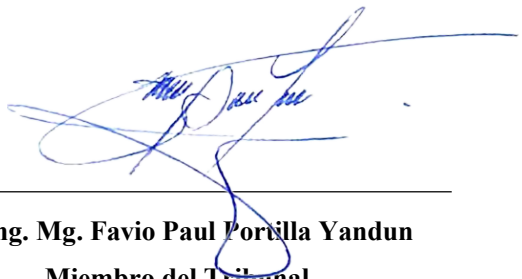
**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el trabajo experimental, realizado por el estudiante Ramiro Paul Fernández Álvarez, de la Carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE ALUMINOSILICATOS DEL CANTÓN GUAYAQUIL PARA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND IP”**.

Ambato, Enero 2021

Para constancia Firman:



---

**Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandun**  
**Miembro del Tribunal**



---

**Ph.D. Diana Carolina Coello Fiallos**  
**Miembro del Tribunal**

## DEDICATORIA

*A ti madre "Teresa", con tu amor, trabajo y sacrificio, me auxiliaste en mis caídas, levantándome del suelo una y otra vez, siempre estás conmigo cuando más te necesito, me permitiste llegar a esta meta, todo te lo debo a ti.*

*A ti padre "Ramiro" que me inculcaste trabajo constante, la dedicación y el amor a la Ingeniería Civil desde niño.*

*A mi hijita Mayte Fernández el motor de mi vida, que de parte de Dios vengan a nuestras vidas la recompensa de tanta dedicación, tanto esfuerzo y fe en la causa misma.*

## AGRADECIMIENTO

Antes que todos quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas necesarias en los momentos en que más las necesite e iluminarme para salir adelante.

A mis hermanas Alexandra, María y mi cuñado Andrés por el apoyo inquebrantable que recibo día a día, me ayudaron hasta donde les era posible, incluso más que eso.

A mi abuelita María Digna Isabel Viera Pacheco quien me imparte su gran sabiduría y consejos, que siempre me ayudan a salir adelante en momentos difíciles.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por todos estos años de formación, por convertirse en una fuente de conocimiento y facilitarme todas las instalaciones para formarme como profesional.

A la Ing. MSc. Maritza Ureña por su paciencia, por su calidad humana, especialmente por compartir su gran conocimiento en el desarrollo de esta tesis.

Al grupo de investigación conformado por los ingenieros Fabio Portilla, Santiago Medina, Cristian Medina y la Dra. Diana Coello por la ayuda brindada en todo este proyecto investigativo.

A la ESPOCH por permitirnos usar las instalaciones para la elaboración del SEM y EDS.

A la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) 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” dentro del cual se desarrolló esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO.....	1
1.1    Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1    Antecedentes .....	1
1.1.2    Justificación .....	4
1.1.3    Fundamentación Teórica.....	5
CEMENTO PORTLAND.....	5
Propiedades químicas del Cemento Portland .....	5
Tipos de cemento .....	8
CEMENTOS CON ADICIONES.....	9
Cemento Portland Puzolánico Tipo IP. ....	9
ZEOLITA NATURAL.....	12
CORDILLERA CHONGON-COLONCHE .....	12
CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS ZEOLITAS	
NATURALES.....	16
Composición química de la zeolita.....	17
PROPIEDADES MORFOLÓGICAS Y QUÍMICAS.....	19
-Microscopía electrónica de barrido (MEB o SEM, por sus siglas	
en inglés, Scanning Electron Microscopy) .....	19
- Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS, por	
sus siglas en inglés, Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) .....	21
PROPIEDADES FÍSICAS.....	23
-DENSIDAD REAL.....	23
- FINURA .....	25
-MÉTODO DIRECTO (TAMIZADO SECO).....	25
-MÉTODO INDIRECTO (APARATO DE BLAINE) .....	26
-TIEMPO DE FRAGUADO .....	27
1.1.4    Hipótesis .....	30



1.2	Objetivos .....	30
1.2.1	Objetivo General .....	30
1.2.2	Objetivos Específicos .....	30
<b>CAPITULO II.- METODOLOGÍA.....</b>		<b>31</b>
2.1.	Materiales y Equipos .....	31
2.1.1	Materiales.....	31
2.1.2	Equipos.....	34
2.2.	Método .....	40
2.2.1	Obtención de Información.....	40
	Revisión fuente de consulta en el repositorio de la UTA.....	40
	Obtención mapas ARCOM.....	40
	Contactos a los dueños de minas de aluminosilicatos.....	40
2.2.2	Obtención de los Materiales .....	42
	Obtención del cemento SELVALEGRE Portland 1P .....	43
2.2.3	Preparación de Materiales .....	43
2.2.3.1	Trituración de Aluminosilicatos .....	43
2.2.3.2	Ensayos Realizados .....	50
	<b>DENSIDAD REAL .....</b>	<b>50</b>
	Determinación de la Densidad del Cemento (Peso Específico) ....	50
	<b>CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO .....</b>	<b>52</b>
	<b>FINURA.....</b>	<b>54</b>
	Determinación de la Finura por Tamizado Seco .....	54
	<b>PROCEDIMIENTO PARA EL SEM Y EDS .....</b>	<b>57</b>
<b>CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>59</b>
3.1.	Análisis y discusión de resultados .....	59
	<b>MAPAS GENERADOS EN ARCGIS .....</b>	<b>59</b>
	<b>MAPA DE LA CORDILLERA CHONGON- COLONCHE .....</b>	<b>60</b>
	<b>MAPA DE LOS PUNTOS TOMADOS CON GPS .....</b>	<b>62</b>
	<b>MAPA DE LOS PUNTOS EN EL CANTÓN GUAYAQUIL .....</b>	<b>64</b>
	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MOLIENDA DE LA ZA .....</b>	<b>68</b>
	<b>Ensayo Densidad. - Método del Picnómetro .....</b>	<b>76</b>
	Calibración del picnómetro .....	76
	<b>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO (SELVALEGRE PLUS IP) .....</b>	<b>77</b>
	<b>DENSIDAD REAL ALUMINOSILICATO ZZ .....</b>	<b>78</b>
	Densidad de la ZZ método del picnómetro a temperatura ambiente de 23°C.....	79
	<b>DENSIDAD REAL ALUMINOSILICATO ZI.....</b>	<b>80</b>
	Densidad de la ZI método del picnómetro a temperatura ambiente de 23°C .....	81
	<b>DENSIDAD REAL ALUMINOSILICATO ZA .....</b>	<b>82</b>
	Densidad de la ZA método del picnómetro a temperatura ambiente de 23°C.....	83

RESUMEN DE LA DENSIDAD DE CEMENTO Y ZEOLITAS	84
ENSAYO FINURA MÉTODO DEL TAMIZADO SECO .....	85
Finura por Tamizado Seco del cemento portland SELVA	
ALEGRE IP.....	85
Finura por Tamizado Seco de ZZ .....	86
Finura por Tamizado Seco de ZI .....	87
Finura por Tamizado Seco de ZA .....	88
RESUMEN DE LA FINURA DE CEMENTO Y ZEOLITAS .....	89
RESULTADOS SEM Y EDS.....	90
Cemento Selva Slegre Tipo IP .....	90
Aluminosilicato ZZ (SEM y EDS).....	94
Aluminosilicato ZI (SEM y EDS).....	97
Aluminosilicato ZA (SEM y EDS).....	99
RESUMEN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CEMENTO	
Y ZEOLITAS .....	102
3.2. Verificación de la hipótesis .....	103
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	104
4.1. Conclusiones.....	104
4.2. Recomendaciones.....	106
C. MATERIALES DE REFERENCIA .....	108
Referencias Bibliográficas .....	108
ANEXOS .....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Abreviaturas para las fórmulas químicas de los compuestos más frecuentes [18].	6
<b>Tabla 2:</b> Proporciones aproximadas de los compuestos del cemento portland [18] [21].	7
<b>Tabla 3 :</b> Tipos de cemento portland, composición química, resistencia y aplicaciones [20].	8
<b>Tabla 4:</b> Requisitos químicos normalizados para el cemento portland IP [23].	10
<b>Tabla 5:</b> Requisitos Físicos Normalizados [23].	11
<b>Tabla 6:</b> Ejemplos de las Zeolitas más Típicas ajustado de [32] [33][34]	16
<b>Tabla 7:</b> Densidades de la Clinoptilolita a diferente granulometría [42].	24
<b>Tabla 8:</b> Elementos químicos con su densidad.	24
<b>Tabla 9</b> Requisitos físicos y químicos para el cemento Selva Alegre [53].	31
<b>Tabla 10.</b> Propiedades físicas y químicas de ZI [55].	32
<b>Tabla 11.</b> Propiedades de ZZ [56].	33
<b>Tabla 12:</b> Obtención de las ZZ, ZA, ZI	42
<b>Tabla 13:</b> Zeolitas recolectadas para la investigación	42
<b>Tabla 14:</b> Pesos de la ZA obtenidos mediante la MA.	44
<b>Tabla 15:</b> Molienda de la ZA en la Maquina de los Ángeles.	45
<b>Tabla 16:</b> Pesos de la ZA triturados 2 horas en el Molino de Bolas.	47
<b>Tabla 17:</b> Molienda de la ZA en el Molino de Bolas.	49
<b>Tabla 18.</b> Procesos para la determinación de la densidad de las muestras	52
<b>Tabla 19.</b> Pasos para el ensayo de finura por tamizado seco.	56
<b>Tabla 20:</b> Características del cañón de electrones TE [40]	57
<b>Tabla 21:</b> Características del JEOL- EDS [40].	58
<b>Tabla 22.</b> Ubicación de las muestras de ZZ, ZA,ZI tomadas con GPS	65
<b>Tabla 23:</b> CATASTRO DE LAS ZEOLITAS DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS	66
<b>Tabla 24:</b> Molienda 1	68
<b>Tabla 25:</b> Molienda 2	69
<b>Tabla 26:</b> Molienda 3	70
<b>Tabla 27:</b> Molienda 4	71
<b>Tabla 28:</b> Molienda 5	72
<b>Tabla 29:</b> Molienda 6	73
<b>Tabla 30:</b> Molienda 7	74
<b>Tabla 31:</b> Molienda 8	75
<b>Tabla 32:</b> Densidad Real del cemento “SELVALEGRE IP”	77
<b>Tabla 33:</b> Densidad de la ZZ por calibración del picnómetro	78
<b>Tabla 34.-</b> Densidad Real del Aluminosilicato ZZ.	79
<b>Tabla 35:</b> Densidad de la ZI por calibración del picnómetro	80
<b>Tabla 36.-</b> Densidad Real del Aluminosilicato ZI.	81
<b>Tabla 37:</b> Densidad de la ZA por calibración del picnómetro.	82
<b>Tabla 38.-</b> Densidad Real del Aluminosilicato ZA	83

<b>Tabla 39.-</b> Finura del cemento por el método de Tamizado Seco del cemento SELVALEGRE IP .....	85
<b>Tabla 40.-</b> Finura del aluminosilicato ZZ por el método de Tamizado Seco .....	86
<b>Tabla 41.-</b> Finura del aluminosilicato ZI por el método de Tamizado Seco .....	87
<b>Tabla 42.-</b> Finura del aluminosilicato ZA por el método de Tamizado Seco.....	88
<b>Tabla 43.</b> Microanálisis EDS cuantitativo del cemento selva alegre Plus 1P o composición elemental.....	92
<b>Tabla:44</b> Composición Química calculada del Cemento selva alegre portland IP .....	92
<b>Tabla 45.-</b> Porcentajes másicos y atómico de los elementos en espectro EDS del Aluminosilicato ZZ .....	95
<b>Tabla. 46</b> Cálculos de los óxidos del espectro EDS de ZZ.....	95
<b>Tabla 47.-</b> Porcentajes másicos y atómico de los elementos en espectro EDS del Aluminosilicato ZI .....	98
<b>Tabla 48</b> Cálculos de los óxidos del espectro EDS de ZI.....	98
<b>Tabla 49:</b> EDS -Porcentaje de Masa y Número Atómico del Aluminosilicato ZA. ....	101
<b>Tabla 50:</b> Composición Química de ZA.....	101
<b>Tabla 51:</b> RESUMEN DE ÓXIDOS .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1</b> Orientación tridimensional de silicatos tetraédricos en los tectosilicatos [28].....	12
<b>Fig. 2</b> Ubicación de la Cordillera Chongón Colonche y del área de la Formación Cayo[31].....	14
<b>Fig. 3</b> Procesadora Zeonatec. ....	15
<b>Fig. 4:</b> Estructura básica de una zeolita [2].....	17
<b>Fig. 5</b> Industria tradicional de zeolitas naturales.....	18
<b>Fig. 6:</b> Esquema de un Microscopio Electrónico de Barrido [37].....	20
<b>Fig. 7</b> Construcción del detector de semiconductores EDS [40].....	22
<b>Fig. 8</b> Resultados que se pueden obtener mediante SEM a) Imagen SEM y b) Espectro EDS [39].....	22
<b>Fig. 9</b> Aparato del Blaine [49].....	27
<b>Fig. 10</b> Aguja de Vicat [50].....	28
<b>Fig. 11:</b> Resistencia a la penetración de una pasta de cemento portland [52]....	29
<b>Fig. 12:</b> Cemento Portland tipo 1P.....	31
<b>Fig. 13:</b> Indami Zeolita 200 (ZI).....	32
<b>Fig. 14:</b> Zeonatec Mineplus (ZZ).....	33
<b>Fig. 15:</b> Zeolita Azul (ZA).....	33
<b>Fig. 16.</b> Picnómetro para sólidos pulverizados.....	34
<b>Fig. 17</b> Juego de tamices. ....	34
<b>Fig. 18</b> Página Control Minero ARCOM [57] .....	35
<b>Fig. 19</b> Página principal ARCGIS.....	35
<b>Fig. 20</b> Balanza electrónica .....	36
<b>Fig. 21</b> Balanza electrónica Adventurer.....	36
<b>Fig. 22</b> Baño María.....	37
<b>Fig. 23</b> Tamizadora.....	37
<b>Fig. 24</b> Máquina de los Ángeles.....	38
<b>Fig. 25.</b> Molino de Bolas [58]. ....	38
<b>Fig. 26.</b> Microscopio electrónico de barrido A a Z [40] .....	39
<b>Fig. 27:</b> Mapa de las minas, procesadoras y oficinas según ARCOM ubicados en la Cordillera Chongon-Colonche .....	60
<b>Fig. 28</b> Mapa de minas, procesadoras y oficinas visitadas y con coordenadas GPS .....	62
<b>Fig. 29</b> Mapa de minas, procesadoras y oficinas del cantón Guayaquil .....	64
<b>Fig. 30:</b> Curva de calibración del volumen del picnómetro con la ecuación lineal de la recta y el coeficiente de correlación. ....	76
<b>Fig. 31:</b> Resumen de resultados de densidad de IP, ZZ, ZI, ZA. ....	84
<b>Fig. 32:</b> Resumen de Resultados de Finura de IP, ZZ, ZI, ZA por Tamizado Seco.....	89
<b>Fig. 33.</b> Imagen SEM del cemento Selvalegre 1P,.....	90
<b>Fig. 34:</b> Espectro EDS realizado en el área marcada en línea continua (color amarillo) de la imagen SEM de la <b>Fig. 33.</b> a) espectro del cemento 1P. b) tabla de condiciones de adquisición de la espectro. ....	91

<b>Fig. 35.</b> Imagen SEM del Aluminosilicato ZZ.....	94
<b>Fig. 36</b> Espectro EDS medido de la zona marcada en línea continua (color amarillo) de la imagen SEM de la <b>Fig. 35 a)</b> Espectro EDS de ZZ <b>b)</b> condiciones de adquisición .....	95
<b>Fig. 37.</b> Imagen SEM del Aluminosilicato ZI.....	97
<b>Fig. 38</b> Espectro EDS medido de la zona marcada en línea continua (color amarillo) de la imagen SEM de la <b>Fig. 37 a)</b> Espectro EDS de ZI <b>b)</b> condiciones de adquisición. ....	98
<b>Fig. 39.</b> Imagen SEM del Aluminosilicato ZA. ....	99
<b>Fig. 40</b> Espectro EDS medido de la zona marcada en línea continua (color amarillo) de la imagen SEM de la <b>Fig. 39 a)</b> Espectro EDS de ZZ <b>b)</b> condiciones de adquisición .....	100
<b>Fig. 41:</b> Resumen de óxidos obtenidos mediante EDS de IP, ZZ, ZI, ZA.....	102

## RESUMEN EJECUTIVO

Debido a que el cemento es un material natural o artificial presente en casi todas las construcciones del mundo, es normal decir que es el consumidor de grandes cantidades de recursos naturales y emisor de dióxido de carbono, por lo cual existe la necesidad de buscar un sustituto del cemento por materiales sostenibles y sustentables con el medio ambiente. En los laboratorios de Ingeniería Civil se comparó las propiedades físicas (morfología, densidad, granulometría, finura) y químicas de los aluminosilicatos ZA, ZI, ZZ (zeolitas) del cantón Guayaquil, con las del cemento Selva Alegre IP.

Aplicó el ensayo de densidad mediante la norma NTE INEN-156, obteniendo valores de ZZ igual a 2.514, ZI igual a 2.485, y ZA igual a 2.445 gramos sobre centímetro cúbico por calibración del picnómetro y otros valores de ZZ igual a 2.353, ZI igual a 2.233, y ZA igual a 2.408 gramos sobre centímetro cúbico a temperatura ambiente, los cuales indican que la densidad de la zeolita es muy variante.

Presento los porcentajes finales de finura de acuerdo a la NTE INEN-489 de las muestras de ZZ igual a 99.51, ZA igual a 99.04, ZI igual a 99.35, los cuales son óptimos en construcciones y se comparan con el porcentaje del cemento IP igual a 99.72, también se presenta las moliendas y graficas granulométricas como aporte extra a la investigación. Por otro lado, se indica la caracterización morfológica y química, por microscopia, el EDS mostró una homogénea distribución de elementos de las zeolitas con respecto al cemento, pero una heterogénea cantidad en porcentajes de cada elemento. En el SEM del cemento IP se observó estructuras cristalinas cubicas definidas y otras formas amorfas con dimensiones de 1 a 20 micras diferenciándose de la ZZ, ZI, ZA que presentaron cristales con superficies irregulares y estructuras no definidas, alargadas y poliédricas con dimensiones que van de 1 a 50 micras.

Los resultados finales de los ensayos físicos y químicos evidencian la factibilidad de utilizar estos aluminosilicatos como un material con potenciales características cementantes para ser un sustituto del cemento portland Selva Alegre IP.

**Palabras clave:** Zeolita; densidad; finura; SEM; EDS; Portland; granulometría

## ABSTRACT

Since cement is a natural or artificial material present in almost all the buildings in the world, it is normal to say that it is the consumer of large amounts of natural resources and emitter of carbon dioxide, so there is a need to find a substitute of cement for sustainable and environmentally friendly materials. In the Civil Engineering laboratories, the physical (morphology, density, grain size, fineness) and chemical properties of the aluminosilicates ZA, ZI, ZZ (zeolites) of the canton of Guayaquil were compared with those of Selva Alegre IP cement.

Apply the density test using the NTE INEN-156 standard, obtaining values of ZZ equal to 2,514, ZI equal to 2,485, and ZA equal to 2,445 grams on cubic centimeter by pycnometer calibration and other values of ZZ equal to 2,353, ZI equal at 2,233, and ZA equal to 2,408 grams per cubic centimeter at room temperature, which indicate that the density of the zeolite is very variable.

I present the final percentages of fineness according to NTE INEN-489 of the samples of ZZ equal to 99.51, ZA equal to 99.04, ZI equal to 99.35, which are optimal in constructions and are compared with the percentage of IP cement equal to 99.72, grinding and granulometric graphs are also presented as an additional contribution to the investigation. On the other hand, the morphological and chemical characterization is indicated, by microscopy, the EDS showed a homogeneous distribution of elements of the zeolites with respect to the cement, but a heterogeneous quantity in percentages of each element. Defined cubic crystalline structures and other amorphous forms with dimensions from 1 to 20 microns were observed in the SEM of IP cement, differing from ZZ, ZI, ZA that presented crystals with irregular surfaces and undefined, elongated and polyhedral structures with dimensions ranging from 1 to 50 microns.

The final results of the physical and chemical tests show the feasibility of using these aluminosilicates as a material with potential cementing characteristics to be a substitute for Selva Alegre IP Portland cement.

**Keywords:** Zeolite; density; fineness; SEM; EDS; Portland; grain size



# CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

## 1.1 Antecedentes Investigativos

### 1.1.1 Antecedentes

Las zeolitas naturales fueron empleadas en la construcción desde tiempos prehistóricos como piedra de fábrica para la construcción de viviendas y refugios. Este uso es aún el más común en la industria de la construcción, aunque otras aplicaciones están recientemente llevando un gran avance [1].

Las rocas ígneas volcánicas ricas en zeolitas están distribuidas en la mayoría de países del mundo, desde 1954 las zeolitas naturales o aluminosilicatos, son objeto de un gran número de investigaciones en el mundo científico-tecnológico [2].

-En Cuba en el año 2002 las zeolitas naturales procedentes del yacimiento Loma Blanca, San Andrés (HOLGUÍN), se han empleado con éxito en la fabricación de cementos, morteros y hormigones con resistencias normales a compresión superiores a los 50 Mpa, en tan sólo 28 días de fraguado [3].

-En el 2008 en España se realizó un reconocimiento geológico en la zona de Cabo de Gata, Almería, después de caracterizar las muestras por métodos como la difracción de rayos x (DRX), microscopía electrónica de barrido (MEB), entre otros, estudiaron la capacidad de estos materiales como agregados activos para el clínker de cementos. Posteriormente determinaron las capacidades físicas y mecánicas de estos materiales a través de la ejecución de ensayos con diferentes proporciones de cemento-zeolita natural. Para verificar la calidad del fraguado se llevó a cabo estudios adicionales de la influencia de la zeolita natural en la mezcla. Por último determinaron la calidad de la zeolita, mediante un estudio de propiedades que debe cumplir para ser aceptada como agregado natural [4].

-En el 2009 en Cuba un grupo de investigadores realizó un estudio de materiales cementicios suplementarios. El trabajo mostró la influencia del nivel de sustitución de los contenidos de Cemento Pórtland P-350 Tipo I por Adición Cal- Zeolita, comparando sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, para después ir evaluando varios niveles de sustitución, hasta formular el posible reemplazo de altos volúmenes de cemento, sin afectar al hormigón, como resultado lograron satisfacer los requerimientos de resistencia a compresión, trabajabilidad y durabilidad, con

reducciones notables en los consumos de cemento, sin afectar de forma significativa los requerimientos de la mezcla [5].

-En el año 2009 la Universidad de Teherán ubicada en Irán investigó una zeolita natural (NZ) tipo clinoptilolita, para ello presentaron el ensayo de difracción de rayos X, calcularon las propiedades físicas (densidad= 2.20, finura= 320 m<sup>2</sup>/kg). El cemento utilizado fue un ASTM cemento portland tipo II (densidad=3.14, finura= 290 m<sup>2</sup>/kg). Reemplazaron parcialmente el cemento para mejorar las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad del hormigón. Realizaron varias pruebas físicas y de durabilidad de hormigones que incorporan NZ. Las mezclas las fueron evaluando en términos de resistencia a la compresión, absorción, permeabilidad al oxígeno, entre otras. Como resultado la NZ utilizada fue más eficaz en términos de mejorar la resistencia a la compresión del hormigón debido a su alta pureza [6].

-En el año 2010 en la VIII Jornada Iberoamericana de Materiales de Construcción se mostró resultados prácticos obtenidos de investigaciones de tobas zeolíticas, capaces de sustituir al cemento portland. Los contenidos apreciables en sílice y en alúmina, los bajos contenidos en sulfato y materias orgánicas, y propiedades físicas como la superficie específica, entre otros y propiedades mecánicas, son las causas de la eficacia del cemento reemplazado parcialmente con zeolita natural. Aportando valores apreciables de resistencias mecánicas a edades cercanas y superiores a los 28 días [7].

-En el 2011 el Dr Jorge L. Costafreda Mustelier realizó varios estudios sobre el papel de las zeolitas naturales en el incremento de las resistencias mecánicas de cementos, morteros y hormigones. Varias especies de zeolitas fueron estudiadas, entre ellas modernita-heulandita, clinoptilolita-heulandita, tobas zeolitizadas, etc. realizó la caracterización de las zeolitas y la determinación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas por varios métodos. Los resultados sentaron bases para una consideración profunda de las posibilidades de uso intensivo de estos minerales en la mejora de materiales de construcción [8].

-En el 2012 se estudió en Brasil ciertas zeolitas sedimentarias, que se pueden usar como material puzolánico en sistemas a base de cemento Portland después de que el material haya sido tamizado y después de la activación térmica. Emplearon una zeolítica que pasa a través de un tamiz de malla # 200 y # 325 y la calcinaron a una

temperatura de 500 °C. El análisis químico de las muestras tamizadas se realizó mediante espectroscopía de fluorescencia de rayos X. Los resultados de la muestra tamizada a través de una malla # 200 fue más adecuada que la malla # 325, porque tenía un mayor porcentaje de material aglomerado [9].

-En el 2013 en Turquía se realizó un estudio sobre los efectos de diferentes tobas zeolíticas (Clinoptilolitas y Modernitas) en el cemento. Realizaron la caracterización mineralógica, química y física seguida de una investigación de factores físicos y químicos. Los experimentos mostraron que un área superficial específica más alta las zeolitas mejora la actividad puzolánica. El efecto principal de la relación Si/Al se observó en etapas posteriores. Estudiaron la resistencia a la compresión de cemento, mezclándolo con tobas zeolíticas como reemplazo del cemento Portland. Además, se examinaron las propiedades morfológicas, químicas y microestructurales del cemento hidratado. El DRX en la zeolita confirmó la disolución de las mismas y su participación en las reacciones puzolánicas. Como resultado, mostro una excelente resistencia a la compresión la toba rica en clinoptilolita [10].

-En el año 2013 en Cuba la empresa MINBAS investigó las ventajas de usar una zeolita de fracción fina inferior a 0.8 mm aplicada directamente en el proceso de mezclado y homogenización de los componentes del hormigón en las plantas hormigoneras con la ayuda empresas constructoras, como resultado lograron sustituir entre un 12 y 20 % el cemento Portland empleado en el hormigón sin detrimento de la calidad del mismo [11].

-En el año 2015 en Argentina se realizó un trabajo experimental usando una zeolita natural como un material con potencial actividad puzolánica y como reemplazo parcial en distintos porcentajes del cemento portland. Primero, la mezcla mineral se caracterizó física y químicamente para determinar su actividad y aplicación como puzolana. En una segunda etapa, se diseñaron diferentes mezclas de concreto con la incorporación de la mezcla mineral en diferentes proporciones (5, 10, 15 y 20%), y se probaron en estado fresco y endurecido [12].

Finalmente, investigaciones realizadas denotan claramente que con el pasar del tiempo, este material ha aumentado su uso en la construcción siendo actualmente usado para fabricar hormigones, aditivos para el cemento y morteros [2] [2], además

de ello , los resultados de ensayos mecánicos en hormigones evidencian la factibilidad de utilizar la zeolita para un reemplazo parcial del cemento [12].

### **1.1.2 Justificación**

Los aluminosilicatos tienen un gran número de investigaciones en el mundo por sus diversas aplicaciones [2], debido a que es un producto terminado que solo requiere ser molido para su utilización siendo una materia prima de bajo costo [13].

El estudio y desarrollo de nuevos materiales alternativos al cemento Portland es una línea de investigación prioritaria y de gran interés [14], dentro de estos materiales alternativos están aquellos que proceden de la activación alcalina de aluminosilicatos [15], así se pretende minimizar las emisiones de gases contaminantes (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera, y conseguir un apreciable ahorro energético.

En la industria cementera se explotan recursos naturales (canteras). A nivel mundial entre el 5-7% de las emisiones de CO<sub>2</sub> son debidas al sector cementero, además consume energía primaria, que se estima alrededor de un 3% del consumo global [14].

China es el mayor productor de aluminosilicatos (zeolitas) con 2,25 millones de toneladas, le sigue República de Korea 160000 t; Japón, con 140000-160000t; y Estados Unidos con 57400t. En todos estos países los mayores volúmenes están destinados como aditivo puzolánico del cemento [13].

En el Ecuador se comenzó con las primeras investigaciones en zeolitas naturales a finales de los años 90 [2], hoy en día está comercializándola y tiene aplicaciones en la agricultura como fertilizantes, y en acuicultura (extracción de amonio de piscinas de cultivo de camarón), y para la purificación de aguas servidas [16].

Ecuador tiene una gran demanda para el uso de zeolitas en la industria local de producción de cemento, porque la caliza, la base para la producción del cemento, es escasa en la costa del Ecuador y tiene que ser importada de regiones o países vecinos [16].

La contaminación descontrolada en de ríos, cañadas y esteros por efluentes industriales y mineros [17], usan Aluminosilicatos como alternativa efectiva para la descontaminación, su uso es el menor conocido en la construcción. Las Zeolitas de la

costa ecuatoriana son sumamente aptas para uso como puzolanas y puede así ser agregado al cemento [16].

Esta tecnología viene a ser una alternativa barata y limpia para el cuidado del medioambiente, problema que aqueja a gran parte de las ciudades del Ecuador [2].

Por todo lo dicho anteriormente que es un material fácil de conseguir, barato y por sus características químicas se presta a ser un material utilizado en la construcción.

### **1.1.3 Fundamentación Teórica**

#### **CEMENTO PORTLAND.**

El cemento se define como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, que le dan capacidad de juntar los agregados para formar un sólido compacto. Con ello se originan materiales como el concreto (cemento+arena+roca), mortero (cemento+ arena) y pasta (cemento+ agua).

La norma NTE INEN 152 establece las características y requisitos físicos y químicos que debe cumplir el cemento portland [18-20].

#### **Propiedades químicas del Cemento Portland**

Las principales materias primas usadas en la fabricación del cemento portland son la cal (CaO), sílice (SiO<sub>2</sub>), alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y el óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Las proporciones aproximadas de estos compuestos se encuentran en la **Tabla 2**, dichos elementos interactúan en la molienda del clinker formando una serie de elementos más complejos, hasta alcanzar un estado de equilibrio químico, con la excepción de un pequeño residuo de cal que no se combina, porque no tuvo suficiente tiempo para reaccionar.

En la química del cemento, las fórmulas se expresan a menudo con la suma de óxidos, se emplean abreviaturas para las fórmulas químicas de los óxidos más frecuentes como se muestran en la **Tabla 1**, el clinker portland es un mineral artificial formado por silicatos, aluminatos y ferro-aluminatos de calcio, por lo cual se suelen considerar cuatro compuestos principales del cemento (silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminio tricálcico, ferro-aluminato tetracálcico), estos compuestos no se presentan

aislados, sino que más bien puede hablarse de cuatro fases (Alita, Belita, Aluminato, ferrito) los porcentajes de ellos suelen estar en los rangos mostrados en la **Tabla 2** y revelan valiosa información en cuanto a propiedades del cemento.

La Alita ( $C_3S$ ) es la fase principal, de ella depende las características de desarrollo de resistencia mecánica, tiene mayor calor de hidratación por lo cual endurece más rápido influyendo en el tiempo de fraguado y en la resistencia inicial, la Belita ( $C_2S$ ) se hidrata más lentamente y su contribución al desarrollo de la resistencia empieza a sentirse después de una semana (resistencia a largo plazo), la fase Aluminato ( $C_3A$ ) contribuye a una alta resistencia inicial con un calor de hidratación alto, además confiere propiedades indeseables, como cambios volumétricos y resistencia pobre a los sulfatos (resistencia a corto plazo), la fase Ferrito ( $C_4AF$ ) esta debe mantenerse en un porcentaje mínimo por ser un relleno y la aportación de resistencia de este compuesto es nula [21].

**Tabla 1:** Abreviaturas para las fórmulas químicas de los compuestos más frecuentes [18].

<i>Nombre del óxido</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Abreviatura</i>
Oxido de calcio	$CaO$	C
Dióxido de silicio	$SiO_2$	S
Oxido de aluminio	$Al_2O_3$	A
Oxido férrico	$Fe_2O_3$	F
Agua	$H_2O$	H
Oxido de magnesio	$MgO$	M
Trióxido de azufre	$SO_3$	s
Oxido de potasio	$K_2O$	K
Oxido de sodio	$Na_2O$	N
Oxido de litio	$Li_2O$	L
Oxido de fósforo	$P_2O_5$	P
Oxido de hierro	$FeO$	f
Oxido de titanio	$TiO_2$	T
<i>Nombre del compuesto</i>	<i>Composición del óxido</i>	<i>Abreviatura</i>
Silicato tricálcico	$3CaOSiO_2$	$C_3S$
Silicato dicálcico	$2CaOSiO_2$	$C_2S$
Aluminio tricálcico	$3CaOAl_2O_3$	$C_3A$
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaOFe_2O_3Al_2O_3$	$C_4AF$

**Tabla 2:** Proporciones aproximadas de los compuestos del cemento portland [18] [21].

Oxido	Contenido, por ciento
CaO	60 – 67
SiO <sub>2</sub>	17 – 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5 – 6,0
MgO	0,1 – 4,0
Álcalis (Na <sub>2</sub> O y K <sub>2</sub> O)	0,2 – 1,3
SO <sub>3</sub>	1 – 3
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0 – 0,3
TiO <sub>2</sub>	0 – 0,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0 – 1,5
CaO <sub>2</sub>	0 – 2

Oxido	Contenido, por ciento
C <sub>3</sub> S	20 – 70
C <sub>2</sub> S	5 – 50
C <sub>3</sub> A	1 – 15
C <sub>4</sub> AF	1 – 17

**-Óxidos de sodio (Na<sub>2</sub>O) y potasio (K<sub>2</sub>O):** Llamados álcalis, reaccionan con otros agregados del cemento, producen expansión o agrietamientos anormales en el hormigón si su proporción es mayor a la indicada en la **Tabla 2**, aportan alta resistencia inicial lo cual influye en la velocidad de hidratación en el hormigón.

**-Cal libre (CaO<sub>2</sub>):** La presencia de este óxido es debido a que la calcinación fue incompleta; o al momento de enfriarlo no se hizo de forma adecuada, esto puede afectar uno de los compuestos principales del cemento como es la Alita.

**-Óxido de magnesio (MgO):** Este componente es típico en la caliza, produce expansión en el cemento luego de ser hidratado, esto genera unas tensiones internas que fisura la estructura del hormigón ya endurecida.

**-Trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>):** Proviene de los combustibles usados en la calcinación, si su proporción es menor a la indicada en la **Tabla 2**. Ocurre un fraguado rápido el cual afecta directamente la resistencia en el hormigón.

**-Óxido de manganeso (Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):** Aporta la coloración al cemento, dando un tono marrón si se encuentra a un rango mayor al establecido en la **Tabla 2**, puede disminuir la resistencia a largo plazo en el cemento.

**-Dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>):** si este componente es mayor al rango de la **Tabla 2** disminuye la resistencia.

**-Pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):** si su proporción es mayor al rango de la **Tabla 2** perturbará la cristalización de los compuestos en el cemento.

### Tipos de cemento

El cemento se clasifica de acuerdo a la normalización de cada país, en la NTE INEN 152 se clasifica al cemento portland en 5 tipos. La **Tabla 3** muestra algunos límites aproximados para cada uno de los componentes de los diferentes tipos de cementos, la resistencia a la compresión a las edades 1 y 28 días y algunos ejemplos de estructuras en donde se podría usar cada tipo de cemento.

**Tabla 3 :** Tipos de cemento portland, composición química, resistencia y aplicaciones [20].

Tipo de cemento	Características	Límites aproximados de la composición química				Resistencia relativa al Tipo I (%)		Ejemplo de uso
		C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	1 día	28 días	
Tipo I Tipo IA	Uso general	40-55	25-30	3-15	5-10	100	100	Obras de concreto en general donde las propiedades especiales de los otros tipos de cemento no son requeridas
Tipo II Tipo IIA Tipo II(MH) Tipo II(MH)A	Resistencia moderada a los sulfatos y bajo calor de hidratación	40-50	25-35	8	10-15	75	90	Estructuras de drenaje donde las concentraciones de sulfatos en aguas subterráneas son moderadas. Estructuras de masa considerable, como en muros de contención o cimentaciones masivas. Túneles y tuberías
Tipo III Tipo IIIA	Altas resistencias iniciales	50-63	15-20	3-15	8-12	190	100	En estructuras donde se requiere quitar la formaleta prontamente o cuando la estructura debe ponerse al servicio rápidamente (reparaciones de puentes). En concretos prees-forzados y prefabricados
Tipo IV	Muy bajo calor de hidratación	25-35	40-50	7	10-15	55	75	Para las estructuras de concreto masivo como grandes presas, donde el aumento de temperatura es un factor crítico resultado de un alto calor generado durante el endurecimiento
Tipo V	Alta resistencia a los sulfatos	32-42	38-48	5	10	65	85	Para estructuras en suelos o en contacto con aguas subterráneas con un alto contenido de sulfato



## **CEMENTOS CON ADICIONES**

La NTE INEN 490 contempla otros tipos de cemento como son:

- Tipo IS: cemento portland de escoria de altos hornos
- Tipo IP: Cemento portland puzolánico
- Tipo IT: cemento compuesto ternario

### **Puzolana.**

La puzolana es un material sílico-aluminoso, el cual posee muy poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

Se puede utilizar los aluminosilicatos como puzolanas en las mezclas de cementos puzolánicos, hormigones y morteros debido a que existe una garantía a la estabilidad química y física de morteros y hormigones, a diferencia de la portlandita que es usada comúnmente, que garantiza sólo resistencias físicas, al mismo tiempo es propensa a reaccionar con los sulfatos [3].

Una ventaja que ofrece los cementos puzolánicos es que requiere de una menor cantidad de agua, es decir, los aluminosilicatos que se encuentran en la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberados en la hidratación del cemento portland. Esto genera una reacción lenta que disminuye el calor de hidratación, consume el hidróxido de calcio (lo que incrementa su resistencia frente a los ácidos), y al efectuarse la reacción rellenan los espacios productos de la reacción de hidratación del cemento (lo que incrementa la impermeabilidad y la resistencia mecánica) [22].

### **Cemento Portland Puzolánico Tipo IP.**

El Cemento Portland Puzolánico–Tipo IP es producido mediante molienda y calcinados a una temperatura comprendida entre los 1400 y 1650 °C de cemento y puzolana, en la cual la última estará presente entre el 15% y 40% en masa del cemento Portland.

El cemento Selva Alegre Tipo IP está diseñado para obras estructurales y construcciones en general, cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490

**Tabla 5**, también puede ser usado como acabados decorativos en jardinería, y granito para enlozados [23].

La Empresa Cementos Selva Alegre S.A. se encuentra ubicada en la ciudad de Otavalo en la provincia de Imbabura, fue creada en 1974, en el año 1980 se produce el primer saco de cemento y en 2004, la exitosa trayectoria de Cementos Selva Alegre S.A., es fortalecida al ser adquirida por el Grupo LAFARGE de Francia, una de las empresas más grandes del mundo en materiales de construcción.

El cemento del tipo especificado debe estar conforme con los requisitos químicos aplicables que están indicados en la **Tabla 4**.

<b>TIPO DE CEMENTO</b>	<b>Método de ensayo aplicable</b>	<b>IS (&lt; 70), IT(P&lt;S&lt;70)</b>	<b>IS (70), IT (S 70)</b>	<b>IP, IT (P S)</b>
Oxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160	-	-	6,0
Sulfato. reportado como (SO <sub>3</sub> ). % máximo <sup>B</sup>	INEN 160	3,0	4,0	4,0
Sulfuro, reportado como S <sup>2-</sup> , % máximo	INEN 160	2,0	2,0	-
Residuo insoluble, % máximo	INEN 160	1,0	1,0	-
Perdida por calcinación, % máximo	INEN 160	3,0	4,0	2,0
<sup>A</sup> los requisitos químicos en esta tabla son aplicables a todos los cementos con incorporador de aire, equivalentes  <sup>B</sup> cuando se haya demostrado con el ensayo de la NTE INEN 1 505 que el SO <sub>3</sub> optimo excede a un valor 0,5 % menor del límite especificado, es permisible una cantidad adicional de SO <sub>3</sub> a condición de que, cuando el cemento con el sulfato de calcio en el mortero hidratado a las 24 horas ± 15 minutos, expresado como SO <sub>3</sub> , no exceda de 0,50 g/l. Cuando el fabricante suministre cemento bajo esta disposición, el, bajo pedido; debe proporcionar datos de soporte al comprador				

**Tabla 4:** Requisitos químicos normalizados para el cemento portland IP [23].

**Tabla Requisitos Físicos Normalizados Para Cemento Portland Tipo IP**

<b>REQUISITOS FÍSICOS</b>	<b>NORMA APLICABLE</b>	<b>IP</b>	<b>IP(MS)</b>	<b>IP(HS)</b>	<b>IP(LH)<sup>B</sup></b>
Finura	NTE INEN 196 NTE INEN 957	C	C	C	C
Expansión en autoclave, % máximo Contracción en autoclave, % máximo <sup>D</sup>	NTE INEN 200 NTE INEN 200	0,80 0,20	0,80 0,20	0,80 0,20	0,80 0,20
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat: <sup>E</sup> Fraguado, minutos, no menor a Fraguado, horas, no mayor a	NTE INEN 158	45 7	45 7	45 7	45 7
Contenido de aire en el mortero, volumen % máximo <sup>A</sup>	NTE INEN 195	12	12	12	12
Resistencia a la compresión, mínimo <sup>A</sup> ,MPa 3 días 7 días 28 días	NTE INEN 488	13,0 20,0 25,0	11,0 18,0 25,0	11,0 18,0 25,0	-- 11,0 21,0
Calor de hidratación máximo: <sup>F</sup> 7 días, kJ/kg (cal/g) 28 días, kJ/kg (cal/g)	NTE INEN 199	290 (70) 330 (80)	290 (70) 330 (80)	290 (70) 330 (80)	250 (60) 290 (70)
Requerimiento de agua, % máximo, en peso del cemento,	NTE INEN 488	--	--	--	64
Contracción por secado, % máximo.	NTE INEN 2 504	--	--	--	0,15
Expansión en mortero, % máximo: <sup>G</sup> 14 días 8 semanas	NTE INEN 867	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060	0,020 0,060
Resistencia a los sulfatos, % máximo: <sup>H</sup> Expansión a 180 días Expansión a 1 año	NTE INEN 2 503	(0,10) <sup>I</sup> --	0,10 --	0,05 0,10	(0,10) <sup>I</sup> --

<sup>A</sup> Cementos con incorporador de aire, deben tener un contenido de aire en el mortero de 19% ± 3% en volumen y la resistencia a compresión mínima no debe ser menor que 80% de la resistencia del tipo de cemento sin incorporación de aire comparable.

<sup>B</sup> Aplicable solamente cuando se necesita bajo calor de hidratación o no se requiere altas resistencias a edades tempranas.

<sup>C</sup> En todos los informes del fabricante requeridos, según se indica en el numeral 10.4, se debe informar la cantidad retenida al tamizar en húmedo en el tamiz de 45 m (No. 325) y la superficie específica medida con el aparato de permeabilidad al aire, m<sup>2</sup>/kg.

<sup>D</sup> Los especímenes a ser sometidos al ensayo de expansión en autoclave se deben mostrar firmes y duros y no deben mostrar signos de distorsión, roturas, fisuras, picaduras o desintegración.

<sup>E</sup> El tiempo de fraguado se refiere al tiempo inicial de fraguado en la NTE INEN 158. El tiempo de fraguado de cementos que contengan una adición funcional acelerante o retardante solicitada por el usuario no requiere cumplir con los límites de esta tabla, pero debe ser establecido por el fabricante.

<sup>F</sup> Aplicable solo cuando se especifica moderado (MH) o bajo (LH) calor de hidratación, en cuyo caso los requisitos de resistencia deben ser el 80% de los valores indicados en la tabla.

<sup>G</sup> El ensayo de expansión en el mortero es un requisito opcional a ser aplicado solo a pedido del comprador y no se requiere a menos que el cemento vaya a ser utilizado con áridos reactivos con los álcalis.

<sup>H</sup> En los ensayos para un cemento Tipo (HS); el ensayo a un año ya no es necesario cuando el cemento cumple con el límite a los 180 días. Un cemento (HS) que no cumpla el límite a 180 días no debe ser rechazado a menos que no cumpla con el límite a un año.

<sup>I</sup> Criterio opcional de resistencia a los sulfatos, aplicable solamente cuando se especifica.  
(MS) moderada resistencia a los sulfatos; (HS) alta resistencia a los sulfatos; (HS) bajo calor de hidratación;

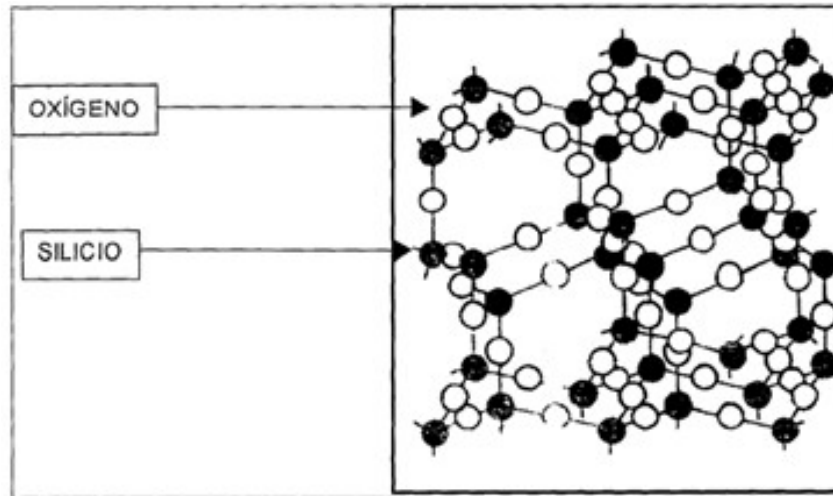
**Tabla 5:** Requisitos Físicos Normalizados [23].

## **ZEOLITA NATURAL.**

La zeolita es un aluminosilicato presente de forma natural en rocas de origen volcánico que contiene óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) [24]. Constituyen el grupo mineral más variado y extenso de los que forman la corteza terrestre [25].

### **Aluminosilicatos**

Las zeolitas son una familia de alrededor de 50 diferentes minerales cristalinos. Químicamente son aluminosilicatos hidratados [26] y estructuralmente pertenecen al grupo de los tectosilicatos (armazones tridimensionales de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  en donde los iones de oxígeno de cada tetraedro se comparten con el tetraedro adyacente) [27] como se lo indica en la **Fig. 1**.



**Fig. 1** Orientación tridimensional de silicatos tetraédricos en los tectosilicatos [28].

## **CORDILLERA CHONGON-COLONCHE**

El Ecuador continental está dividido en tres regiones naturales conocidas como: Costa Sierra y Oriente

La región costa es la región más rica en zeolita del Ecuador, esta región se extiende desde el Océano Pacífico al oeste, hasta las estribaciones de la cordillera de los Andes al este, el primordial sistema montañoso de la región constituye la cordillera costera

conocida como Chongon-Colonche mostrada en la **Fig. 2**, esta agrupa las formaciones: Piñón, Calentura, Cayo y Guayaquil.

**Formación Piñón.** - Se caracteriza por presentar un basamento de rocas ígneas básicas.

**Formación Calentura.** - Caracterizada por tener una cantera en donde yace casi 12 m. de un macizo de caliza gris oscura a negra y un conjunto de fragmentos piroclásticos, expulsados por un volcán durante su erupción, conocido como lapilli.

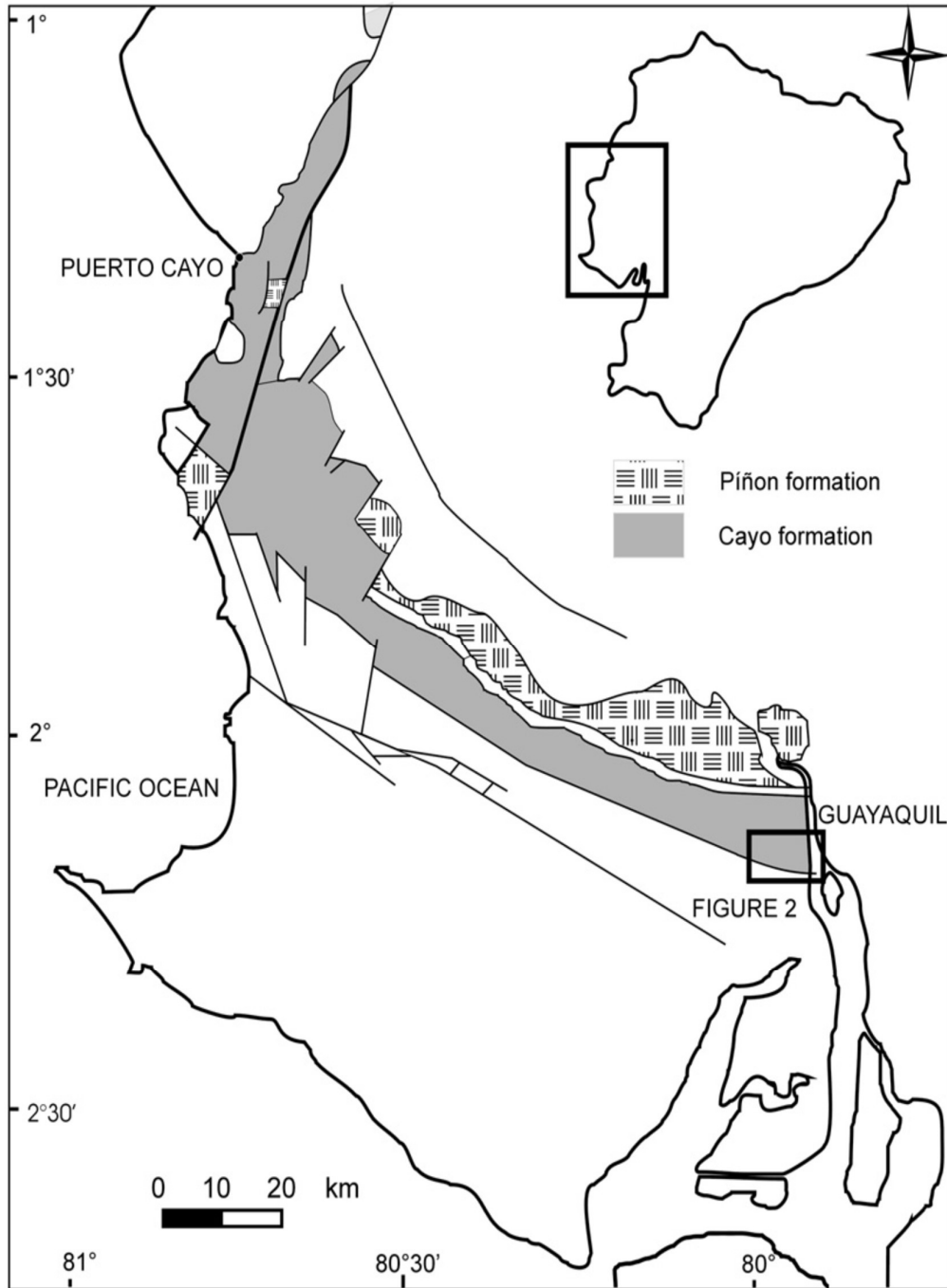
**Formación Cayo.-** Es una unidad volcano-sedimentaria de 2000 a 3000 m de potencia, que aflora en la parte NorOeste de Guayaquil y en Puerto Cayo, de donde proviene su nombre, existe el cayo inferior y superior [29].

**-La Formación Cayo Inferior.** - Esta se formó en ciertos lugares del fondo del mar.

**-La Formación Cayo Superior.** - Está compuesta por depósitos de flujo volcánico y tobas de origen marino provenientes de erupciones volcánicas. Las rocas están compuestas por vidrio, pumita y fragmentos de cristales, los mismos que han sido alterados por la zeolita tipo heucálica, siendo esta, la zeolita predominante en la formación.

En las formaciones de cayo y calentura de la cordillera Chongon-Colonche es el área que presenta una mayor ocurrencia de zeolitas naturales y ahí se realiza una gran parte de estudios sobre ellas [30].

**Formación San Lorenzo.** - No pertenece a la cordillera Chongon- Colonche, pertenece a la provincia de Santa Elena y se menciona debido a la ocurrencia de zeolitas debido a una cobertura volcánica y volcano-sedimentaria que existe en ella.



**Fig. 2** Ubicación de la Cordillera Chongón Colonche y del área de la Formación Cayo[31].

## PROCESO BÁSICO DE TRITURACIÓN DE LOS ALUMINOSILICATOS

La trituration o molienda es una operación de reducción de tamaño de materiales en fracciones más pequeñas, varias procesadoras de la provincia del Guayas siguen un proceso similar lo cual lo indicaremos a continuación.

El material llega a una procesadora similar a la de la **Fig. 3** con mucha presencia de otros minerales extraños, ahí se lo clasifica de una manera visual por su color, para después ser enviado a una zaranda de separación, en donde se tiene la seguridad de obtener un mineral puro restante.

El mineral es ingresado a una tolva de alimentación para ser enviado mediante una banda transportadora a un molino de martillo que descarga a un elevador, luego baja el material a las zarandas clasificadoras, donde el mineral es separado de acuerdo a la malla que necesitamos.

La materia prima es llevada a las procesadoras de las empresas para ser trituradas hasta obtener una finura superior a 75  $\mu\text{m}$ , la cual es usada en la agricultura como una fuente de retención de agua y una mejora de suelo.

Hay que tomar en cuenta que, un alto grado de finura representa un aumento de coste ya que se incrementa el tiempo de molienda.



**Fig. 3** Procesadora Zeonatec.

## CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS ZEOLITAS NATURALES.

Las zeolitas naturales se clasifican por grupos dependiendo de su estructura o por su relación silicio aluminio, algunos ejemplos de las zeolitas más típicas se muestran en la **Tabla 6**.

Las rocas zeolíticas normalmente contienen entre un 50 y un 95% de una sola especie a veces, varias zeolitas pueden coexistir.

Grupo	Tipos de Zeolita	Forma	Rango de Si/Al	Formula química
Analcimas	Analcita	Trapezoidal	1.00 - 3.00	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96})16\text{H}_2\text{O}$
Heulanditas	Clinoptilolita	Cubica poliédrica	2.92 - 5.04	$\text{Na}_6(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72})24\text{H}_2\text{O}$
Chabasitas	Chabazita	Rombos	1.43 – 4.18	$\text{Ca}_2(\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24})13\text{H}_2\text{O}$
Natrolitas	Edingtonita	-	1.00 – 2.00	$\text{Ba}_2(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20})6\text{H}_2\text{O}$
Chabasitas	Erionita	Manojo de agujas	3.05 – 3.99	$(\text{Ca},\text{MgNa},\text{K})_{4,5}(\text{Al},\text{Si}_{27}\text{O}_{72})27\text{H}_2\text{O}$
Faujasitas	Faujasita	-	1.00 – 3.00	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_{12}\text{Mg}_{11}(\text{Al}_{59}\text{Si}_{153}\text{O}_{384})26\text{H}_2\text{O}$
Modernitas	Ferrierita	Agujas	3.79 – 6.14	$\text{Na}_{15}\text{Mg}_2(\text{Al}_5,5\text{Si}_{30},5\text{O}_{72})18\text{H}_2\text{O}$
Heulanditas	Heulandita	Poliédrica	2.85 – 4.31	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72})24\text{H}_2\text{O}$
Laumontitas	Laumontita	-	1.95 – 2.25	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48})16\text{H}_2\text{O}$
Modernitas	Modernita	Agujas	4.19 – 5.79	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96})24\text{H}_2\text{O}$
Natrolitas	Natrolita	-	1.50	$\text{Na}_2(\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{30})16\text{H}_2\text{O}$
Filipsitas	Fillipsita	Prismas	1.45 – 2.87	$(\text{K},\text{Na})_5(\text{Al}_5\text{Si}_{11}\text{O}_{32})10\text{H}_2\text{O}$
Analcimas	Wairakita	Trapezoidal	2.00	$\text{Ca}_8(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96})16\text{H}_2\text{O}$

**Tabla 6:** Ejemplos de las Zeolitas más Típicas ajustado de [32] [33][34]

Si la zeolita tiene una relación Si/Al de 1, quiere decir que el silicio y aluminio se encuentran a partes iguales en su estructura.

Algunas zeolitas tienen relaciones Si/Al bastante elevadas que se podría decir, virtualmente no contienen aluminio, las zeolitas sintéticas sobrepasan por mucho las relaciones Si/Al de las zeolitas naturales. La diferencia es abismal, ya que, de las zeolitas naturales, la más silícea es la modernita, cuya relación Si/Al es de 5,5.



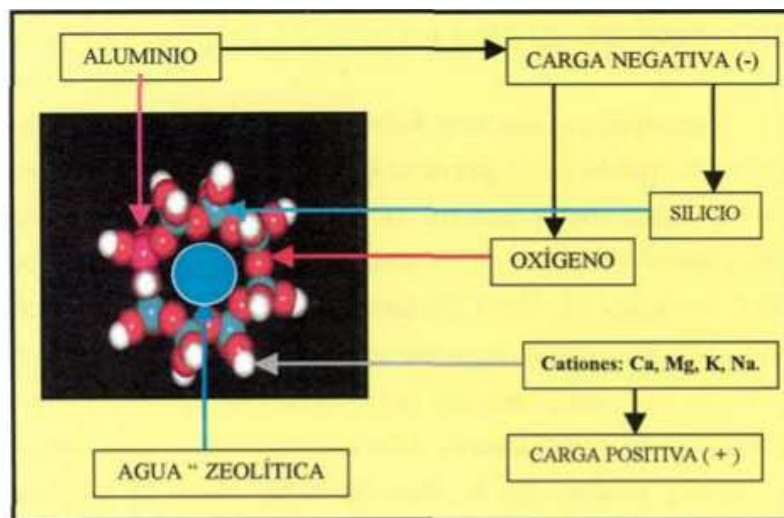
La zeolita tipo clinoptilolita se usa para la fabricación y mejora de ciertos cementos puzolánicos poseen contenidos importantes en sílice y alúmina, y exhiben valores notables de la pérdida por calcinación [3].

### Composición química de la zeolita.

La zeolita es un mineral que tiene iones grandes (átomo de carga eléctrica positiva o negativa) y moléculas de agua, con libertad de movimiento, lo cual le permite el intercambio iónico. Gracias a esta estructura molecular tiene la capacidad de desprender agua de manera continua a medida que se calienta a temperaturas bajas, teniendo la posibilidad de rehidratarse sumergiéndola en agua (deshidratación reversible) [35].

En la **Fig. 4**, se explica la estructura básica de una zeolita natural, donde los átomos de silicio rodeados por 4 átomos de oxígeno; el  $Al^{3+}$  (Aluminio) está reemplazando al  $Si^{4+}$  (Silicio), creando un aumento de cargas negativas que están siendo compensadas por los cationes (ion con carga eléctrica positiva) de intercambio  $Ca^{2+}$  (Calcio),  $Mg^{2+}$  (Magnesio),  $K^+$  (Potasio), y  $Na^+$  (Sodio), para mantener el equilibrio de la red de la zeolita.

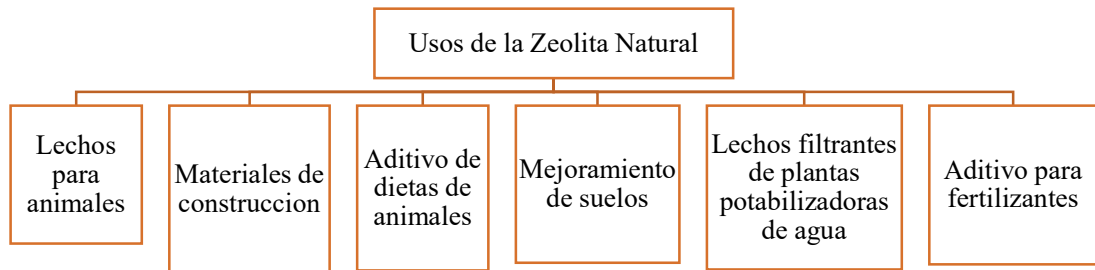
Así, las zeolitas más silíceas contienen menos cationes intercambiables, tienen un carácter altamente hidrofóbico y tienen una tendencia muy alta a almacenar hidrocarburos en sus cavidades.



**Fig. 4:** Estructura básica de una zeolita [2]

### Aplicaciones de los aluminosilicatos (zeolitas).

Las zeolitas son usados ampliamente en la actualidad como se lo indica en la **Fig. 5**, la tendencia es la diversidad de su uso, motivado por la demanda, la oferta, y la disponibilidad de los yacimientos de cada país [3].



**Fig. 5** Industria tradicional de zeolitas naturales

### Usos en la construcción.

Las zeolitas tienen propiedades puzolánicas, es decir, finamente pulverizadas y en mezcla húmeda con la cal son capaces de formar productos insolubles y estables similares a la hidratación del cemento portland por lo cual permiten la producción de cementos y otros aglomerantes [30].

Los aluminosilicatos pueden ser usados como agregado ligero en cementos y hormigones, los productos espumantes hechos de zeolita para pavimentos son considerablemente más fuertes y más resistentes a la abrasión, la zeolita tipo clinoptilolita es consumida como rellenos en pegamentos para adherir madera previa a la presión térmica. Además se usa para fabricar ladrillos ligeros de alta resistencia física, acida y alcalina [2].

### ARCGIS (SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA = GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM)

Es un sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. Este sistema permite separar la información en diferentes Capas temáticas (Layers) y las almacena de forma independiente, trabajando con ellas de manera rápida y sencilla,

Se representan los datos de forma vectorial. Esta forma de expresión espacial implica la utilización de los tres tipos de elementos espaciales, de carácter geométrico, en que pueden ser interpretados los objetos geográficos: puntos, líneas y polígonos. Los atributos temáticos, que corresponden a las unidades espaciales, se manejan, habitualmente, desde tablas de datos. Los resultados finales pueden ser presentados en forma de mapas [36].

## **PROPIEDADES MORFOLÓGICAS Y QUÍMICAS.**

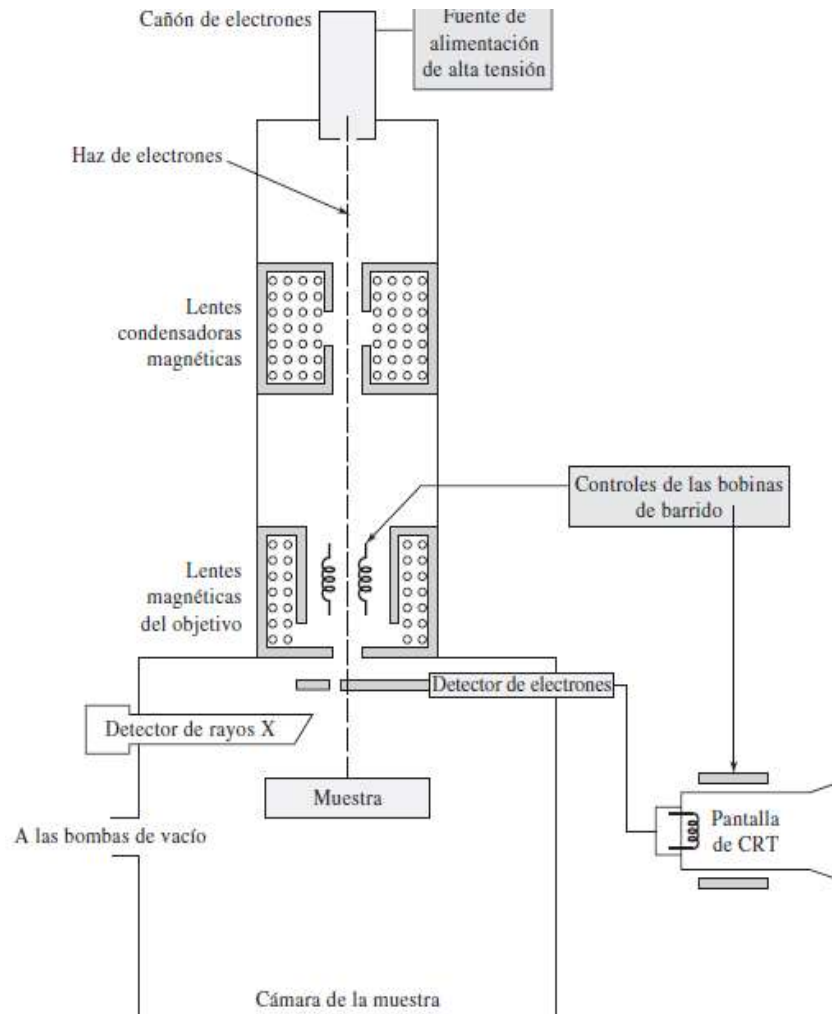
### **Caracterización en cemento y aluminosilicatos.**

#### **-Microscopía electrónica de barrido (MEB o SEM, por sus siglas en inglés, Scanning Electron Microscopy)**

La microscopía electrónica de barrido proporciona una imagen en la cual se puede determinar la morfología, el tamaño promedio de los cristales alcalinos de muestras pulverizadas, la distribución de los tamaños del cristal y la presencia de material amorfo.

#### **-Microscopio electrónico de barrido**

El método clásico para obtener información acerca de la naturaleza física de las superficies era el microscopio óptico, pero su resolución es limitada. La mayor parte de la información de resolución superior, se obtiene al usar los métodos de microscopía electrónica [37], entre la microscopía más usada en la caracterización de material microscópicos está como el microscopio electrónico de barrido mostrado en la **Fig. 6** a pesar de haber sido diseñado en base al microscopio de transmisión. Permite obtener imágenes de gran resolución en materiales pétreos, metálicos y orgánicos. La luz se sustituye por un haz de electrones, las lentes por electroimanes y las muestras se hacen conductoras metalizando su superficie.



**Fig. 6:** Esquema de un Microscopio Electrónico de Barrido [37].

El Microscopio electrónico de barrido o SEM, fue inventado en 1931 por Ernst Ruska, permite una aproximación profunda al mundo atómico, es un equipo que utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz como sucede en el microscopio óptico, para formar una imagen. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra a nivel de micro y nanómetros. También produce imágenes de alta resolución, que significa obtener características muy específicas en la muestra para ser examinadas a una alta magnificación. La preparación de las muestras es relativamente fácil pues la mayoría de SEM sólo requiere que *las muestras sean conductoras*. Para muestras delicadas como las biológicas o muestras muy aislantes se usan electrones acelerados por pequeños voltajes, en cambio las muestras metálicas requieren voltajes elevados, debido a que son más resistentes que

las biológicas aprovechando así la menor longitud de onda para tener una mejor resolución

### **Funcionamiento del microscopio electrónico de barrido**

La muestra generalmente es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro, cromo o paladio para darle propiedades conductoras a la muestra. Posteriormente es barrida con los electrones acelerados con un comportamiento ondulatorio a una energía determinada (KeV) que viajan a través del cañón y se enfocan con el lente condensador y objetivo, estos lentes reducen la imagen del filamento, de manera que el haz de electrones incida en la muestra lo más pequeño posible para obtener una alta resolución de la imagen, luego pasan por las bobinas que regulan el barrido punto por punto y línea por línea y el tamaño del spot del haz; para luego un detector o varios mide la cantidad de electrones enviados que arroja la intensidad de la zona de muestra, siendo capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectados en una imagen digital. Su resolución está entre 4 y 20 nm, dependiendo del microscopio.

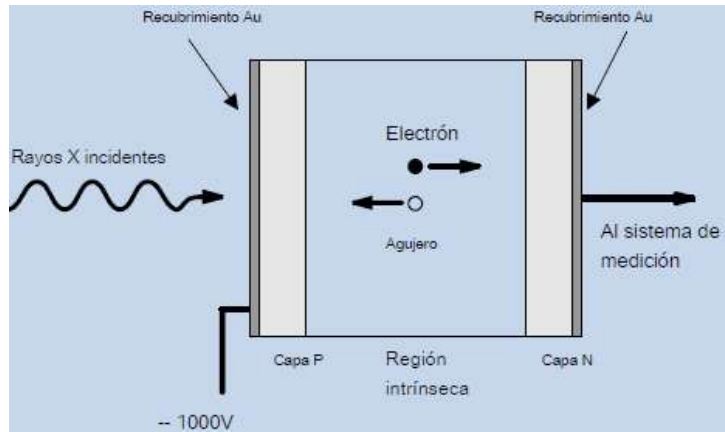
La información de una región relativamente profunda está contenida en los electrones retrodispersados. Los electrones retrodispersados son sensibles a la composición química de la muestra.

Es decir, un área que consiste en un átomo pesado aparece brillante en la imagen de electrones retrodispersados. Por lo tanto, esta imagen es adecuada para observar una diferencia de composición.

### **- Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS, por sus siglas en inglés, Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy)**

Permite realizar el análisis de la composición química de muestras obtenidas de cemento y aluminosilicatos [38][39]. Este ensayo se lo hace con un detector de semiconductores EDS mostrado en la **Fig. 7**, en el cual se encuentra en el esquema del microscopio electrónico de barrido JOEL.

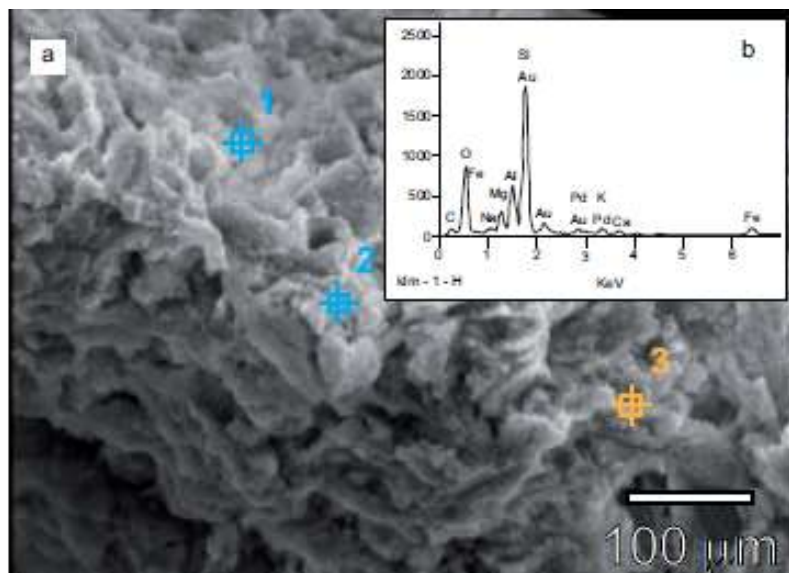
Como se explicó anteriormente, cuando los electrones incidentes entran en una sustancia, la sustancia emite varios electrones y ondas electromagnéticas.



**Fig. 7** Construcción del detector de semiconductores EDS [40].

Este método consiste en analizar la radiación emitida por una muestra sólida, cuando sobre ella incide un haz de electrones debidamente localizado. La microscopía se basa en el uso de un espectro particular, creado por la interacción de la radiación electrónica en la materia con fines analíticos, tanto cualitativos (la energía de la radiación es característica de cada elemento), como cuantitativos (la elevación del pico del espectro es igual a la cantidad de elemento presente en la muestra).

La microscopía electrónica de barrido proporciona una imagen en la cual se puede determinar la morfología (**Fig. 8a**), y espectro en una muestra (**Fig. 8b**).



**Fig. 8** Resultados que se pueden obtener mediante SEM a) Imagen SEM y b) Espectro EDS [39].

## **PROPIEDADES FÍSICAS**

Para la caracterización física del cemento y las zeolitas se realiza las siguientes técnicas

### **-DENSIDAD REAL**

NORMA: ASTM C-188 - NTE INEN 0156

#### **Densidad del cemento**

La densidad del cemento está definida como la masa de un volumen unitario de los sólidos, esta propiedad afecta al diseño y control de pastas de hormigón.

El cálculo de la densidad del cemento establece una razón entre la masa del cemento y el volumen de un líquido no reactivo de la masa que se desplaza en un frasco de Le Chatelier o un picnómetro [41].

Para conocer el valor de la densidad se utiliza normalmente gasolina que tenga una densidad mayor a  $0.73 \text{ g/cm}^3$  a una temperatura de  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ . El valor de la densidad varía poco de un cemento portland normal a otro, si no hay adiciones distintas al yeso, su valor suele estar entre 3,10 y  $3,15 \text{ g/cm}^3$ . La densidad de cementos con adiciones es menor, ya que el contenido de Clinker por tonelada de cemento es menor y estos valores van desde  $2.9 \text{ g/cm}^3$  a  $3.15 \text{ g/cm}^3$  [18].

Analizando el valor de la densidad junto con otras propiedades se pueden deducir más características, por ejemplo, una pequeña densidad y una gran finura muestran que el cemento contiene adiciones, esto se lo hace cuando no se dispone de un análisis químico.

#### **Densidad de las zeolitas**

La baja densidad de la zeolita es sin duda la propiedad más interesante. Se presentan de incoloras a blancas, con densidades que van de  $2.0 \text{ g/cm}^3$  a  $2.3 \text{ g/cm}^3$ , aunque algunas tienen densidades mayores debido a la presencia de Ba, Sr y durezas de 3.5 a 5.5 [30].

A pesar que el valor de la densidad es bajo varios artículos reportan densidades mayores que superan dicho rango lo cual puede deberse a su composición mineral, contenidos de materia orgánica y de los contenidos de óxido de hierro.

Las zeolitas suelen estar mezclados con otros materiales en ambientes geológicos variados, incluso varias zeolitas pueden coexistir, este parámetro también afecta a su densidad.

Su valor también varía dependiendo del tipo de ensayo que se va a efectuar y por el tamaño del tamiz en el cual se encuentre la muestra, así se lo indica en la **Tabla 7** la cual muestra las varias densidades de la zeolita tipo Clinoptilolita a diferente tamaño de grano [42].

Donde:

-CLICHI = zeolita tipo Clinoptilolita de Chihuahua-México

-CLIO = zeolita tipo Clinoptilolita de Oaxaca-México

Clave	Malla	Diámetro aproximado (mm)
CLICHI12 y CLIO12	8-12	1,70
CLICHI30 y CLIO30	20-30	0,600
CLICHI40 y CLIO40	30-40	0,425

Muestra	CLICHI12	CLICHI30	CLICHI40	CLIO12	CLIO30	CLIO40
Densidad g/cm <sup>3</sup>	2,752	2,736	2,532	2,132	2,129	2,190

**Tabla 7:** Densidades de la Clinoptilolita a diferente granulometría [42].

Debemos recordar que la densidad de la zeolita también está determinado por la composición química (**Tabla 8**) y mineralógica, debido a que posee elementos livianos y pesados [43].

Elemento	Símbolo	# Atómico	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Sodio	Na	11	0,97
Calcio	Ca	20	1.55
Sílice	Si	14	2.33
Aluminio	Al	13	2.7
Hierro	Fe	26	7.87
Bario	Ba	56	3.59
Estroncio	Sr	38	2.54

**Tabla 8:** Elementos químicos con su densidad



## **- FINURA**

**-Módulo de finura (Área o superficie Específica).** – La medida de la finura, es el área superficial de las partículas contenidas en un gramo del material, se expresa en  $\text{cm}^2/\text{g}$ . Esta propiedad depende del volumen de vacíos existente luego de ser triturado el material. Se encuentra en función de la granulometría y de las partículas de mayor tamaño.

El tamaño de los granos o finura del cemento, influye decisivamente en la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción, aumento de resistencia con la edad. Un cemento con un área específica mayor será más fino, que otro con área específica menor.

Por otro lado, cementos con granos muy gruesos se hidratan y endurecen lentamente produciendo exudación de agua por su escasa capacidad para retenerla.

Mientras más fino es un cemento, se deteriora con mayor rapidez, pero exuda menos que uno más grueso, puesto que retiene mejor el agua al tener mayor superficie de hidratación.

La finura puede ser medida por métodos directos o métodos indirectos los cuales se mencionan a continuación.

### **-MÉTODO DIRECTO (TAMIZADO SECO)**

NORMA: NTE INEN – 489                      ASTM C 184 - 82.

#### **Finura del cemento (Tamizado seco)**

Su proceso consiste en que una cantidad de 50 g de cemento es tamizada por el tamiz de 74 micras (No.200), o por el de 149 micras (No.100). Encontrando así la cantidad de material que pasa por el mismo, además medir el residuo [44].

Cuando hay un almacenamiento largo del mineral antes de ser tamizado, esta técnica puede mostrar la presencia inusual de granos gruesos, debido a la absorción de agua del material, o mal proceso de molienda, pero no muestra información de las partículas de menor tamaño que pasan por el tamiz, siendo estas las más importantes pues son la mayor superficie específica.

Cerca del 95% de la porción del cemento deben ser menores que 45  $\mu\text{m}$ , con un promedio de partículas de 15  $\mu\text{m}$  [45].

Los resultados de finura sobre la resistencia de la mezcla se manifiestan, principalmente, mientras son los primeros siete días, [46].

### **Finura de las zeolitas (Tamizado seco)**

El mejor comportamiento de las zeolitas naturales con el cemento se da en aquellas partículas menores a 0,8 mm [11] y como puzolanas se da mejor en partículas menores a 74  $\mu\text{m}$  [47] dependiendo del tipo de cemento a usar.

### **-MÉTODO INDIRECTO (APARATO DE BLAINE)**

NORMA: ASTM C-204 - NTE INEN 196

El aparato de Blaine mostrado en la **Fig. 9** determina el área o superficie específica del cemento, este método radica en que la cantidad y el tamaño de los poros de una muestra con cierta densidad se encuentran en función del tamaño de las partículas y de su granulométrica. Esto se puede determinar por la permeabilidad al aire de un conjunto de partículas de cemento mediante el uso del Aparato de Blaine.

La superficie específica se calcula transportando una medida precisa de aire, por una pequeña cantidad de muestra diseñada en una determinada forma, la cantidad de aire que pasa se encuentra en función del tamaño de las partículas, y de la repartición de ellas.

Con este ensayo se puede tener una imagen clara de la variación relativa en la finura del cemento y para efectos prácticos esto es suficiente. Blaine dice que el área específica de los cementos está se encuentra entre 3400 y 4500  $\text{cm}^2/\text{g}$ , también establece que como mínimo debe ser 2800  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

Se dice que cuando el cemento entra en contacto con el agua, sus partículas se hidratan solo a una profundidad de 0.01 mm por lo que si las partículas fueran grandes, su rendimiento sería pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte [48].

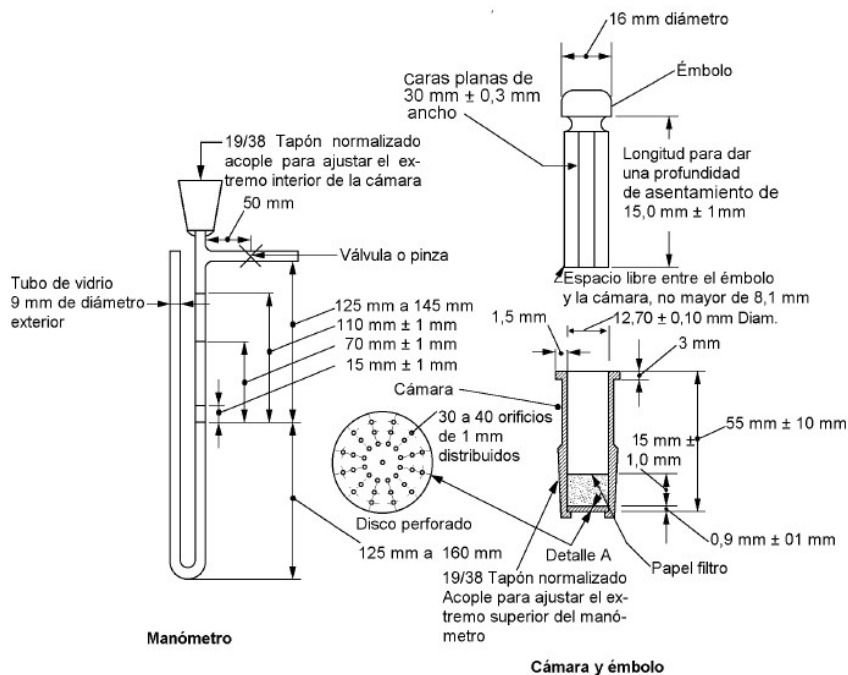


Fig. 9 Aparato del Blaine [49]

## -TIEMPO DE FRAGUADO

NORMA: ASTM C-187 - NTE INEN 158

Esta norma establece un método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento por medio de la aguja de Vicat [50].

El fraguado es un proceso a través del cual el cemento experimenta cierto endurecimiento y trazas de resistencias iniciales en el tiempo, refiriéndose a la dureza de la mezcla del cemento y acompañado de cambios de temperatura en la mezcla [3].

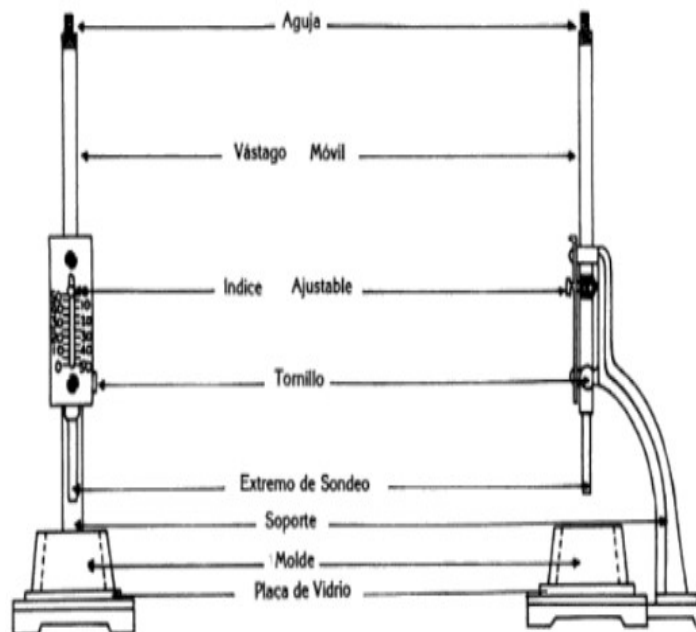
El fraguado de cementos que contienen puzolanas naturales no difiere de los valores típicos encontrados en el cemento portland, por el contrario, cementos compuestos con ceniza volante o humo de sílice tienden a prolongar el fraguado [51].

**-Fraguado Inicial.** - Este tiempo transcurre desde que el cemento entra en contacto con el agua formando una pasta, hasta que dicha pasta pierde su plasticidad, esto corresponde a un rápido aumento de temperatura.

**-Fraguado Final.** - Este tiempo transcurre hasta que la pasta adquiere rigidez, que le permite resistir un cierto esfuerzo sin sufrir un mayor deterioro en la superficie, corresponde al máximo de temperatura.

Este ensayo es empleado cuando se quiere conocer en la mezcla de mortero u hormigón; cuánto tiempo se encuentra en estado plástico, antes de dar paso a un principio de rigidez. Este tiempo debe ser lo bastante grande como para permitir una adecuada colocación del hormigón en obra, para un Cemento Portland Tipo 1P el tiempo de fraguado no debe ser menor a 45 minutos, ni mayor a 7 horas.

Si la penetración de la aguja de Vicat mostrado en la **Fig. 10** es de  $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ , después de 30 segundos de haber soltado la aguja, se considera que la pasta tiene consistencia normal. Cuando la penetración de la aguja es de 25 mm se muestra el fraguado inicial y cuando la aguja deja una ligera huella sobre la superficie de la mezcla, sin penetrarla, se considera que se muestra el fraguado final.



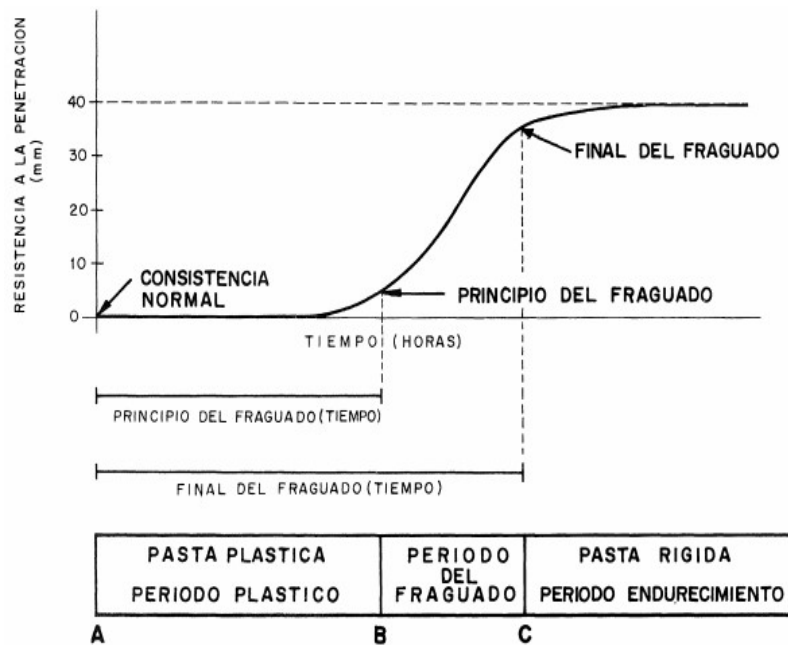
**Fig. 10** Aguja de Vicat [50]

Para saber el momento exacto del fraguado inicial, se toman lecturas de penetración antes y después pase dicho fenómeno, luego se procede a ubicar estos puntos sobre un gráfico, que tenga como ordenadas las penetraciones y como abscisas el tiempo, se dibuja la línea promedio de los puntos encontrados experimentalmente; el tiempo para el fraguado inicial sale del grafico elaborado, para una penetración de 25 mm.

Con un solo operador y en el mismo laboratorio el tiempo de fraguado inicial, no debe diferir entre pastas similares, en más de 34 min y en el tiempo de fraguado final no debe diferir en más de 56 min para pastas similares [50].

En la **Fig. 11** se ha representado la resistencia a la penetración en milímetros de la aguja de Vicat en un definido número de horas, de una mezcla fabricada con un cemento portland; en ella se puede observar que existen 3 zonas perfectamente delimitadas.

La zona AB, corresponde al período plástico del sistema cemento-agua; la segunda, zona BC, al período del fraguado y la tercera, a partir del punto C, al período de endurecimiento. Los puntos B y C corresponden al principio y final del fraguado, respectivamente.



**Fig. 11:** Resistencia a la penetración de una pasta de cemento portland [52]

#### **1.1.4 Hipótesis**

El uso de aluminosilicatos del cantón Guayaquil como sustituto parcial del cemento portland tipo IP influye en sus propiedades físicas (densidad, finura, granulometría) y químicas (SEM -EDS).

### **1.2 Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar las propiedades físicas de los aluminosilicatos del cantón Guayaquil que sean compatibles con el cemento portland IP.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar tres muestras representativas de zeolitas naturales existentes en el Ecuador.
- Comparar la morfología y composición química de las muestras con el cemento portland.
- Determinar la densidad de las zeolitas naturales que sean necesarias para sustituir parcialmente al cemento portland IP.
- Realizar el mapa de ubicación de minas, procesadoras y oficinas de aluminosilicatos del cantón Guayaquil.

## CAPITULO II.- METODOLOGÍA.

### 2.1. Materiales y Equipos

Para llevar a cabo esta investigación se utilizarán los materiales y equipos descritos a continuación.


#### 2.1.1 Materiales

##### Cemento Portland Puzolánico – Tipo IP

La empresa Lafarge proporciona un saco de 50 kg de cemento portland puzolánico selva alegre tipo IP (**Fig. 12**), este cumple las especificaciones requeridas de la norma ecuatoriana INEN 490, la ficha técnica de este cemento proporciona algunas propiedades físicas y químicas mencionadas en la **Tabla 9**, este cemento es producido mediante la molienda conjunta de clinker de cemento portland y puzolana. [53].

Cuenta con una licencia Ambiental y con el sello de calidad INEN.

En condiciones normales se puede obtener resistencias a la compresión entre 35 y 50 Mpa.

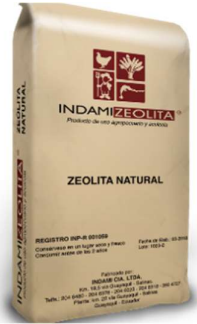
 <p><b>Fig. 12:</b> Cemento Portland tipo IP</p>	<b>REQUISITOS QUÍMICOS</b>		
	<b>PARÁMETRO</b>	<b>INEN 490</b>	<b>SELVA ALEGRE PLUS</b>
	Pérdida por calcinación	$\leq 5 \%$	1,40%
	Magnesio [MgO]	$\leq 6 \%$	2,30%
	Sulfatos [SO <sub>3</sub> ]	$\leq 4 \%$	2,40%
	<b>REQUISITOS FÍSICOS</b>		
	<b>PARÁMETRO</b>	<b>INEN 490</b>	<b>SELVA ALEGRE PLUS</b>
	Fraguado inicial	$\geq 45 \leq 420$ min	140 min
	Expansión	$\leq 0,8 \%$	0,04%
	Contenido del aire	$\leq 12 \%$	4,50%

**Tabla 9** Requisitos físicos y químicos para el cemento Selva Alegre [53].

##### Indami Zeolita 200 (ZI)

La plataforma digital de la empresa INDAMI denota a la ZI como un mineral de origen natural (volcánico) obtenido mediante procesos de trituración, molienda y separación de finos (**Fig. 13**), lo define como un aluminosilicato hidratado perteneciente a los tectosilicatos [54].

La ficha técnica de la ZI indica que esta tipología de zeolita es usada en los sistemas de filtración, para potenciar la producción de microalgas, generando un efecto positivo en el crecimiento de camarones y peces, también se lo usa como ablandador de agua y en la agricultura ayudando en la fertilización. Químicamente está compuesta por tetraedros formados por un catión y cuatro átomos de oxígenos (TO<sub>4</sub>), es decir. El catión, T, puede ser silicio (Si), aluminio (Al) o incluso germanio (Ge), aunque el silicio predomina. Al estar interconectados los tetraedros su fórmula es TO<sub>2</sub>. En la **Tabla 10** se muestran algunas de las propiedades más relevantes de dicho material [55].

	PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
 <p data-bbox="418 1125 597 1192"><b>Fig. 13:</b> Indami Zeolita 200 (ZI)</p>	Cantidad	Kg	25
	Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,16
	Color	-	Verde Claro
	Tipo	-	Clinptilolita-Heulandita
	Formula química		Na <sub>2</sub> Ca <sub>1,6</sub> (Al <sub>6</sub> Si <sub>29</sub> O <sub>72</sub> ) <sub>20</sub> H <sub>2</sub> O
	Retenidas en malla 40	%	1,85% pasando 98,15%
	Retenidas en mala 100	%	16,94% pasando 83,06%
	Retenidas en malla 200	%	23,96% pasando 76,04%
	Humedad	%	6,58 %

**Tabla 10.** Propiedades físicas y químicas de ZI [55]

### Mineplus (ZZ)


La plataforma digital de la empresa Zeonatec ubicada en la provincia del Guayas se dedica al procesamiento y comercialización de minerales naturales no metálicos, tal como el mineral Mineplus (absorbente molecular) mostrado en la **Fig. 14**.

La ficha técnica de ZZ indica que es muy usada como tamiz molecular, es decir, su capacidad para absorber gases en el proceso de metabolización del alimento ayuda a un mejor cuidado de las piscinas camaroneras. Este producto también se usa en el cultivo camaronero reflejando una buena salud de los camarones evitando el uso de antibióticos [56].



Elimina los olores desagradables concentrados en lugares de cría de animales, reduciendo la incidencia de enfermedades respiratorias y afecciones a los ojos

Algunas propiedades químicas y físicas se presentan en la **Tabla 11**.

	PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
 <p><b>Fig. 14:</b> Zeonatec Mineplus (ZZ).</p>	Producto	-	Mineplus
	Peso	Kg	25
	Color		Blanco
	Nombre Genérico	-	Zeolita Natural
	Nombre Científico	-	Clinoptilolita
	Presentación	%	Malla 200 pasa el 100 %
	Formula Química	-	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, H <sub>2</sub> O

**Tabla 11.** Propiedades de ZZ [56].

### Aluminosilicato de color Azul (ZA)

La ZA representa un estrato visto en una de las minas de cantón Isidro Ayora, Provincia del Guayas (**Fig. 15**), se extrajo el mineral en roca de un estrato de color azul para después ser llevada a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, para allí ser triturada.

La ZA debe ser cuidada de una manera que se evite el contacto con agua, ya que es un material muy absorbente y pierde las cualidades en contacto con la humedad.



**Fig. 15:** Zeolita Azul (ZA)

## **Picnómetro**

Es un recipiente de vidrio provisto de un tapón con un tubo capilar marcado, con enrase en la parte superior como se indica en la **Fig. 16**, de una capacidad de 500 ml, normalmente usado para determinar la densidad de un sólido pulverizado.



**Fig. 16.** Picnómetro para sólidos pulverizados

## **Juego de Tamices**

Juego de tamices de acero inoxidable con 8 pulgadas de diámetro, de fabricación Humboldt, con mallas No 8', #16, #30, #50, #100, #200 y fuente con tapa, se los ordena uno encima de otro de acuerdo a su tamaño de malla, así como se muestra en la **Fig. 17**.



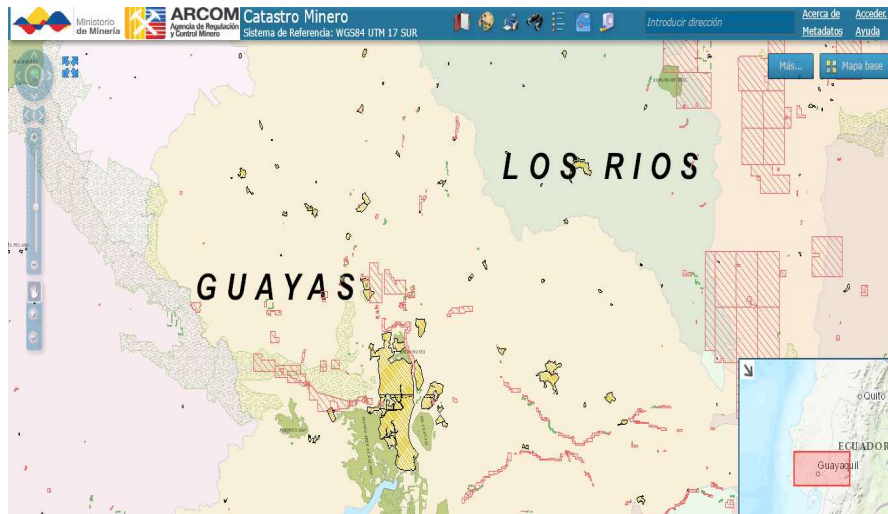
**Fig. 17** Juego de tamices.

### **2.1.2 Equipos**

#### **Programas digitales**

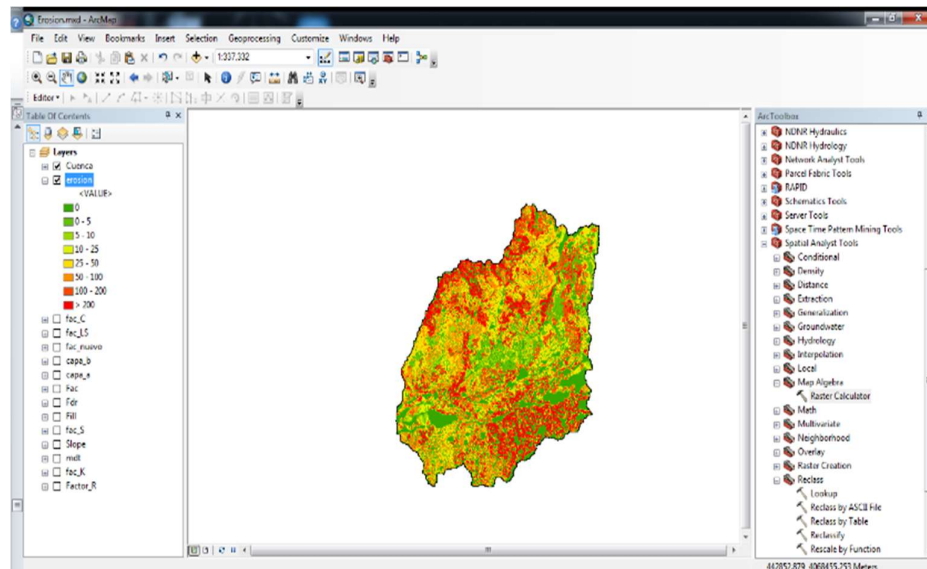
Las plataformas digitales se usaron para tener información acerca de las minas de materiales pétreos existentes en el Ecuador, las mismas son de gran ayuda para realizar este trabajo.

-La **Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM)** tiene una plataforma digital de acceso libre en la cual encontramos un catastro minero, allí ubicamos los lugares en los que podemos encontrar este mineral, además proporciona información extra como nombre de las minas, datos generales de los propietarios, etc. La página principal lo podemos observar en la **Fig. 18**.




**Fig. 18** Página Control Minero ARCOM [57]

-El programa **Arcgis** mostrado en la **Fig. 19**, permite organizar, ubicar y delimitar los sitios de estudio, ayudando a presentar de manera eficiente los datos obtenidos en este trabajo en forma de mapas.




**Fig. 19** Página principal ARCGIS

NOMBRE DEL EQUIPO	DETALLE DEL PRODUCTO
<p data-bbox="451 302 829 331" style="text-align: center;"><b>BALANZA ELECTRÓNICA</b></p>  <p data-bbox="488 709 792 739" style="text-align: center;"><b>Fig. 20</b> Balanza electrónica</p>	<p data-bbox="943 302 1338 491">           Marca: Sartorius            Modelo: AZ4101            Dimensiones: 200x270x299 mm            Voltaje: 115 V            Frecuencia 48 Hz a 60 Hz         </p> <p data-bbox="943 583 1365 890"> <b>CAPACIDAD</b>            -Peso máximo: 1500g            -Sensibilidad :0,01gr            -Consumo de energía promedio:            1W            -fuente de alimentación: adaptador            de AC de 230 V o 115 V, +15% a -            20%         </p>
NOMBRE DEL EQUIPO	DETALLE DEL PRODUCTO
<p data-bbox="451 1024 829 1054" style="text-align: center;"><b>BALANZA ELECTRÓNICA</b></p>  <p data-bbox="423 1472 857 1501" style="text-align: center;"><b>Fig. 21</b> Balanza electrónica Adventurer</p>	<p data-bbox="943 1024 1305 1213">           Marca: Adventurer Pro            Modelo: AV264C            Dimensiones: 185x45x38 mm            Voltaje: 120 V            Frecuencia 60 Hz         </p> <p data-bbox="943 1306 1365 1654"> <b>CAPACIDAD</b>            -Peso máximo: 260 g            -Sensibilidad: 0,0001gr            -Consumo de energía promedio:            1W            -fuente de alimentación: adaptador            de 12 VAC 500 MA de 120V            -Debe estar en una temperatura de            10°C a 30°C         </p>

NOMBRE DEL EQUIPO	DETALLE DEL PRODUCTO
<p style="text-align: center;"><b>BAÑO MARÍA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Fig. 22</b> Baño María</p>	<p>Marca: Humboldt  Modelo: H1390  Dimensiones: 495x292x203 mm  Voltaje: 110 V  Frecuencia 60 Hz  Peso: 21,4 kg</p> <p><b>CAPACIDAD</b>  -Puede acomodar 12 muestras Marshall de 4 "de diámetro o 3 de 6" de diámetro a la vez.  - Volumen de 7.76 galones (29.40L)</p> <p><b>INCLUYE</b>  -Barra de agitación magnética  -Todas las áreas expuestas son de acero inoxidable  -Microprocesador para precisión de control de temperatura</p>
NOMBRE DEL EQUIPO	DETALLE DEL PRODUCTO
<p style="text-align: center;"><b>TAMIZADORA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Fig. 23</b> Tamizadora</p>	<p>Marca: CONTROLS  Modelo: 15-D0407 / BZ  Voltaje: 110V - 220 V  Frecuencia 50-60 Hz  Dimensiones: 496x406x946 mm  Potencia: 400W  Peso: 30 kg  Temporizador: 0-99 minutos</p> <p><b>CAPACIDAD</b>  -Hasta doce tamices de 200 mm (8") más bandeja y tapa  -Hasta ocho tamices de 300-315 mm (12") más bandeja y tapa.</p>

NOMBRE DEL EQUIPO	DETALLE DEL PRODUCTO
<p data-bbox="431 306 849 338" style="text-align: center;"><b>MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b></p>  <p data-bbox="464 705 818 737" style="text-align: center;"><b>Fig. 24</b> Máquina de los Ángeles</p>	<p data-bbox="943 270 1383 459"> <b>Marca:</b> CONTROLS  <b>Modelo:</b> 48-D0500 / DZ  <b>Voltaje:</b> 110V  <b>Frecuencia</b> 60 Hz  <b>Peso:</b> 350 Kg </p> <p data-bbox="943 548 1383 1129"> <b>INCLUYE</b>  - Juego de bolas de acero acc. a ASTM  - Contador automático  - Tambor de acero laminado diámetro interior de 711 mm y longitud interna 508 mm  - El tambor gira mediante un reductor de velocidad accionado por un motor eléctrico a una velocidad de entre 31 y 33 rpm NTE INEN 860 y 86  - Posee un gabinete para reducción de sonido  - Puede moler hasta un peso máximo de 5 kg </p>
NOMBRE DEL EQUIPO	DETALLE DEL PRODUCTO
<p data-bbox="496 1272 784 1304" style="text-align: center;"><b>MOLINO DE BOLAS</b></p>  <p data-bbox="472 1661 808 1692" style="text-align: center;"><b>Fig. 25.</b> Molino de Bolas [58].</p>	<p data-bbox="943 1236 1383 1425"> <b>Marca:</b> UTA  <b>Dimensiones:</b> 950x300x510 mm  <b>Potencia:</b> 0.5 HP  <b>Peso del tambor:</b> 8,5 kg  <b>Peso bolas:</b> 8 kg </p> <p data-bbox="943 1514 1383 1818"> <b>CAPACIDAD</b>  - Máx. Capacidad de carga: 18 kg  - Diámetro tambor: 0.21 m  - Longitud tambor: 0.33 m  - Velocidad de giro: 74 rpm  - Tiempo de molienda: 1-10 horas  - Nivel de ruido: 85 dB  - Reductor de velocidad: 1:20 </p>

NOMBRE DEL EQUIPO	DETALLE DEL PRODUCTO
<p style="text-align: center;"><b>MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO</b></p>  <p><b>Fig. 26.</b> Microscopio electrónico de barrido A a Z [40]</p>	<p>Marca: JEOL  Modelo: El JSM-IT100  Voltaje: 100V  Requiere el mismo espacio que un microscopio electrónico de barrido de sobremesa.</p>
	<p><b>INCLUYE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Monitor</li> <li>-Modo de bajo vacío</li> <li>-Interfaz de software fácil de usar</li> </ul> <p><b>ACCESORIOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistema óptico de electrones contiene:  Pistola de electrones (produce un haz de electrones fino) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pistola de emisión termiónica TE (para uso general)</li> <li>• Pistola de electrones de emisión de campo FE (para superficie metálica)</li> <li>• Pistola de electrones de emisión Schottky SE (para un campo eléctrico alto a una superficie metálica calentada)</li> </ul> </li> <li>-Lente de condensador</li> <li>-Lente de objetivo (determina la resolución SEM.)</li> <li>-Bobina de escaneo (escanear la sonda de electrones)</li> <li>- Detector de electrones secundario (iluminación y brillo)</li> <li>- Cámara de muestras con sistema de vacío</li> <li>-Realiza los siguientes movimientos: movimiento horizontal (X, Y), movimiento vertical (Z), inclinación de la muestra (T) y rotación (R).</li> </ul>
	<p>El sistema óptico de electrones y la cámara de muestras deben mantenerse a un alto vacío de <math>10^{-3}</math> a <math>10^{-44}</math> Pa.</p>

## **2.2. Método**

Este proyecto investigativo se realizó aplicando una metodología de investigación bibliográfica, experimental, de laboratorio, de campo y aplicada para el cumplimiento de los objetivos propuestos en esta tesis, mediante el procedimiento descrito a continuación.

### **2.2.1 Obtención de Información**

#### **Revisión fuente de consulta en el repositorio de la UTA**

Mediante el uso de la biblioteca virtual y el repositorio universitario proporcionada por la Universidad Técnica de Ambato se recolectó una gran cantidad de artículos de revistas de alto impacto, revistas regionales, manuales, libros y tesis en los cuales se muestra el uso que se le da a los aluminosilicatos, además de los lugares en el Ecuador en los que se encuentra este mineral. Ello sirvió en gran medida como base para el desarrollo de este estudio.

#### **Obtención mapas ARCOM**

La Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) proporciona un catastro minero, por medio del cual se recolectó la información necesaria (nombre de la mina, puntos de ubicación, área explotada) con esta información se realizó el catastro inicial como punto de partida de esta tesis, después se verificó dicha información en Google Earth y se procesó en el programa ArcGis, como resultado final se generó los mapas preliminares descriptivos de las ubicaciones de minas y oficinas del cantón Guayaquil.

#### **Contactos a los dueños de minas de aluminosilicatos**

Una vez conocido los nombres de las minas de aluminosilicatos y su ubicación, con la ayuda del internet se buscó los números de teléfono de los representantes de varias empresas en su página web, en donde se encontraba información de productos y materia prima que eran necesarios para esta la elaboración de esta investigación.

La información que proporcionó el catastro minero de ARCOM no coincidía con el estado actual de las minas en el Ecuador, debido a que algunas de ellas ya habían cerrado o cambiado de dueño, y las áreas de explotación eran más pequeñas.



Por medio de un viaje a la provincia del Guayas se pudo constatar algunas de las ubicaciones recolectadas en el catastro inicial comenzando en el cantón Isidro Ayora por ser el lugar donde se encuentran la mayoría de minas de zeolita para posteriormente tomar la dirección hacia el cantón Guayaquil y finalizar en la Espoch-Guayaquil.

Se contactó con el dueño de la empresa Zeonatec, quien nos recibió en la mina y procesadora de su empresa, el aporito con cierta información, inclusive comento tener una oficina ubicada en el cantón Guayaquil provincia del Guayas, por otro lado, la empresa Indami, proporcionaron cierta información del producto que ofertaban.

Se visitó al Dr. Fernando Morante Carballo profesor de la Espoch-Guayaquil, quien es el autor de muchos estudios realizados acerca de los aluminosilicatos (Zeolitas), siendo ésta una guía inicial importante en la realización de este proyecto.

	
<p>Explicación de las zeolitas en la mina de Zeonatec</p>	<p>Visita a la mina de la empresa Zeonatec</p>
	
<p>Recorrido de la procesadora de la empresa Zeonatec</p>	<p>Toma de puntos de las minas, procesadoras, y oficinas con la ayuda del GPS</p>

	
<p>Visita a las oficinas de la empresa Indami</p>	<p>Llegada a los laboratorios de la ESPOCH-Guayaquil</p>

**Tabla 12:** Obtención de las ZZ, ZA, ZI

### 2.2.2 Obtención de los Materiales

Se obtuvo las zeolitas ZA, ZI, ZZ mostradas en la **Tabla 13** de las siguientes minas:

ZA	ZI	ZZ
		

**Tabla 13:** Zeolitas recolectadas para la investigación

La zeolita ZZ fue obtenida en la procesadora de la empresa Zeonatec ubicada en el cantón Isidro Ayora, Provincia del Guayas, con oficinas en la ciudad de Guayaquil lugar donde se adquirió un saco de 25 kg de Zeonatec - MINEPLUS con una finura que pasa el 100% la malla #200, esto se verificó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil.

Mientras que la zeolita ZA fue extraída de manera directa de la mina de Zeonatec ubicada en el cantón Isidro Ayora, se extrajo una cantidad aproximada de 15 kg en roca correspondiente a una toba volcánica de color azul, la cual presenta manchas de oxidación y aluminosilicatos de otros colores en poca cantidad.

Por otro lado, se adquirió un saco de 25 kg de Zeolita ZI directamente en las oficinas de la empresa Indami ubicada en el Km 19,5 Vía a la Costa Guayaquil. Este producto contaba con una ficha técnica entregada por la empresa, consecutivamente esto fue verificado en los laboratorios, se trabajó solo con el material que pasa la malla #200.

Para realizar cada uno de los ensayos pertinentes se pasó cada una la de las muestras de ZZ, ZA, ZI nuevamente por el tamiz # 200 debido a que dichas muestras se aglomeran haciendo difícil su manipulación.

### **Obtención del cemento SELVALEGRE Portland 1P**

Mediante observaciones realizadas en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, el cemento selva alegre, es el más usado por los habitantes y de fácil adquisición en las ferreterías de la localidad.

En la elección de materiales para el avance de este proyecto de investigación se optó por el uso del cemento Portland Puzolánico IP (SELVALEGRE PLUS), por su acatamiento con los requisitos establecidos por las normas tanto nacionales como internacionales, en lo pertinente a la fabricación y por la calidad del producto mostrados en la **Tabla 8**.

### **2.2.3 Preparación de Materiales**

Una vez que se obtuvo la cantidad necesaria de cada aluminosilicato para realizar los ensayos pertinentes, se prosiguió a realizar las siguientes actividades.

#### **2.2.3.1 Trituración de Aluminosilicatos**

##### **Máquina de los Ángeles (MA)**

1. Para esto se empleó de manera preliminar la máquina de los ángeles, para conseguir una molienda fina del Aluminosilicato ZA.
2. Inicialmente se limpió el tambor de cualquier material extraño que se encuentre en la maquina antes de usarla.
3. Se colocó una piedra de peso aproximado de 2,5 kg de ZA con 12 esferas de acero inoxidable dentro del tambor de la máquina, durante un tiempo aproximado de 15 minutos (500 revoluciones).

4. Se esperó un lapso de 5 minutos hasta que el polvo que se encuentra dentro del gabinete se asiente, una vez hecho esto, se retiró la tapa de la máquina y se observó un material muy poco triturado por lo cual se puso durante 15 minutos más.
5. Al visualizar poco material fino pulverizado. se procedió a picar a combo las piedras de ZA de mayor tamaño, reduciéndolas a 10 cm de diámetro aproximadamente, colocando el mineral nuevamente dentro de la Máquina de los Ángeles durante una hora.
6. Se retiró la muestra para después ser llevada a tamizar.
7. Para la segunda, tercera y cuarta molienda se colocó 5 kg de ZA martillada a combo dentro de la Máquina de los Ángeles (el peso máximo permitido por la máquina) durante una hora, después se extrajo la muestra y se realizó el respectivo tamizado para conocer la cantidad de material fino que paso a través del tamiz #200.
8. Se tamizó y clasificó las muestras mediante un juego de tamices No. 3/8", #4, #10, # 200 y fuente.
9. Todo el material sobrante que no pasó el tamiz No. 200 de ZA nuevamente fue martillado a combo para posteriormente ser pasado por los tamices número No 3/8", #4, #10 y #200 obteniendo los pesos finales mostrados en la **Tabla 14**.

<b>ZA</b>		
<b>Tamiz</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Peso (g)</b>
No 3/8	> 9,5 mm	0
#4	4,75 - 9,5mm	1131,7
#10	2 -4,75 mm	447,42
#200	> 75 μm	10126
FUENTE	≤ 75 μm	3680,1
Total		15385,22

**Tabla 14:** Pesos de la ZA obtenidos mediante la MA.

10. Como se obtuvo apenas una pequeña cantidad de 3,680.8 g de ZA de un total de 15,385.22 g, se procedió a revisar las máquinas más adecuadas del Laboratorio de Ingeniería Mecánica para una mejor molienda.

	
<p>(a) Ingreso de 2,5 kg de ZA con 12 esferas de acero inoxidable dentro MA</p>	<p>(b) Piedras de ZA de mayor tamaño picadas como tamaño picadas como</p>
	
<p>(c) Retiro del mineral ZA triturado de la M.A.</p>	<p>(d) Ingreso de la ZA a los tamices #3/8", #4, #10, # 200 y fuente.</p>
	
<p>(e) Ingreso de los tamices a la tamizadora</p>	<p>(f) Clasificación y etiquetado de las muestras de ZA en fundas herméticas</p>

**Tabla 15:** Molienda de la ZA en la Maquina de los Ángeles.

### Molino de bolas

#### Proceso de Trituración de la ZA

Para encontrar la cantidad y tiempo óptimo de molienda de ZA, se ingresó varios pesos con diferentes dimensiones al molino de bolas, y aportando información extra al







estudio se realizó las tablas y gráficas granulométricas con los datos obtenidos en cada una de las moliendas.

1. En la primera molienda se colocó un peso de 300g con partículas que van desde un tamaño de 4,75mm - 9,5 mm, se molió durante 40 minutos, luego la muestra se clasificó mediante un juego de tamices número 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fuente, el tamizado duro 30 minutos.
2. En la segunda molienda se colocó un peso de 300 gr con partículas que van desde un tamaño de 4,75mm-9,5mm, se molió durante 40 minutos, luego la muestra se clasificó mediante un juego de tamices número 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fuente, el tamizado duro 30 minutos.
3. En la tercera molienda se colocó un peso de 300 g con partículas que van desde un tamaño de 4,75mm -9,5 mm, se molió durante 60 minutos, luego la muestra se clasificó mediante un juego de tamices No. 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fuente, el tamizado duro 30 minutos.
4. En la cuarta molienda se colocó un peso de 300 gr con partículas que van desde un tamaño de <4.75 mm y > 2 mm, se molió durante 40 minutos, luego la muestra se clasificó mediante un juego de tamices número 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fuente, el tamizado duro 30 minutos.
5. En la quinta molienda se colocó un peso de 300 gr con partículas que van desde un tamaño de <4.75 mm y > 2 mm, se molió durante 60 minutos, luego la muestra se clasificó mediante un juego de tamices número 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fuente, el tamizado duro 30 minutos.
6. En la sexta molienda se colocó un peso de 300 gr con partículas que van desde un tamaño de < 2 mm y > 75 um, se molió durante 60 minutos, luego la muestra se clasificó mediante un juego de tamices número 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fuente, el tamizado duro 30 minutos.
7. En la séptima molienda se colocó un peso de 1000 gr con partículas que van desde un tamaño de < 2 mm y > 75 um, se molió durante 60 minutos, luego la muestra se clasificó mediante un juego de tamices número 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fuente, el tamizado duro 30 minutos.

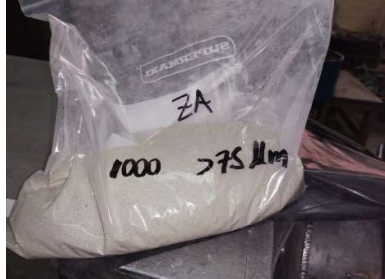





8. En la octava molienda se colocó un peso de 1000 gr con partículas que van desde un tamaño de < 2 mm y > 75 um, se molió durante 120 minutos, luego la muestra se clasificó mediante un juego de tamices número 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fuente, el tamizado duro 30 minutos.
9. Se usó de manera definitiva el molino de bolas ingresando al tambor las bolas de acero inoxidable y una cantidad aproximada de 2 kg de ZA durante 2 horas, después se tamizó, obteniendo casi el 50% de material fino que pasa el tamiz #200 en cada molienda (**Tabla 16**).
10. Se trituro la ZA hasta obtener una cantidad considerable para realizar los ensayos pertinentes.

<b>ZA</b>	<b>MOLIENDA 1</b>		<b>MOLIENDA 2</b>		<b>MOLIENDA 3</b>	
Fecha Molienda	31/01/2020		31/01/2020		10/02/2020	
Fecha Tamizado	06/02/2020		06/02/2020		06/02/2020	
Peso antes de Moler (g)	2542,00		2190,00		1820,00	
Peso después de Moler (g)	2541,56		2186,00		1814,16	
Tiempo de molienda(min)	120,00		120,00		120,00	
Tiempo de tamizado(min)	90min /1000gr		90min /1000gr		90min /1000gr	
Tamiz	N°200	Fuente	N°200	Fuente	N°200	Fuente
Ret. parcial (g)	1350,17	1187,68	1220,73	952,58	705,93	1104,74
Ret. acumulado (g)	1350,17	2537,85	1220,73	2173,31	705,93	1810,67
Ret. Acumulado %	53,20	100	56,17	100	38,99	100
% que pasa	46,80	-	43,83	-	61,01	-
% pérdida	0,15		0,58		0,19	
Retenido %	46,80		43,83		61,01	

**Tabla 16:** Pesos de la ZA triturados 2 horas en el Molino de Bolas.

	
<p>(a) Ingreso de 300 g ZA de tamaño de 4,75mm-9,5mm al molino</p>	<p>(b) Trituración de una muestra de tamaño 4,75mm-9,5mm</p>
	
<p>(c) Peso de 300 g de ZA de tamaño &lt;4.75 mm y &gt; 2 mm</p>	<p>(d) Ingreso de 300g de ZA, de tamaño &lt;4.75 mm y &gt; 2 al molino</p>
	
<p>(e) Peso de 300 g de ZA de tamaño &lt; 2 mm y &gt; 75 <math>\mu</math>m</p>	<p>(f) Trituración de 300 g de ZA de tamaño &lt; 2 mm y &gt; 75 <math>\mu</math>m</p>



	
<p>(g) Ingreso de 1000g de ZA de tamaño de tamaño <math>&lt; 2 \text{ mm}</math> y <math>&gt; 75 \mu\text{m}</math> al molino</p>	<p>(h) Trituración de 1000 g de una muestra de tamaño <math>&lt; 2 \text{ mm}</math> y <math>&gt; 75 \mu\text{m}</math></p>
	
<p>(i) Ingreso de 2000 g ZA de tamaño <math>&lt; 2 \text{ mm}</math> y <math>&gt; 75 \mu\text{m}</math> al molino</p>	<p>(j) Trituración de 2000g de una muestra de tamaño <math>&lt; 2 \text{ mm}</math> y <math>&gt; 75 \mu\text{m}</math></p>
	
<p>(k) tamizado de las muestras.</p>	<p>(l) Trituración obtenida</p>

**Tabla 17:** Molienda de la ZA en el Molino de Bolas.

### **2.2.3.2 Ensayos Realizados**

#### **DENSIDAD REAL**

##### **Determinación de la Densidad del Cemento (Peso Específico)**

**NORMA:** ASTM C-188 - NTE INEN 0156

##### **Procedimiento:**





1. Lavar y secar bien el picnómetro vacío para luego ser pesado en la balanza electrónica.
2. Pesar 64 g de cemento o cualquier muestra pulverizada de aluminosilicato que se desee ensayar, colocar los 64 g de muestra en el picnómetro usando un embudo y procurando que el material no se quede en el cuello del picnómetro.
3. Pesar el picnómetro + cemento y anotarlo.
4. Llenar con gasolina EXTRA el picnómetro+ muestra hasta la marca de aforo con la ayuda del embudo y la pipeta.
5. Girar el picnómetro con cierta inclinación de manera constante para que salga todo el aire del matraz.
6. Tomar la temperatura del picnómetro + muestra + gasolina verificando que sea la establecida por la norma ( $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ )
7. Pesar el picnómetro + muestra + gasolina y anotarla.
8. Vaciar y lavar bien el picnómetro con gasolina o agua para después secarlo usando la máquina de compresión de aire.
9. Llenar solo el picnómetro con gasolina hasta la marca de aforo, luego verificar que la gasolina EXTRA se encuentre a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  con un máximo de diferencia de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  a la temperatura con la cual se inició este ensayo.
10. Pesar el picnómetro + gasolina.
11. Con los datos obtenidos realizar una tabla en excel en la cual se calcule la densidad real del cemento.
12. Repetir el ensayo por lo menos 2 veces como estipula la norma.



##### **Precisión y desviación**

1. La verificación del valor de la densidad radica en que con un mismo operador no debe haber una diferencia mayor a  $\pm 0,03 \text{ gr/cm}^3$  del resultado final de densidad entre cada ensayo. La desviación estándar de un solo operador para cemento portland es de 0,012
2. La desviación estándar entre laboratorios para cemento portland es 0,037; por lo tanto, el resultado de dos ensayos adecuadamente realizados por dos laboratorios diferentes en muestras del mismo cemento no debe diferir en más de 0,10

**Cálculo de la densidad.**

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

	
<p>(a) Peso de 64 g de una muestra</p>	<p>(b) Control de la temperatura de la gasolina a 23°C</p>
	
<p>(c) Peso de la gasolina + picnómetro</p>	<p>(d) Peso de la gasolina + picnómetro + muestra</p>

	
<p>(e) Giro del picnómetro inclinado para que salga el aire del mismo.</p>	<p>(f) Lavado y secado del picnómetro con la ayuda de la máquina de compresión de aire</p>

**Tabla 18.** Procesos para la determinación de la densidad de las muestras

## CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

**NORMA: AASHTO T- 100      ASTM D 854 -58**

Para verificar que las cantidades obtenidas en el ensayo de densidad son las correctas, se realizó la calibración del picnómetro que consiste en:

1. Pesar el picnómetro limpio y seco, registrar ese dato.
2. Llenar el picnómetro con gasolina hasta la marca de aforo.
3. Hervir y enfriar la gasolina contenida en el picnómetro a baño María, y girar periódicamente el picnómetro hasta remover completamente el aire contenido.
4. Tomar la temperatura con el termómetro procurando que sea constante.
5. Secar con papel absorbente cualquier gota de agua que esté en el exterior del picnómetro, o gasolina en el interior del cuello.
6. Registrar el peso del picnómetro con gasolina a varias temperaturas con una precisión de 0.01 g.
7. Graficar la curva de volumen de calibración del picnómetro en el eje vertical y la temperatura en el eje horizontal para obtener la ecuación lineal de la recta y el coeficiente de determinación.

8. Ajustar de nuevo el nivel de gasolina del picnómetro con los 64g de muestra hasta la marca de aforo y repetir el procedimiento descrito hasta obtener varias medidas independientes de calibración.
9. Para cada valor de temperatura calcular el valor de la densidad descrita en la NTE INEN 0156.
10. Con todos los valores registrados calcular la media ( $\bar{X}$ ) y la desviación estándar (SD), con el fin de obtener un rango en el cual se deba encontrar el valor de la densidad.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + X_n}{n}$$

$$SD = \frac{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}}{n - 1}$$

## **FINURA**

### **Método directo:**

### **Determinación de la Finura por Tamizado Seco**

**NORMA:** NTE INEN - 489

### **Procedimiento:**

1. Pesar 50 g de muestra y colocarla sobre un tamiz limpio No.100 con la bandeja incorporada.
2. Sostener con ambas manos el tamiz sin tapa, tamizar durante 4 minutos con un suave movimiento de rotación hasta que la mayor parte del material fino pase a través de la malla y el residuo aparezca prácticamente limpio.
3. Colocar un pliego de papel blanco debajo mientras se está tamizando de esta manera se procura que no se derrame el material y si pasa devolverlo al tamiz.
4. Girar continuamente el tamiz durante el proceso de tamizado intentando no derramar el residuo.
5. Colocar la tapa en el tamiz, luego sostenerlo firmemente con la mano, golpear suavemente los costados del tamiz con el mango de la brocha y limpiar la parte inferior del tamiz.
6. Vaciar la bandeja y limpiarla a fondo con un papel desechable, después volver a colocar el tamiz, repetir el procedimiento hasta 8 minutos, dependiendo de la condición en que se encuentre el material.
7. Realizar los ensayos de 1 minuto, sosteniendo el tamiz con la bandeja y la tapa puesta, con una mano ligeramente inclinada moverlo hacia atrás y adelante, de una manera que golpee suavemente el tamiz con la palma de la otra mano alrededor de 150 veces por minuto, girando el tamiz un sexto de la revolución cada 25 golpes.
8. Realizar el tamizado sobre un papel blanco y regresar al tamiz cualquier material que se escape o derrame.

9. Repetir esta operación hasta que no más de 0,05g del material pase en un minuto de tamizado continuo.

**Precisión y desviación**

1. La máxima diferencia entre los resultados de la determinación efectuada por duplicado no debe exceder del 2%, en caso contrario, debe repetirse la determinación.
2. No existen datos precisos debido al limitado uso de este método, se recomienda realizar la propia precisión en los laboratorios
3. No existe declaratoria para la desviación, puesto que no hay un material de referencia aceptado para una desviación promedio.

**Cálculo del ensayo cuando no se usa corrección.**

$$F = 100 - \left[ \frac{Rs * 100}{m} \right]$$






**Donde:**

F= finura del cemento expresado en porcentaje (cantidad que pasa el tamiz No 100)

Rs= Residuo de la muestra (cantidad que no paso el tamiz No 100)

m = masa inicial de la muestra

	
<p>(a) Peso de 50 g de muestra</p>	<p>(b) Muestra colocada sobre el tamiz No.100 con la bandeja</p>

	
<p>(c) Tamizado de la muestra con las manos durante 4 y 8 minutos</p>	<p>(d) Golpes de 1 min. al tamiz girando 1/6 cada 25 golpes durante 10 seg.</p>
	
<p>(e) Golpes con el mango de la bocha del tamiz para desprender material de los fillos</p>	<p>(f) Limpieza de la tapa, previendo la perdida de material</p>
	
<p>(h) Residuo de la muestra en el tamiz #100</p>	

**Tabla 19.** Pasos para el ensayo de finura por tamizado seco



## PROCEDIMIENTO PARA EL SEM Y EDS

El estudio de la morfología de los 3 tipos de zeolita (ZA, ZI, ZZ) y el cemento (SELVA ALEGRE IP) se lo realizó en un equipo SEM de marca JEOL JSM – IT 100, para lo cual se colocó una pequeña cantidad de la muestra en una cinta de carbono doble faz en un stub, para metalizarla con oro y se realiza su respectivo análisis morfológico con una energía de 15 kiloelectronvolts a diferentes aumentos.

El análisis EDS se lo realizó en zonas específicas enmarcadas en las imágenes SEM para obtener los espectros característicos de cada muestra con los porcentajes atómicos de los elementos que se encuentran presentes. Los espectros EDS se obtienen con un voltaje de 15 KeV repitiendo la adquisición 4 veces, con un promedio de duración de 25 segundos por adquisición y así promediar las intensidades en cada energía para la determinación de los elementos presentes en las muestras analizadas.

### Proceso

1. Recubrir las muestras de 1P, ZZ, ZI, ZA con cinta y después se la materializa con una capa delgada de un metal noble (oro, paladio o platino) con un espesor de 10 nm, para que la superficie tenga conductividad.
2. Enforcar sonda eléctrica mediante los siguientes movimientos en el monitor: horizontal (X, Y) para el campo de visión, vertical (Z) para la resolución de la imagen, inclinación de la muestra (T) y rotación (R). Si se lo hace bien se puede tener una imagen nítida
3. Usar para todas las muestras la pistola de emisión térmica tipo (TE) y aplicar el voltaje positivo de 1 a 30 keV según las especificaciones que se muestra en la **Tabla 20**.

Característica	Pistola de electrones (TE)	
	Tungsteno	Cristal (LaB <sub>6</sub> )
Tamaño de fuente de electrones	15 ~ 20 μm	10 μm
Brillo (Acm <sup>-2</sup> rad <sup>-2</sup> )	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>
Propagación de energía (kV)	3 ~ 4	2 ~ 3
Tiempo	50 h	500 h
Temperatura del cátodo (K)	2800	1900
Fluctuación actual (por hora)	<1%	<2%

**Tabla 20:** Características del cañón de electrones TE [40]

4. Aplicar la sonda electrónica sobre la muestra con el haz de electrones para producir interacciones entre los electrones del mismo haz y los átomos de la muestra. La energía que pierden los electrones al entrar en contacto con la muestra genera que otros electrones salgan despedidos (electrones secundarios)
5. Mantener el interior del sistema óptico de electrones y la cámara de muestras a un alto vacío de  $10^{-3}$  a  $10^{-44}$  Pa.
6. Observar la topografía de la superficie mediante el escaneo bidimensional de la sonda electrónica sobre la superficie y la adquisición de una imagen por los electrones secundarios detectados
7. Generar el espectro de rayos X obtenido por el EDS. En el eje horizontal corresponde a la energía de rayos X, mientras que el eje vertical corresponde a los recuentos de rayos X según las condiciones establecidas en la **Tabla 21**.

<b>EDS</b>	
Rango de elementos medibles	B ~ U
Método de medida	Método de dispersión de energía con un detector de semiconductores de Si (Li)
Resolución	$E \cong 130 \sim 140$ eV
Velocidad de medición	Rápido
Medición simultánea de elementos múltiples	Posible
Daño / contaminación de la muestra	Pequeño
Límite de detección	1500 ~ 2000ppm
Rays X detectables por corriente	Muchos

**Tabla 21:** Características del JEOL- EDS [40]

8. Calcular los porcentajes por óxido con un factor de conversión para cada elemento.
9. Aplicar las ecuaciones de Bogue las cuales se encuentran en la NTE INEN 152 para el  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_3AF$

$$\text{Silicato tricálcico (C}_3\text{S)} = (4,071 * \%CaO) - (7,600 * \%SiO_2) - (6,718 * \% Al_2 O_3) - (1,430 * \%Fe_2O_3) - (2,852 * \%SO_3)$$

**Silicato dicálcico (C<sub>2</sub>S) = (2,867 \* %SiO<sub>2</sub>) – (0,7544 \* C<sub>3</sub>S)**

**Aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A) = (2,650 \* % Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>) – (1,692 \* %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

**Ferroaluminato tetracálcico (C<sub>4</sub>AF) = 3,043 \* %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

## **CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Análisis y discusión de resultados**

#### **MAPAS GENERADOS EN ARCGIS**

### MAPA DE LA CORDILLERA CHONGON- COLONCHE

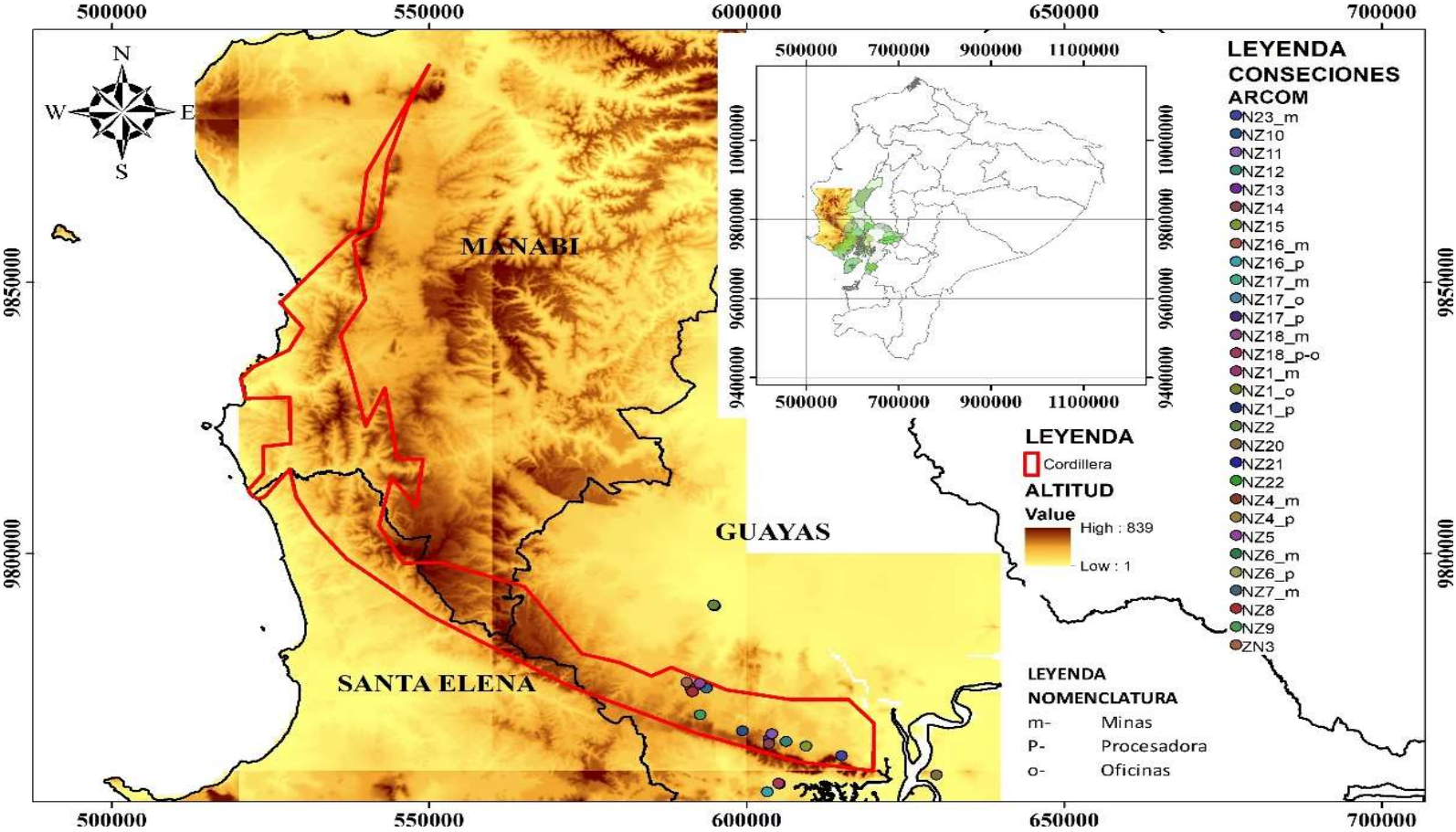


Fig. 27: Mapa de las minas, procesadoras y oficinas según ARCOM ubicados en la Cordillera Chongon-Colonche

En la **Fig. 27** la parte señalada en rojo representa aproximadamente la superficie de lo que se conoce como la cordillera Chongon-Colonche, los picos montañosos más elevadas de la cordillera se encuentra en un tono café oscuro y es donde hay la mayor incidencia de aluminosilicatos (Zeolitas), el tono amarillo son las superficies planas. Se observa en el lado derecho 30 puntos que corresponde a la ubicación de minas (m), procesadoras (p) y oficinas (o) obtenidas con la ayuda del catastro minero de la página de ARCOM, la mayoría de estos puntos se encuentran dentro de parte de la cordillera Chongon-Colonche perteneciente a la provincia del Guayas.

### MAPA DE LOS PUNTOS TOMADOS CON GPS

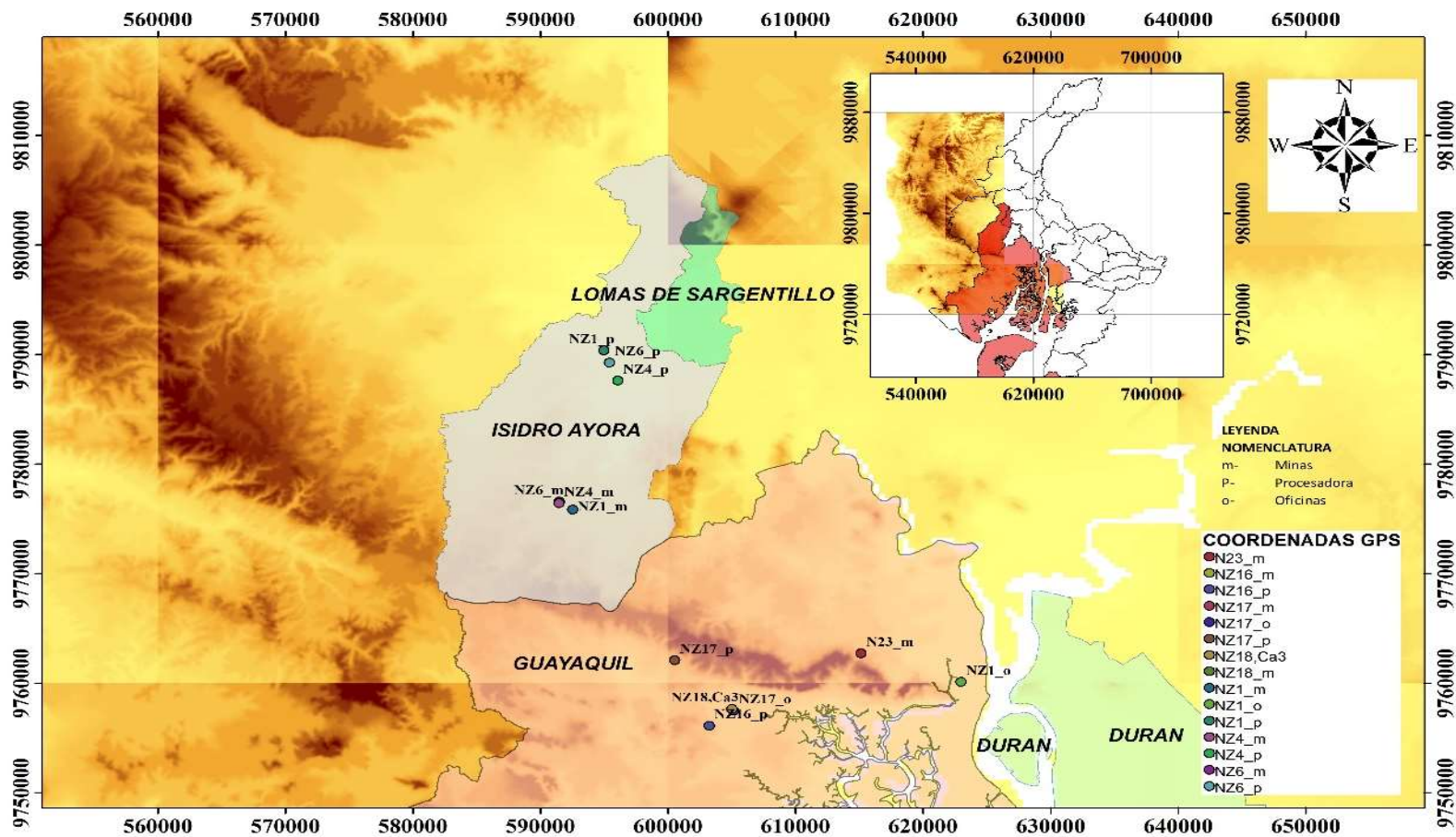


Fig. 28 Mapa de minas, procesadoras y oficinas visitadas y con coordenadas GPS

En la **Fig. 28** se representa la ubicación de 15 puntos de minas, procesadoras y oficinas tomados con la ayuda del GPS por medio de una visita a cada sitio, se puede observar que los cantones Isidro Ayora, Guayaquil, y Duran tienen mayor actividad productiva con respecto a la explotación minera de estos aluminosilicatos.

Los nombres y datos de las concesionarias proporcionados por la página de ARCOM varían totalmente con respecto a la realidad actual, ya que algunas de las minas cerraron, cambiaron de dueños y otras no constan en el catastro.

La mayoría de procesadoras y oficinas de los lugares visitados extraen el mineral del cantón Isidro Ayora, para después de ser triturado en las procesadoras y distribuirlo en las oficinas a los clientes.

## MAPA DE LOS PUNTOS EN EL CANTÓN GUAYAQUIL

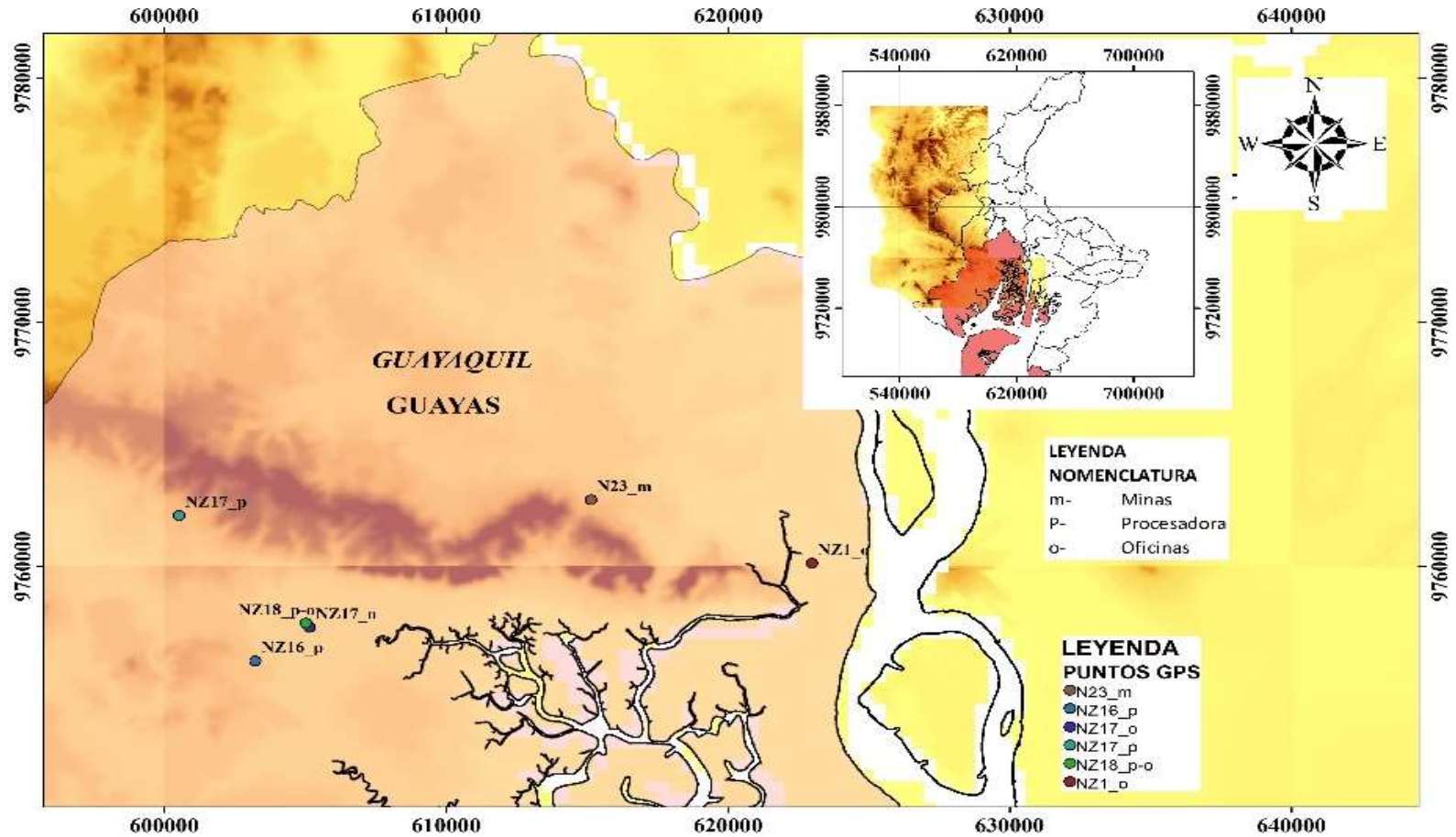


Fig. 29 Mapa de minas, procesadoras y oficinas del cantón Guayaquil



En la **Fig.29** se observa los puntos de minas, procesadoras y oficinas de Indami y Zeonatec (**Tabla 22**), dentro del cantón Guayaquil, en este lugar se seleccionó las muestras de ZA, ZZ y ZI utilizadas en la elaboración de esta tesis.

	<b>NOMBRE</b>	<b>COORDENADAS GPS</b>		<b>PROV.</b>	<b>CANTÓN</b>
NZ1_m	Mina Zeonatec (ZA)	9775847,00	592533,00	Guayas	Isidro Ayora
NZ1_p	Procesadora Zeonatec (ZZ)	9790375,09	594968,14	Guayas	Isidro Ayora
NZ1_o	Oficina Zeonatec	9760119,00	622975,00	Guayas	Guayaquil
NZ17_o	Oficina Indami (ZI)	9757498,57	605162,78	Guayas	Guayaquil
NZ17_p	Procesadora Indami	9762088,15	600531,19	Guayas	Guayaquil
NZ17_m	Mina Indami			Guayas	Isidro Ayora

**Tabla 22.** Ubicación de las muestras de ZZ, ZA,ZI tomadas con GPS

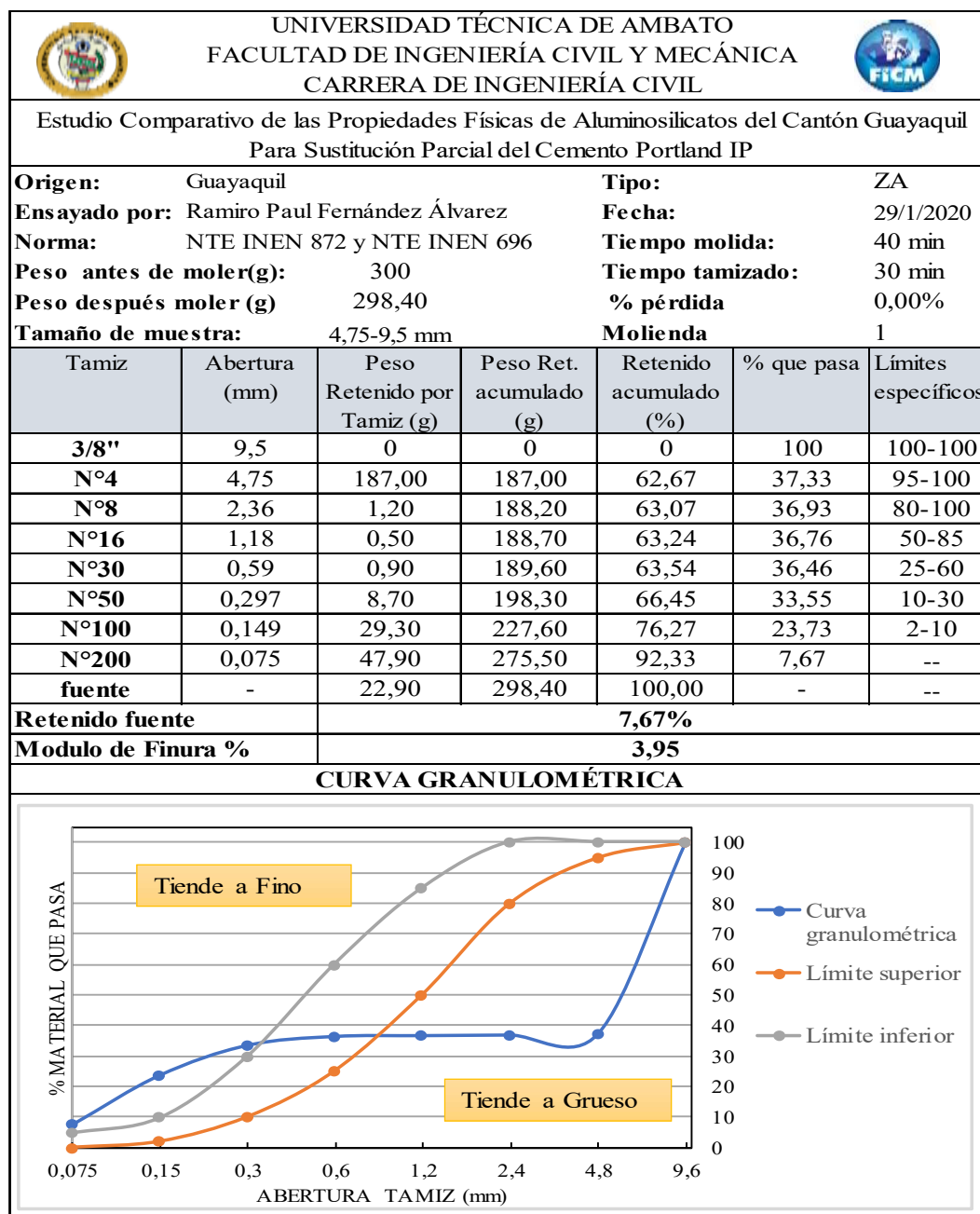
**Tabla 23: CATASTRO DE LAS ZEOLITAS DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS**

N	Nombre	x GPS	y GPS	x ARCOM	y ARCOM	Provincia	Cantón	Parroquia	Área (Ha)	Longitud	Latitud	Titular	Dirección	Teléfono	Observaciones	
1	NZ1_m	Mina Zeonatec	9775847,00	592533,00	9775861	592481	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,56	-80,17	-2,03	Lara Fiallos Diana Magali	Km 1.8 Vía las Mercedes	042692752 0960851639	Visitamos y ahí recogimos las zeolitas en piedra
2	NZ1_p	Procesadora Zeonatec	9790375,09	594968,14	9790357	594939	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,67	-80,15	-1,90	Sr Arsiniegas	Cdla. Albatros Calle Pinzon #218	042692752 0960851640	Visitamos y compramos 2 quintales 200 y 325
3	NZ1_o	Oficina Zeonatec	9760119,00	622975,00	-	-	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-	-	-	-	-	No visitamos
4	NZ17_o	Oficina Indimi	9757498,57	605162,78	9757511	605155	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	0,52	-80,05	-2,19	-	Km 19.5 via Guayaquil Salinas	-	Visitamos y compramos 1 saco 200
5	NZ17_p	Procesadora Indami	9762088,15	600531,19	-	-	Guayas	Guayaquil	Chongón	3.32			-	-	-	Visitamos
6	NZ17_m	Mina Indami	-	-	-	-	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora		-80,17	-2,03	-	Km 1.8 Vía las Mercedes	-	Traen la Zeolita de Isidro ayora
7	NZ18_Ca	Procesadora y Oficina Calmosacorp	9757669,26	605032,50	9757670	605012	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	1,48	-80,06	-2,19	-	Km20 Via la Costa	0994111842	Visitamos, pero solo pocas personas
8	NZ18_m	Mina Calmosacorp	-	-	-	-	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora				-	Vía las Mercedes	-	Traen de Isidro Ayora no brindaron información
9	NZ16_p	Procesadora y Oficina Crilarsa Y Biomarsa	9756123,76	603233,91	9756100	603235	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	2,92	-80,07	-2,21	Ing Cristobal Pazmiño Molina	Km 22 Vía la Costa	0993903972	Visitamos
10	NZ16_m	Mina Crilarsa Y Biomarsa	-	-	-	-	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	-	-	-	Ing Cristobal Pazmiño Molina	Vía las Mercedes	0993903972	Traen de Isidro Ayora por el tiempo no se pudo conversar con el dueño
11	N23_m	Mina ESPOL y Laboratorios	9762722,52	615139,76	9762772	614943	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-	-	-	-	-	Visitamos
12	NZ6_p	Procesadora Bexi	9789258,84	595427,37			Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,62	-80,14	-1,91	-	-	-	Solo miramos
13	NZ6_m	Mina Bexi	9776574,87	591488,72	9776334	590551	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,85	-80,18	-2,02	-	Vía las Mercedes	-	Solo miramos en Isidro Ayora
14	NZ4_p	Procesadora ELENA	9787616,86	596081,20	-	-	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,59	-80,18	-2,03	Vera Pazmiño Bexi Elizabeth María	Cdla. Albatros Calle Pinzon #218	099465409	Solo miramos
15	NZ4_m	Mina ELENA	9776429,26	591462,77	9775073	591256	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	1,18	-80,18	-2,02	-	Vía las Mercedes	-	Solo miramos
16	NZ7_m	Mina Calcarios del Pacifico	-	-	9775185	593698	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	0,55	-80,16	-2,03	-	-	-	No visitamos
17	ZN3	Zeolitas	-	-	9776330	590547	Guayas	Lomas de Sargentillo	Lomas de Sargentillo	40	-80,19	-2,02	Escalante Chalen Olga Gardenia	Bolivia 1211 Y Capitán Saeda	042445585 0994413356	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
18	NZ9	Pincopaz I	-	-	9770315	592713	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	300	-80,17	-2,08	Pincopaz S.A.	Urdenor 1 Manzana 137 Villa 18	042921458	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen

19	NZ8	Río Paco	-	-	9774539	591447	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	12	-80,18	-2,04	Noboa Apolinario Matilde Mariela	Vacas Galindo y La 32	045039389	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
21	NZ7_m	Mina Calpacsa	-	-	9775190	593694	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	8	-80,16	-2,03	Torres Freire Rosa Delia	RB Torres del Salado Km 11/5 Vía a la Costa	042991510	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
22	NZ2	Fausto	-	-	9790533	594803	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	2	-80,15	-1,89	Ascencio Avellán Fausto Daniel	Coop. Renacer MZ. 142, Solar 24 (Guayaquil)	042875284	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
23	NZ13	Pinto	-	-	9765800	603500	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-80,07	-2,12	Zeolitas S.A.	Cdla. Santa Cecilia	0996324960	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
24	NZ14	Pintol	-	-	9765000	603500	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-80,06	-2,12	Zeolitas S.A.	Cdla. Santa Cecilia	0996324960	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
25	NZ12	Refugio	-	-	9765400	606200	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-80,04	-2,12	Zeolitas S.A.	Cdla. Santa Cecilia	0996324960	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
26	NZ5	Diana	-	-	9776100	592600	Guayas	Isidro Ayora	Isidro Ayora	-	-80,17	-2,03	Lara Fiallos Diana Magali	Sauces 4	-	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
27	NZ10	Chongón	-	-	9767365	599353	Guayas	Guayaquil	Chongón	-	-80,11	-2,10	Constructora Caminos y Minas Concamin CIA Ltda.	Vía a la Costa Km 10 1/2 Camino Real	-	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
28	NZ11	Clinop	-	-	9766800	604000	Guayas	Guayaquil	Chongón	-	-80,07	-2,11	Alcivar Escobar Cayetano Damián	Calle Lorenzo de Garaycoa y Ayacucho/Parroqui Bolivar/Cantón Guayaquil/Lorenzo de Garaycoa	-	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
29	NZ15	Voluntad de Dios I	-	-	9764537	609348	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-80,02	-2,13	Chávez Salazar Julio Cesar	MZ 113 Lote 19 Voluntad de Dios Sector 3 Bocas	-	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
30	NZ20	Cerro del Tres 1	-	-	9759200	629900	Guayas	Durán	Durán	-	-79,83	-2,18	Concreto y Prefabricados C Ltda.	Las Palmas 316 y La Sexta	0999791564	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
31	NZ21	Zeonat S.A.	-	-	-	-	Guayas	Guayaquil	Guayaquil	-	-	-	Zambrano Vargas Jasmin	Casa Matriz Principal 3 Colinas Alborada Intersección 765 a 300 metros de Mafeco	0998365238	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen
32	NZ22	GEORGY	-	-	9624700	684200	Loja	Saraguro	Sumaypamba	-	-79,34	-3,40	Sánchez Neira Jorge Teodoro	Manuel Vega 1090 y M Lamar	-	No llegamos y no se sabe si son minas o procesadoras o no existen



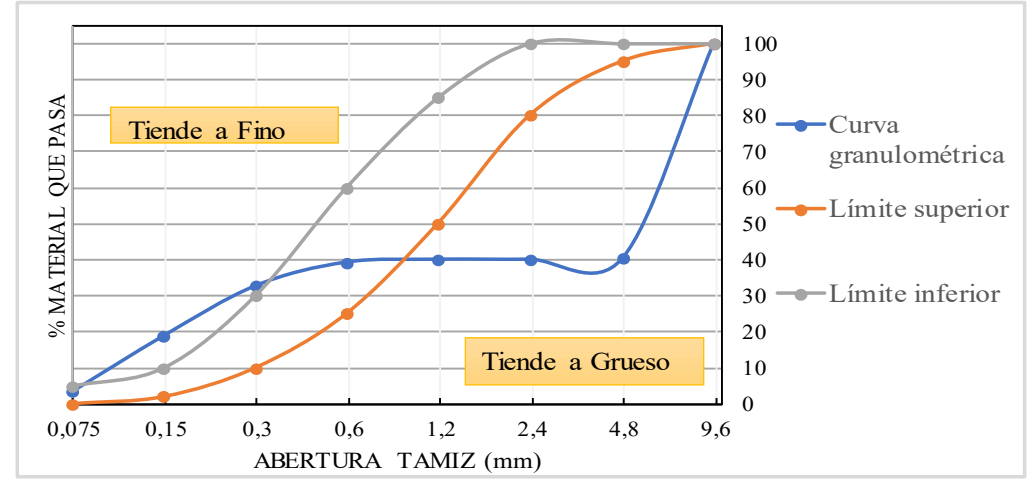
## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MOLIENDA DE LA ZA

**Tabla 24:** Molienda 1



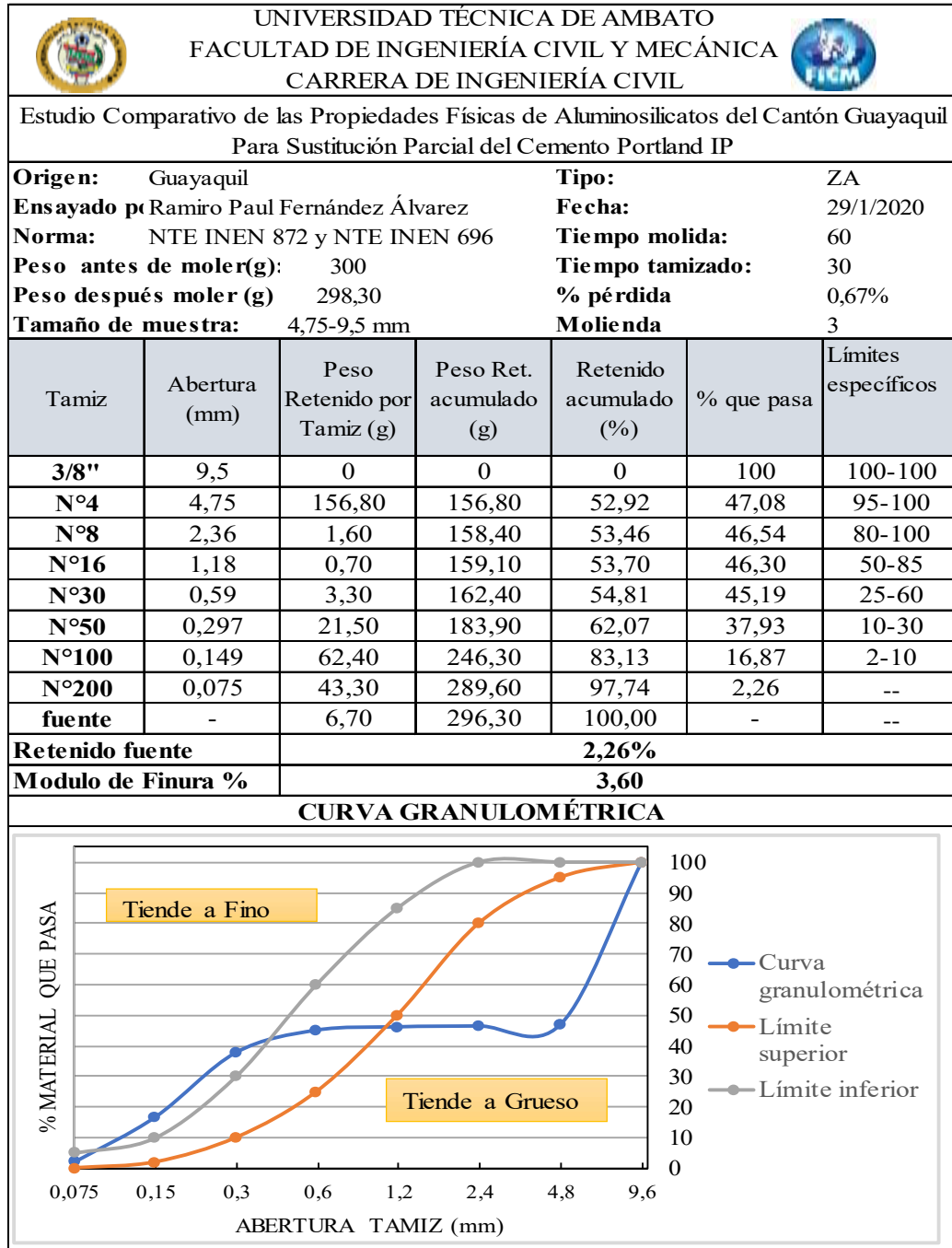
De acuerdo a la gráfica granulométrica se interpreta que la mayor proporción de la molienda 1 tiende a ser fracción gruesa.

Tabla 25: Molienda 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Estudio Comparativo de las Propiedades Físicas de Aluminosilicatos del Cantón Guayaquil Para Sustitución Parcial del Cemento Portland IP						
<b>Origen:</b>	Guayaquil	<b>Tipo:</b>	ZA			
<b>Ensayado por:</b>	Ramiro Paul Fernández Álvarez	<b>Fecha:</b>	29/1/2020			
<b>Norma:</b>	NTE INEN 872 y NTE INEN 696	<b>Tiempo molienda:</b>	40 +20(min)			
<b>Peso antes de moler(g):</b>	300,00	<b>Tiempo tamizado:</b>	30			
<b>Peso después moler (g)</b>	297,00	<b>% pérdida</b>	0,03%			
<b>Tamaño de muestra:</b>	4,75-9,5 mm	<b>Molienda</b>	2			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido por Tamiz (g)	Peso Ret. acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	% que pasa	Límites específicos
3/8"	9,5	0	0	0	100	100-100
Nº4	4,75	177,40	177,40	59,75	40,25	95-100
Nº8	2,36	0,70	178,10	59,99	40,01	80-100
Nº16	1,18	0,00	178,10	59,99	40,01	50-85
Nº30	0,59	2,30	180,40	60,76	39,24	25-60
Nº50	0,297	19,40	199,80	67,30	32,70	10-30
Nº100	0,149	41,00	240,80	81,10	18,90	2-10
Nº200	0,075	45,50	286,30	96,43	3,57	--
<b>fuelle</b>	-	10,60	296,90	100,00	-	--
<b>Retenido fuente</b>				<b>3,57%</b>		
<b>Modulo de Finura %</b>				<b>3,89</b>		
CURVA GRANULOMÉTRICA						
 <p>El gráfico muestra la curva granulométrica de la molienda 2. El eje horizontal representa la abertura del tamiz en milímetros (mm) con valores de 0,075, 0,15, 0,3, 0,6, 1,2, 2,4, 4,8 y 9,6. El eje vertical representa el porcentaje de material que pasa, con valores de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100. La curva granulométrica (línea azul) muestra un comportamiento que tiende a ser más grueso, ya que el porcentaje de material que pasa no alcanza el 40% hasta una abertura de 4,8 mm. El límite superior (línea naranja) y el límite inferior (línea gris) definen el rango de variación aceptable.</p>						

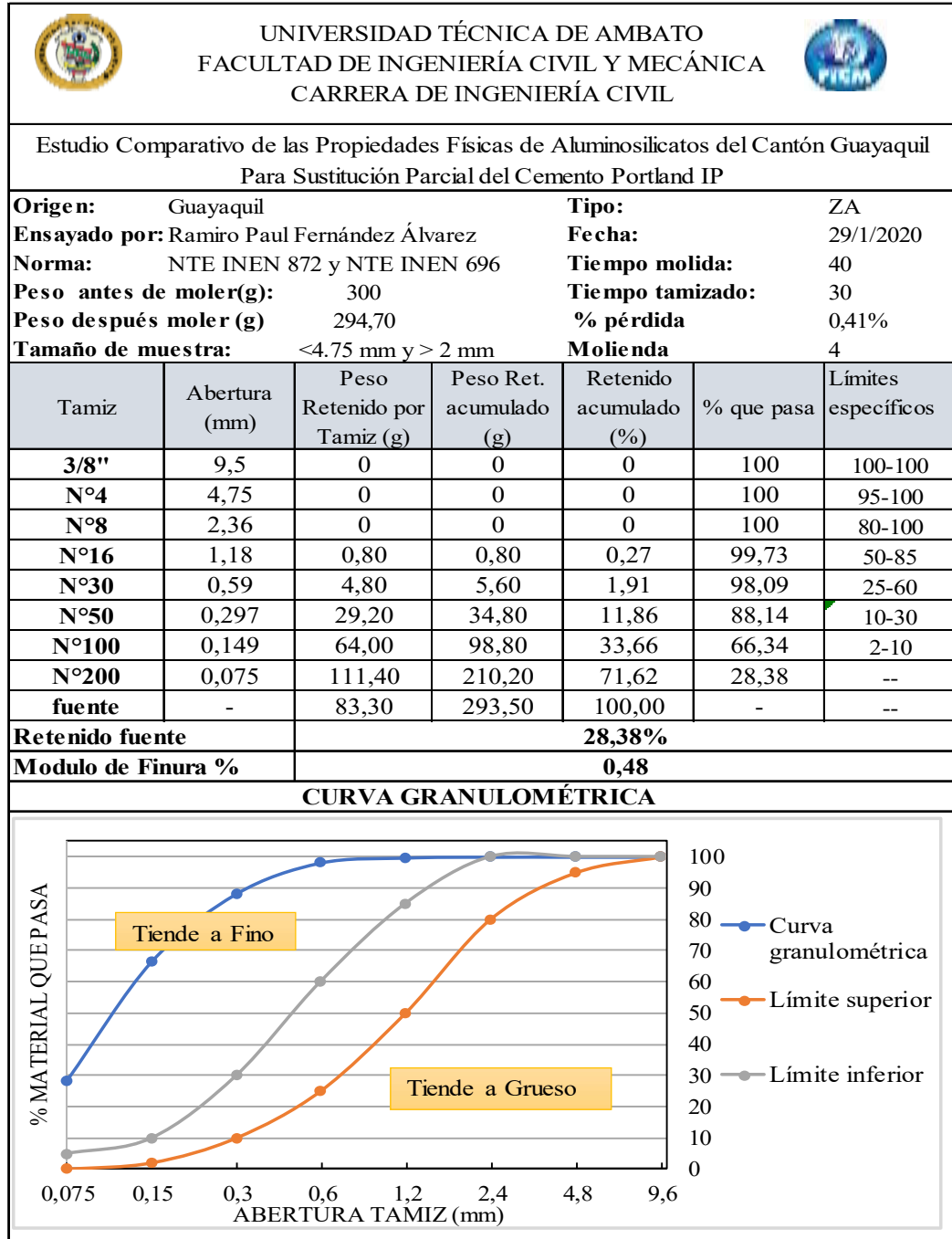
De acuerdo a la gráfica granulométrica de la molienda 2 se interpreta que menos del 40% tiende a ser fracción fina.

Tabla 26: Molienda 3



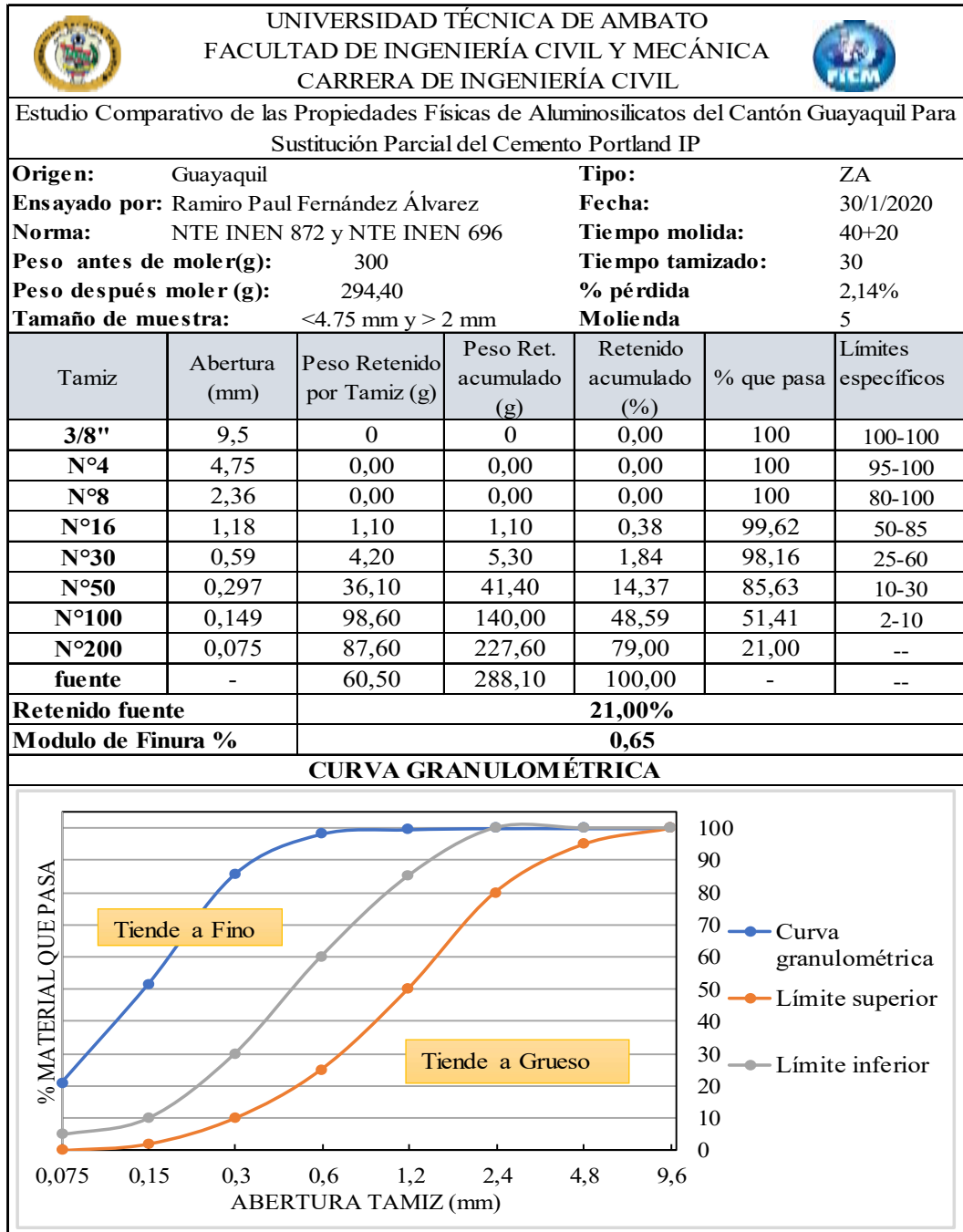
En la gráfica granulométrica de la molienda 3 se interpreta que menos del 45% tiende a ser fracción fina pero la proporción inferior a 75  $\mu\text{m}$  es menor a la de la molienda 1 y 2.

Tabla 27: Molienda 4



En base a la gráfica granulométrica de la molienda 4 se dice que el 100% de la muestra tiende a ser fracción fina y la proporción inferior a 75  $\mu\text{m}$  es mayor a las moliendas 1, 2 y 3.

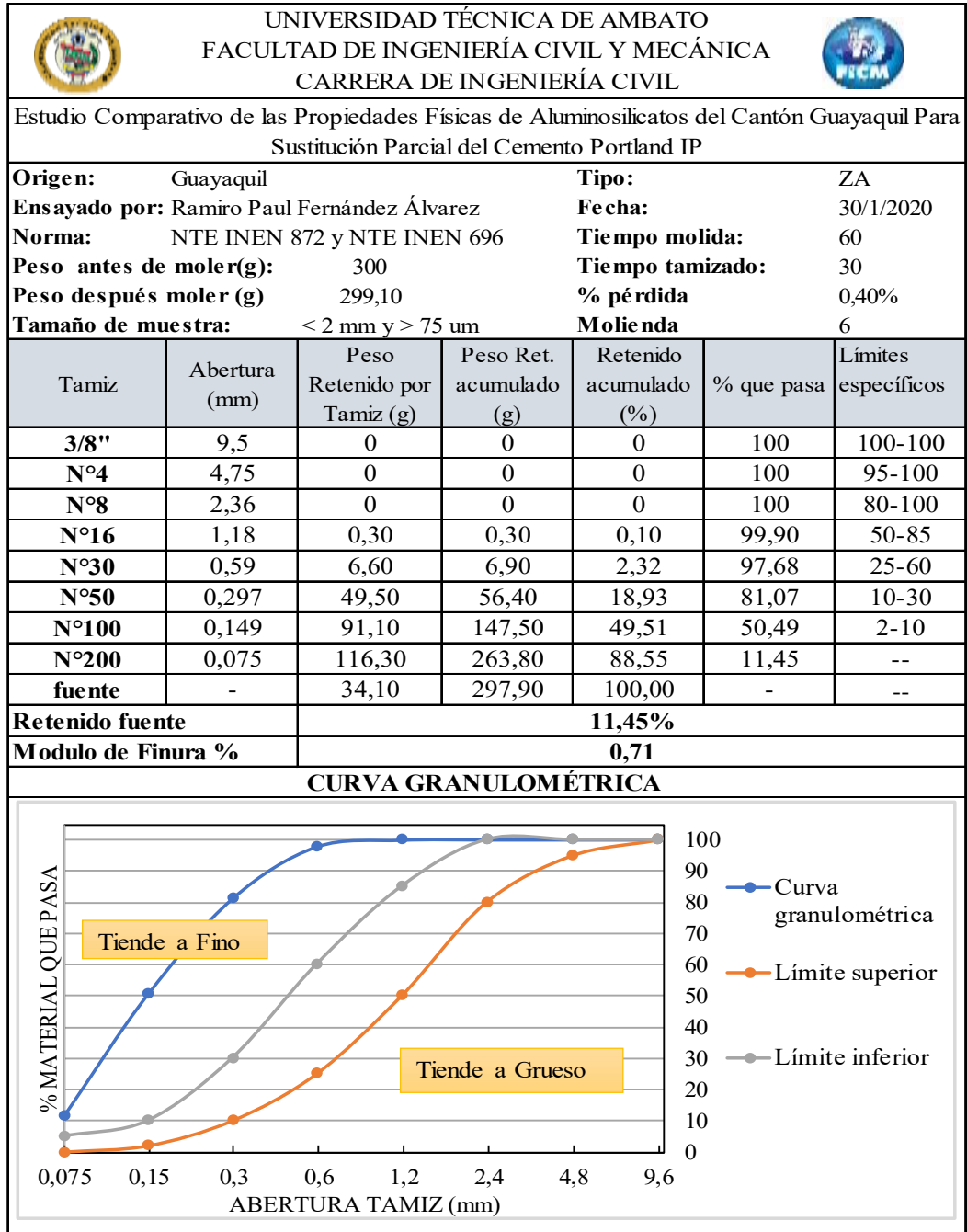
**Tabla 28:** Molienda 5



De acuerdo a la gráfica granulométrica de la molienda 5 se interpreta que el 100% de la muestra tiende a ser fracción fina, pero la proporción inferior a 75  $\mu\text{m}$  es menor a la molienda 4.

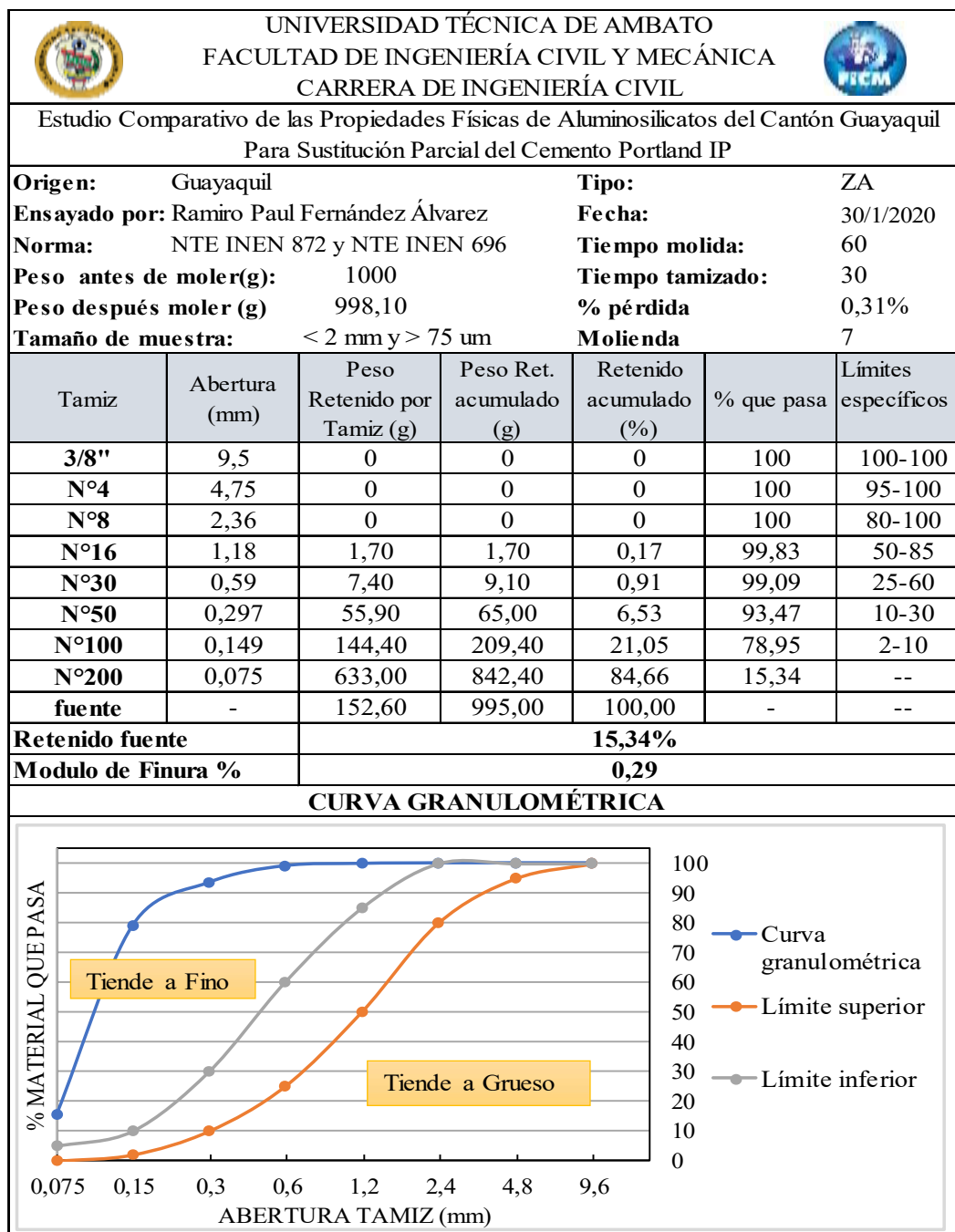


Tabla 29: Molienda 6





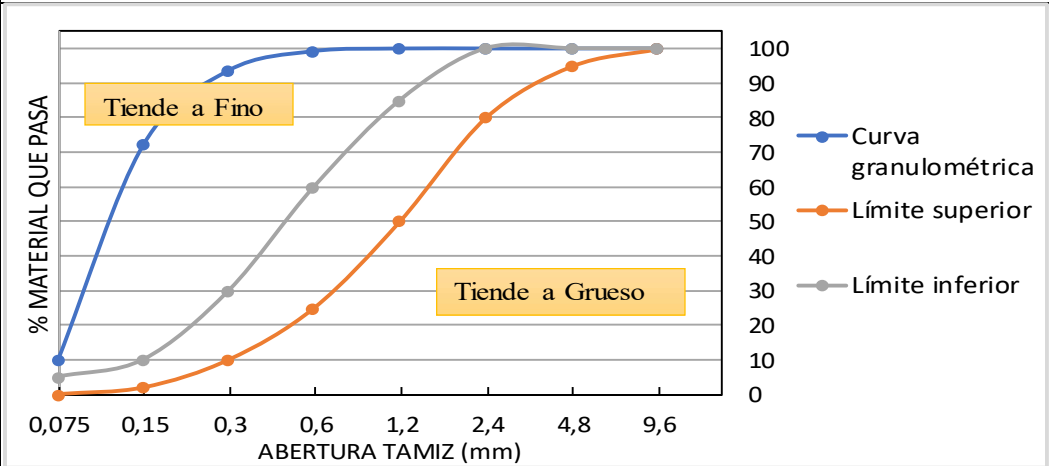
En base a la gráfica granulométrica obtenida en la molienda 6 se establece que el 100% de la muestra tiende a ser fracción fina, pero la proporción inferior a 75 µm, es menor a las moliendas 3,4 y 5 pero es superior a las moliendas 1 y 2.

Tabla 30: Molienda 7



De acuerdo a la gráfica granulométrica obtenida en la molienda 7 se interpreta que el 100% de la muestra tiende a ser fracción fina, pero la proporción inferior a 75  $\mu\text{m}$ , es menor a las moliendas 3,4 y 5 pero es superior a las moliendas 1, 2, 3 y 6.

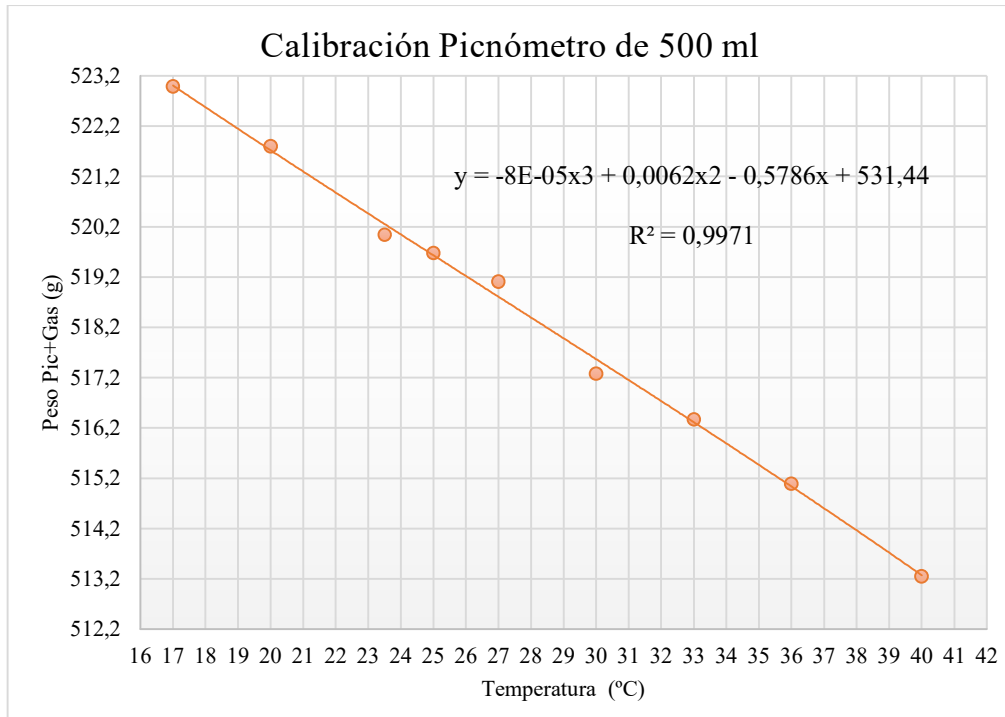
Tabla 31: Molienda 8

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Estudio Comparativo de las Propiedades Físicas de Aluminosilicatos del Cantón Guayaquil Para Sustitución Parcial del Cemento Portland IP						
<b>Origen:</b>	Guayaquil	<b>Tipo:</b>	ZA			
<b>Ensayado por:</b>	Ramiro Paul Fernández Álvarez	<b>Fecha:</b>	30/1/2020			
<b>Norma:</b>	NTE INEN 872 y NTE INEN 696	<b>Tiempo molida:</b>	120			
<b>Peso antes de moler(g):</b>	1000	<b>Tiempo tamizado:</b>	30			
<b>Peso después moler (g)</b>	995,60	<b>% pérdida</b>	0,23%			
<b>Tamaño de muestra:</b>	< 2 mm y > 75 um	<b>Molienda</b>	8			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido por Tamiz (g)	Peso Ret. acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	% que pasa	Límites específicos
3/8"	9,5	0	0	0	100	100-100
N°4	4,75	0	0	0	100	95-100
N°8	2,36	0	0	0	100	80-100
N°16	1,18	0,10	0,10	0,01	99,99	50-85
N°30	0,59	7,60	7,70	0,78	99,22	25-60
N°50	0,297	55,20	62,90	6,33	93,67	10-30
N°100	0,149	212,90	275,80	27,77	72,23	2-10
N°200	0,075	616,80	892,60	89,86	10,14	--
<b>fuelle</b>	-	100,70	993,30	100,00	-	--
<b>Retenido fuente</b>		<b>10,14%</b>				
<b>Modulo de Finura %</b>		<b>0,35</b>				
CURVA GRANULOMÉTRICA						
 <p>El gráfico muestra la curva granulométrica de la muestra, comparada con los límites superior e inferior. El eje vertical representa el porcentaje de material que pasa, y el eje horizontal representa la abertura del tamiz en milímetros. La curva granulométrica (línea azul) muestra un comportamiento que tiende a ser más fino que el límite superior (línea naranja) y más grueso que el límite inferior (línea gris).</p>						

De acuerdo a la gráfica granulométrica obtenida en la molienda 8 se establece que el 100% de la muestra tiende a ser fracción fina, pero la proporción inferior a 75 µm, es menor a las moliendas 4, 5, 6 y 7 pero es superior a las moliendas 1, 2, 3.

## Ensayo Densidad. - Método del Picnómetro

### Calibración del picnómetro



**Fig. 30:** Curva de calibración del volumen del picnómetro con la ecuación lineal de la recta y el coeficiente de correlación.

En la **Fig.30** se observa la ecuación de la curva generada mediante la calibración de un picnómetro vacío de peso=151.8 g. Por consiguiente, se mira en la curva que el peso del picnómetro + gasolina es una variable dependiente de la temperatura, es decir la temperatura si influye en el peso del picnómetro con gasolina.

Con un coeficiente de correlación de  $R=99.71\%$  se puede decir que la temperatura es explicativa de la densidad, es decir, a mayor temperatura disminuye el valor de la densidad y a menor temperatura aumenta.

## DENSIDAD REAL DEL CEMENTO (SELVALEGRE PLUS IP)



**Tabla 32:** Densidad Real del cemento “SELVALEGRE IP”

DATOS		DESIGNACIÓN		Fecha	17/12/2019	17/12/2019
				Hora	16:00	17:30
				E1	E2	E2
M1	Masa del picnómetro	g	151,81	151,81		
M2	Masa del picnómetro + cemento	g	215,81	215,81		
M3	Masa del picnómetro + cemento + Gasolina	g	567,18	567,38		
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	g	351,37	351,57		
M5	Masa del picnómetro + 500cc Gasolina	g	519,63	519,93		
M6=M5-M1	Masa 500cm <sup>3</sup> Gasolina	g	367,82	368,12		
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la Gasolina	g/cm <sup>3</sup>	0,736	0,736		
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por el cemento	g	16,45	16,55		
MC=M2-M1	Masa del cemento	g	64,00	64,00		
T	Temperatura	°C	23	23		
VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm <sup>3</sup>	22,36	22,48		
DRC=MC/VG	Densidad Real del cemento	g/cm <sup>3</sup>	2,862	2,847		
DRP	Densidad Real Promedio	g/cm <sup>3</sup>	2,855			

La densidad promedio del cemento portland Selva Alegre tipo 1P = 2,855 g/cm<sup>3</sup>, se encuentra aproximado al rango establecido para cementos con adiciones distintas al yeso, este rango va de 2.9 g/cm<sup>3</sup> a 3.15 g/cm<sup>3</sup>, determinando así su aptitud para los ensayos, cumple con los valores máximos establecidos en la norma NTE INEN 156.

## DENSIDAD REAL ALUMINOSILICATO ZZ

**Tabla 33:** Densidad de la ZZ por calibración del picnómetro

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
“Estudio comparativo de las propiedades físicas de aluminosilicatos del cantón Guayaquil para sustitución parcial del cemento portland IP”						
<b>Origen:</b> GUAYAQUIL		<b>Tipo:</b> ZZ			<b>Método :</b> Picnómetro	
<b>Ensayado por:</b> Ramiro Paul Fernández Álvarez		<b>Gasolina :</b> Extra			<b>Norma:</b> NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	
Temperatura	Numero de datos	Densidad	Desviacion Estandar			Rango de dispersion frente a la media
T °C	n	xi	xi- $\bar{x}$	(xi- $\bar{x}$ ) <sup>2</sup>	SD= $\Sigma\sqrt{(xi-\bar{x})^2/n-1}$	$\bar{x}\pm SD$
24	1	2,511	0,003	0,000	0,011	2,503
23	2	2,509	0,005	0,000		
22	3	2,507	0,007	0,000		
21	4	2,531	-0,017	0,000		
<b>Media (<math>\bar{x}</math>)=</b>		2,514	$\Sigma$	0,000		

Para el rango  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  indicado en la norma NTE INEN 156, la desviación estándar (SD) muestra que existen datos dispersos con respecto a la media indicando un intervalo de valores en los cuales se encuentra la densidad de la ZZ.

En promedio la densidad de la zeolita ZZ es =  $2,514 \text{ g/cm}^3$  con un grado de dispersión frente a la media de =0,011 con densidades que no difieren en más de 0,03. Lo cual cumple con los valores máximos establecidos en la norma NTE INEN 156. Revise Anexo 3 Tabla: 2

**Densidad de la ZZ método del picnómetro a temperatura ambiente de 23°C**



**Tabla 34.- Densidad Real del Aluminosilicato ZZ**

DATOS		DESIGNACIÓN		Fecha	9/1/2020	9/1/2020	13/1/2020
				Hora	15:30	16:19	15:00
				E1	E2	E3	
M1	Masa del picnómetro	g		169,61	169,61	162,91	
M2	Masa del picnómetro + zeolita	g		233,61	233,61	226,91	
M3	Masa del picnómetro + zeolita + Gasolina	g		581,57	583,32	575,86	
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	g		347,96	349,71	348,95	
M5	Masa del picnómetro + 500cm <sup>3</sup> Gasolina	g		537,55	539,42	531,98	
M6=M5-M1	Masa 500cm <sup>3</sup> Gasolina	g		367,94	369,81	369,07	
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la Gasolina	g/cm <sup>3</sup>		0,736	0,740	0,738	
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	g		19,98	20,10	20,12	
MC=M2-M1	Masa de la zeolita	g		64,00	64,00	64,00	
T	Temperatura	°C		23	23	23	
VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm <sup>3</sup>		27,15	27,18	27,26	
DRC=MC/VG	Densidad Real de la zeolita	g/cm <sup>3</sup>		2,357	2,355	2,348	
DRP	Densidad Real Promedio	g/cm <sup>3</sup>		2,353			

La densidad promedio de la ZZ=2,353 g/cm<sup>3</sup> se encuentra aproximado al rango para las zeolitas que va de 2.0g/cm<sup>3</sup> a 2.3g/cm<sup>3</sup>, los datos no difieren en más de 0.03, cumple con los valores máximos establecidos en la norma NTE INEN 156.

## DENSIDAD REAL ALUMINOSILICATO ZI

**Tabla 35:** Densidad de la ZI por calibración del picnómetro

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
“Estudio comparativo de las propiedades físicas de aluminosilicatos del cantón Guayaquil para sustitución parcial del cemento portland IP”							
<b>Origen:</b>		GUAYAQUIL			<b>Tipo:</b>		ZI
<b>Ensayado por:</b>		Ramiro Paul Fernández Álvarez			<b>Método :</b>		Picnómetro
<b>Norma:</b>		NTE INEN 156 / ASTM C 188-03			<b>Gasolina :</b>		Extra
Temperatura	Numero de datos	Densidad	Desviacion Estandar			Rango de dispersion frente a la media	
T °C	n	xi	xi- $\bar{x}$	(xi- $\bar{x}$ ) <sup>2</sup>	SD= $\Sigma\sqrt{(xi-\bar{x})^2/n-1}$	$\bar{x}\pm SD$	
23	1	2,513	0,028	0,001	0,018	2,463	
24	2	2,482	-0,003	0,000			
23	3	2,485	0,000	0,000			
23	4	2,463	-0,022	0,000			
22	5	2,481	-0,004	0,000		2,499	
<b>Media (<math>\bar{x}</math>)=</b>		2,485	$\Sigma$	0,001			

Para el rango  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  indicado en la norma NTE INEN 156, la desviación estándar (SD) muestra que existen datos dispersos con respecto a la media indicando un intervalo de valores en los cuales se encuentra la densidad

En promedio la densidad de la ZI es  $= 2.485 \text{ g/cm}^3$ , con un grado de dispersión frente a la media de  $=0,018$  con densidades que no difieren en más de 0,03. Lo cual cumple con los valores máximos establecidos en la norma NTE INEN 156. Revise Anexo 4

Tabla: 3



**Densidad de la ZI método del picnómetro a temperatura ambiente de 23°C**



**Tabla 36.- Densidad Real del Aluminosilicato ZI**

DATOS		DESIGNACIÓN		Fecha	6/1/2020	6/1/2020	6/1/2020
				Hora	11:00	17:00	17:30
					E1	E2	E3
M1	Masa del picnómetro	g			169,62	169,62	169,62
M2	Masa del picnómetro + zeolita	g			233,62	233,62	233,62
M3	Masa del picnómetro + zeolita + Gasolina	g			584,29	586,18	586,71
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	g			350,67	352,56	353,09
M5	Masa del picnómetro + 500cm3 Gasolina	g			541,65	543,59	544,17
M6=M5-M1	Masa 500cm3 Gasolina	g			372,03	373,97	374,55
DG=M6/500cm3	Densidad de la Gasolina	g/cm3			0,744	0,748	0,749
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	g			21,36	21,41	21,46
MC=M2-M1	Masa de la zeolita	g			64,00	64,00	64,00
T	Temperatura	°C			24	23	23
VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm3			28,71	28,63	28,65
DRC=MC/VG	Densidad Real de la zeolita	g/cm3			2,229	2,236	2,234
DRP	Densidad Real Promedio	g/cm3			2,233		

La densidad promedio de la ZI= 2,233 g/cm<sup>3</sup> se encuentra en el rango establecido para las zeolitas este rango va de 2.0g/cm<sup>3</sup> a 2.3g/cm<sup>3</sup>, los datos no difieren en más de 0.03, cumple con los valores máximos establecidos en la norma NTE INEN 156.

## DENSIDAD REAL ALUMINOSILICATO ZA

**Tabla 37:** Densidad de la ZA por calibración del picnómetro

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
“Estudio comparativo de las propiedades físicas de aluminosilicatos del cantón Guayaquil para sustitución parcial del cemento portland IP”						
<b>Origen:</b>	GUAYAQUIL	<b>Tipo:</b>	ZA			
<b>Ensayado por:</b>	Ramiro Paul Fernández Álvarez	<b>Método :</b>	Picnómetro			
<b>Norma:</b>	NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	<b>Gasolina :</b>	Extra			
Temperatura	Numero de datos	Densidad	Desviacion Estandar	Rango de dispersion frente a la media		
		<b>xi</b>	<b>xi-<math>\bar{x}</math></b>	<b>(xi-<math>\bar{x}</math>)<sup>2</sup></b>	<b>SD=</b> <b><math>\Sigma\sqrt{(xi-\bar{x})^2/n-1}</math></b>	<b><math>\bar{x}\pm S</math></b>
25	1	2,446	0,001	0,000	0,002	2,443
24	2	2,443	-0,002	0,000		
23	3	2,448	0,003	0,000		
23,5	4	2,445	0,000	0,000		2,445
22	5	2,443	-0,002	0,000		
21	6	2,443	-0,002	0,000		
	<b>Media(<math>\bar{x}</math>)=</b>	2,445	<b><math>\Sigma</math></b>	0,000		

Para el rango  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  indicado en la norma NTE INEN 156, la desviación estándar (SD) muestra que existen datos dispersos con respecto a la media indicando un intervalo de valores en los cuales se encuentra la densidad.

En promedio la densidad de la zeolita ZA es =  $2.445 \text{ g/cm}^3$ , con un grado de dispersión frente a la media de =0,002 con densidades que no difieren en más de 0,03. Lo cual cumple con los valores máximos establecidos en la norma NTE INEN 156. Revise Anexo 2 Tabla: 1

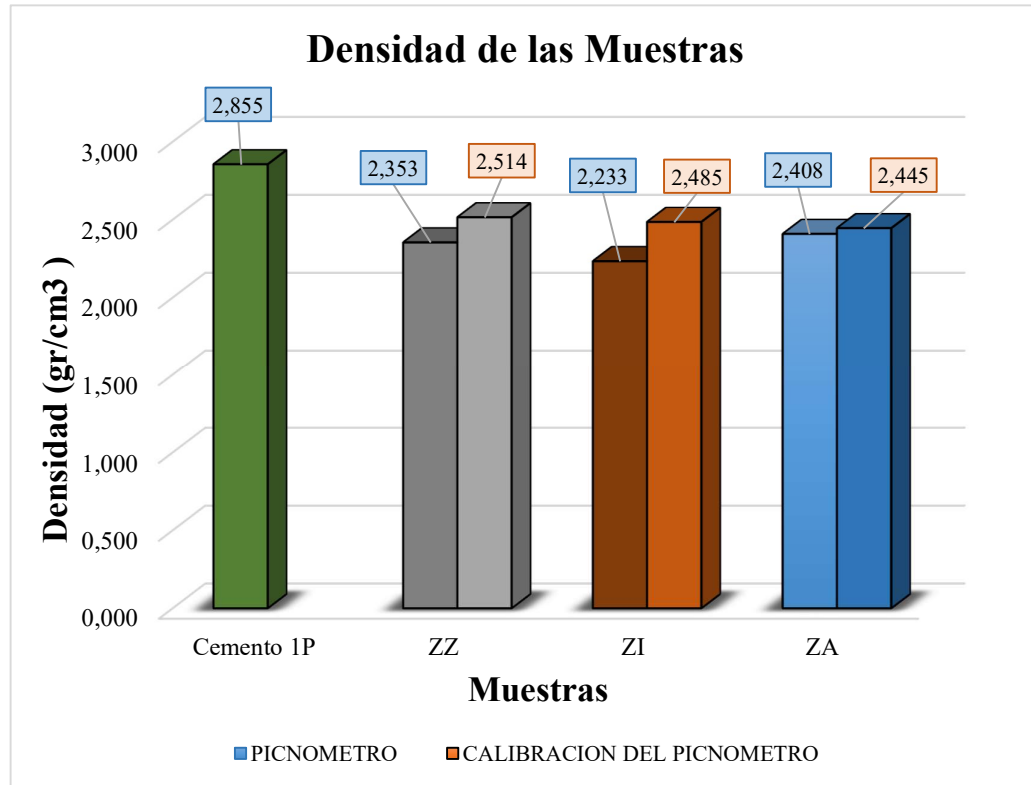
Densidad de la ZA método del picnómetro a temperatura ambiente de 23°C

Tabla 38.- Densidad Real del Aluminosilicato ZA

DATOS		DESIGNACIÓN	Fecha	20/12/2019	20/12/2019	13/1/2020
			Hora	12:50	15:05	12:45
			E1	E2	E4	
M1	Masa del picnómetro	g	169,63	169,63	161,98	
M2	Masa del picnómetro + zeolita	g	233,63	233,63	225,98	
M3	Masa del picnómetro + zeolita + Gasolina	g	584,86	584,98	576,57	
M4=M3-M2	Masa Gasolina Añadida	g	351,23	351,35	350,59	
M5	Masa del picnómetro + 500cm <sup>3</sup> Gasolina	g	540,4	540,76	532,38	
M6=M5-M1	Masa 500cm <sup>3</sup> Gasolina	g	370,77	371,13	370,40	
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la Gasolina	g/cm <sup>3</sup>	0,742	0,742	0,741	
M7=M6-M4	Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	g	19,54	19,78	19,81	
MC=M2-M1	Masa de la zeolita	g	64,00	64,00	64,00	
T	Temperatura	°C	23	23	23	
VG=M7/DG	Volumen de Gasolina Desalojada	cm <sup>3</sup>	26,35	26,65	26,74	
DRC=MC/VG	Densidad Real de la zeolita	g/cm <sup>3</sup>	2,429	2,402	2,393	
DRP	Densidad Real Promedio	g/cm <sup>3</sup>	2,408			

La densidad promedio de la ZA= 2, 408 g/cm<sup>3</sup> se encuentra fuera del rango para las zeolitas de 2.0 g/cm<sup>3</sup> a 2.3 g/cm<sup>3</sup>, los datos no difieren en más de 0,03, cumple con los valores máximos establecidos en la norma NTE INEN 156.

## RESUMEN DE LA DENSIDAD DE CEMENTO Y ZEOLITAS



**Fig. 31:** Resumen de resultados de densidad de IP, ZZ, ZI, ZA.



De acuerdo al anexo 5 y anexo 6 obtenemos la **Fig. 31**, este grafico de barras comparativo muestra los resultados promedio de las densidades por el método del picnómetro de IP= 2.855 g/cm<sup>3</sup>, ZZ=2.353 g/cm<sup>3</sup>, ZI=2.233 g/cm<sup>3</sup>, ZA=2.408 g/cm<sup>3</sup> y con la calibración del picnómetro ZZ=2.514 g/cm<sup>3</sup>, ZI=2.485 g/cm<sup>3</sup>, ZA=2.445 g/cm<sup>3</sup>, a pesar de que las zeolitas presentan una densidad menor al cemento IP se encuentran en un rango aceptable para ser reemplazado por el mismo.

Hay que tener en cuenta que la pureza, condición, tamaño de las partículas, y temperatura, juega un papel muy importante dentro de los resultados obtenidos.

## ENSAYO FINURA MÉTODO DEL TAMIZADO SECO

### Finura por Tamizado Seco del cemento portland SELVA ALEGRE IP



**Tabla 39.-** Finura del cemento por el método de Tamizado Seco del cemento SELVALEGRE IP

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
“Estudio comparativo de las propiedades físicas de aluminosilicatos del cantón Guayaquil para sustitución parcial del cemento portland IP”			
<b>Origen:</b>	CEMENTOS SELVA ALEGRE S.A.	<b>Tipo:</b>	Selvalegre IP
<b>Ensayado por:</b>	Ramiro Paul Fernández Álvarez	<b>Método:</b>	Tamizado seco
<b>Norma:</b>	NTE INEN 489 / ASTM C 184 - 82		
DATOS	DESIGNACIÓN	FECHA	14/1/2020
		HORA	15:00
			<b>E1</b>
m	Masa de la muestra	G	50
Numero #	Repeticiones de 1 min	NA	4
< 0,05	Peso en fuente por norma	G	0,003
Rs	Residuo de la muestra ensayada	G	0,14
$F=100-(R_s*100/m)$	Finura en Porcentaje	%	<b>99,72</b>

Se determina que el porcentaje que pasa por el tamiz #100 (corresponde a 150 µm) del cemento selva alegre portland IP es de 99,72%, por lo cual se puede decir que no se detectó la presencia anormal de granos gruesos, tampoco de principios de hidratación del cemento debido a un largo almacenamiento.

## Finura por Tamizado Seco de ZZ


**Tabla 40.-**Finura del aluminosilicato ZZ por el método de Tamizado Seco

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
“Estudio comparativo de las propiedades físicas de aluminosilicatos del cantón Guayaquil para sustitución parcial del cemento portland IP”						
<b>Origen:</b>	Guayaquil	<b>Tipo:</b>	ZZ			
<b>Ensayado por:</b>	Ramiro Paul Fernández Álvarez	<b>Método:</b>	Tamizado Seco			
<b>Norma:</b>	NTE INEN 489 / ASTM C 184 - 82					
DATOS	DESIGNACIÓN	FECHA	14/1/2020	14/1/2020	14/1/2020	17/1/2020
		HORA	10:40	13:00	14:10	9:47
			E1	E2	E3	E4
m	Masa de la muestra	g	50	50	50	50
#	Repeticiones de 1 min	NA	11	11	15	17
< 0,05mm	Peso en fuente por norma	g	0,03	0,01	0,02	0,01
Rs	Residuo de la muestra ensayada	g	0,24	0,11	0,16	0,48
F= 100- (Rs*100/m)	Finura en Porcentaje	%	<b>99,52</b>	<b>99,78</b>	<b>99,68</b>	<b>99,04</b>
Pr	Promedio	%	<b>99,51</b>			

Se determina que el porcentaje final que pasa por el tamiz #100 (corresponde a 150  $\mu\text{m}$ ) de la ZZ es de 99,51%, no se detectó la presencia anormal de granos muy gruesos, ni se detectó principios de hidratación de la zeolita, sin embargo, la Zeolita tiene un comportamiento, los resultados de la determinación efectuada por duplicado no excedió del 2% cumple con la NTE INEN 489.

## Finura por Tamizado Seco de ZI



**Tabla 41.**-Finura del aluminosilicato ZI por el método de Tamizado Seco

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
“Estudio comparativo de las propiedades físicas de aluminosilicatos del cantón Guayaquil para sustitución parcial del cemento portland IP”							
<b>Origen:</b>	Guayaquil	<b>Tipo:</b>	ZI				
<b>Ensayado por:</b>	Ramiro Paul Fernández Álvarez	<b>Método:</b>	Tamizado seco				
<b>Norma:</b>	NTE INEN 489 / ASTM C 184 - 82						
DATOS	DESIGNACIÓN	FECHA	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020	
		HORA	8:30	10:35	12:25	12:20	
			E1	E2	E3	E4	
m	Masa de la muestra	g	50	50	50	50	
#	Repeticiones de 1 min	NA	6	8	6	5	
< 0,05	Peso en fuente por norma	g	0,03	0,02	0,04	0,03	
Rs	Residuo de la muestra ensayada	g	0,83	0,20	0,17	0,10	
F=100-(Rs*100/m)	Finura en Porcentaje	%	<b>98,34</b>	<b>99,60</b>	<b>99,66</b>	<b>99,80</b>	
Pr	Promedio	%	<b>99,35</b>				

Al inicio visualmente se detectó la presencia inusual de granos gruesos que pueden ser debido a deficiencias en la molienda, se tamizó toda la muestra intentando llegar a la finura del cemento, una vez hecho esto se determinó que el porcentaje que pasa por el tamiz #100 (corresponde a 150  $\mu\text{m}$ ) de la ZI es de 99.35%, no se detectó principios de hidratación en la ZI, los resultados de la determinación efectuada por duplicado no excedieron del 2% cumple con lo estipulado en la NTE INEN 489.

## Finura por Tamizado Seco de ZA

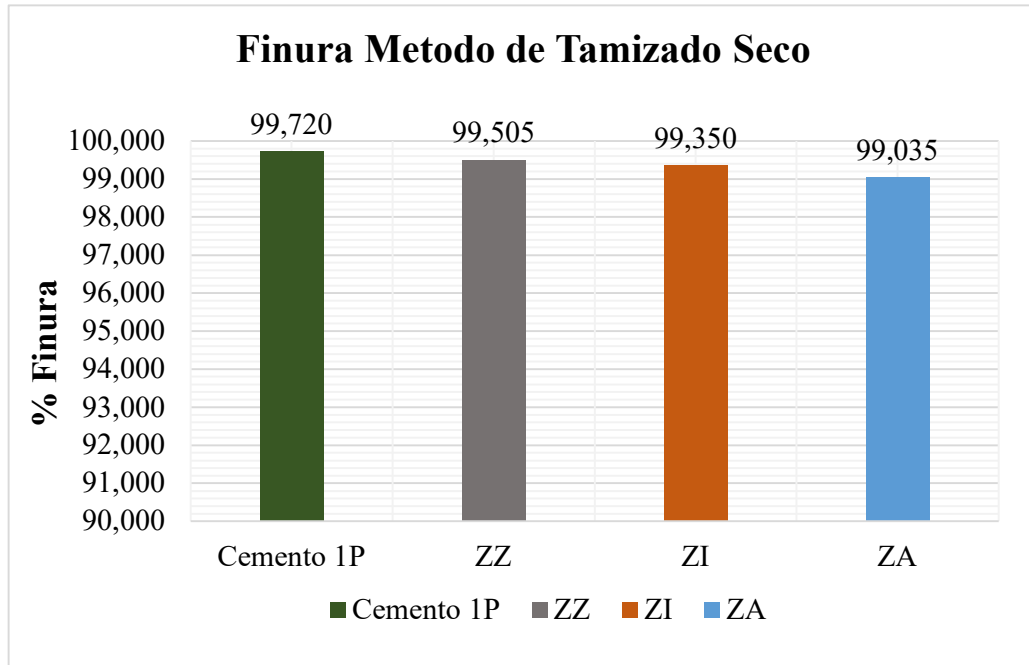
**Tabla 42.-**Finura del aluminosilicato ZA por el método de Tamizado Seco

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
“Estudio comparativo de las propiedades físicas de aluminosilicatos del cantón Guayaquil para sustitución parcial del cemento portland IP”						
<b>Origen:</b>	Guayaquil	<b>Tipo:</b>	ZA			
<b>Ensayado por:</b>	Ramiro Paul Fernández Álvarez	<b>Método:</b>	Tamizado seco			
<b>Norma:</b>	NTE INEN 489 / ASTM C 184 - 82					
DATOS	DESIGNACIÓN	FECHA	14/1/2020	14/1/2020	14/1/2020	15/1/2020
		HORA	9:15	12:35	14:45	8:30
			E1	E2	E3	E4
m	Masa de la muestra	gr	50	50	50	50
Numero #	Repeticiones de 1 min	NA	43	27	19	19
< 0,05	Peso en fuente por norma	gr	0,02	0,03	0,01	0,01
Rs	Residuo de la muestra ensayada	gr	0,21	0,59	0,75	0,38
F= 100- (Rs*100/m)	Finura en Porcentaje	%	<b>99,58</b>	<b>98,82</b>	<b>98,50</b>	<b>99,24</b>
Pr	Promedio	%	<b>99,04</b>			

Después del proceso de molienda de la ZA se determinó que el porcentaje que pasa por el tamiz #100 (corresponde a 150  $\mu\text{m}$ ) de la ZA es de 99.04%, en la parte del ensayo de 250 golpes por minuto se detectó principios de hidratación, esto puede deberse a un almacenado relativamente largo, dicho comportamiento hidrofóbico es similar en el cemento, los resultados de la determinación efectuada por duplicado no excedieron del 2% cumple con lo estipulado en la NTE INEN 489.



## RESUMEN DE LA FINURA DE CEMENTO Y ZEOLITAS



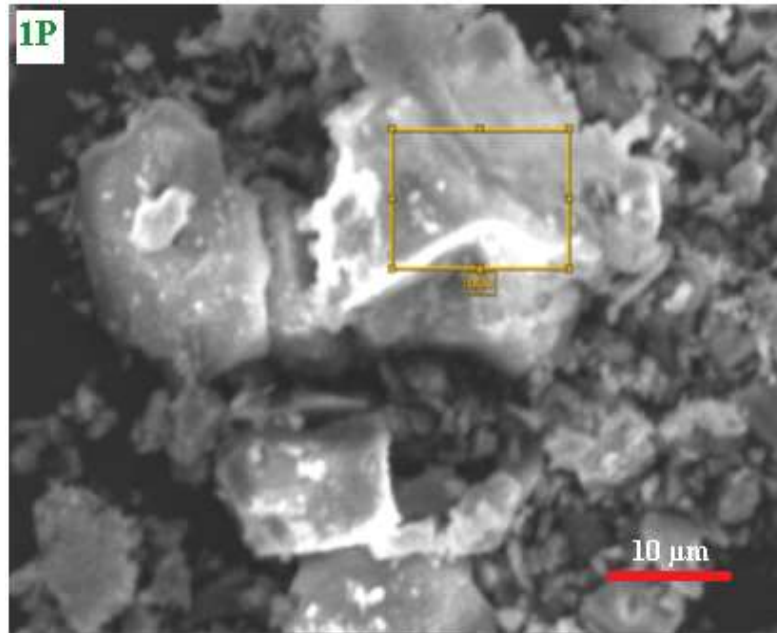
**Fig. 32:** Resumen de Resultados de Finura de IP, ZZ, ZI, ZA por Tamizado Seco.

Mediante la tabla indicada en el Anexo 7 se generó el gráfico de barras mostrado en la **Fig. 32**. Este gráfico muestra los resultados promedio de %Finura de las zeolitas ZZ=99.505%, ZI=99.350%, ZA=99.035 % y del Cemento IP =99,720%. los valores al compararlos entre sí, indican que la finura del cemento es relativamente similar al de las zeolitas.

## RESULTADOS SEM Y EDS

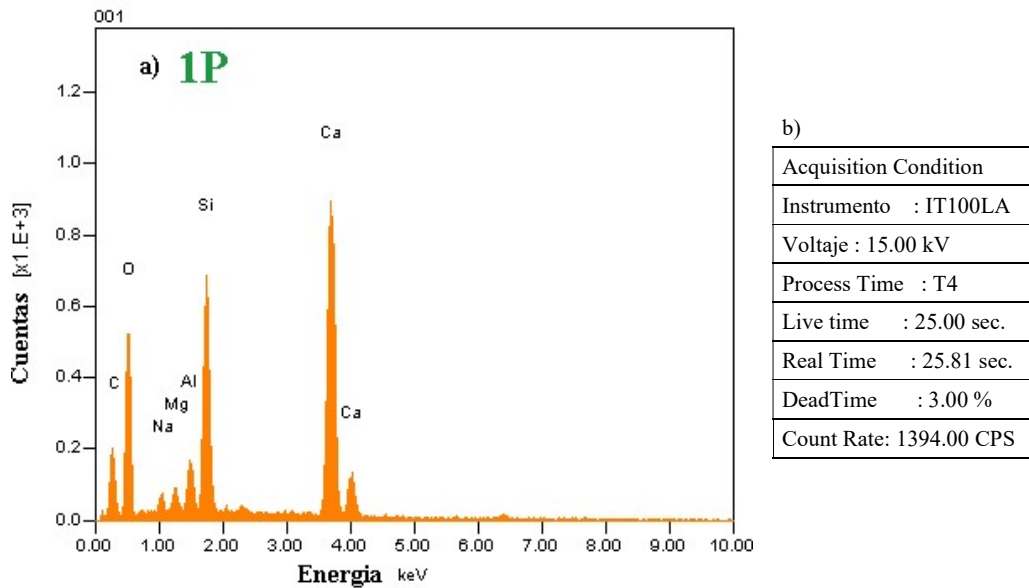
Se muestran las imágenes SEM y los espectros EDS de las muestras analizadas para determinar sus formas y composición.

### Cemento Selva Slegre Tipo IP



**Fig. 33.** Imagen SEM del cemento Selvalegre 1P,

La imagen SEM de la **Fig. 33** es realizada con un haz de electrones de 15 KeV en high vacuum (alto vacío), recolectando las señales en el detector de electrones secundario con un aumento de 2000 X. En la imagen se puede observar estructuras cubicas definidas (cristales) y otras formas amorfas de lo gránulos de cemento con unas dimensiones de decenas de micrómetros (10 y 20  $\mu\text{m}$ ), estas medidas se mantienen dentro dimensiones menores a 45  $\mu\text{m}$  de acuerdo con las especificaciones del cemento 1P y literatura [45].



**Fig. 34:** Espectro EDS realizado en el área marcada en línea continua (color amarillo) de la imagen SEM de la **Fig. 33**. a) espectro del cemento 1P. b) tabla de condiciones de adquisición de la espectro.

Para corroborar la composición química reportada por la empresa comercializadora del cemento, se muestra el espectro cualitativo (**Fig. 34**) y las tablas cuantitativas (**Tabla 43 y 44**) obtenidas mediante el análisis EDS.

Se determina la presencia de Carbono, Oxígeno Sodio Magnesio Aluminio Silicio y Calcio. Excluyendo los elementos O y C, los picos más altos son de Ca, Si y O, elementos indispensables para la formación del cemento, como reporta la literatura.

La **Tabla 43** presenta los porcentajes por elemento presentes en el espectro EDS realizado a la muestra 1P, y la **Tabla 44** presenta los porcentajes por óxido calculados con un factor de conversión para cada elemento, obteniendo óxido de Calcio (CaO), óxido de Silicio (SiO<sub>2</sub>) y óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de magnesio (MgO) y el óxido de sodio (Na<sub>2</sub>O). Donde sobresalen el SiO<sub>2</sub> y el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con un 27 y 5 % respectivamente que sirven de relación Si/Al= 5,04 presente en la muestra en concordancia a [33].

Dicha valor relacion de 5,04 es alto en comparacion con las zeolitas naturales y cae dentro del rango del grupo de las tipo clinoptilolitas [33].

**Tabla 43.** Microanálisis EDS cuantitativo del cemento selva alegre Plus 1P o composición elemental

Nombre	Formula	% Masico	% Atómico	Si/Al
Carbono	C	5.67	20.29	5,04
Oxigeno	O	18.06	48.52	
Sodio	Na	0.53	0.99	
Magnesio	Mg	0.64	1.12	
Aluminio	Al	1.02	1.62	
Silicio	Si	5.14	7.86	
Calcio	Ca	18.27	19.59	
Total		49.32	100.00	

**Tabla:44** Composición Química calculada del Cemento selva alegre portland IP

Elemento	% Másico	Oxido	Factor Ox.	% Másico	% Atómico	Proporciones aprox. para cemento portland
Na	0,53	Na <sub>2</sub> O	1,348	0,71	1,77	0,2 – 1,3%
Mg	0,64	MgO	1,6583	1,06	2,64	0,1 - 4%
Al	1,02	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8895	1,93	4,79	3 - 8%
Si	5,14	SiO <sub>2</sub>	2,1393	11,00	27,31	15 - 25%
Ca	18,27	CaO	1,3992	25,56	63,49	60 - 67%
<b>Total</b>	25,6	-	-	40,26	100,00	

El compuesto álcalis Na<sub>2</sub>O se encuentra dentro del rango aproximado para cemento portland y evita reacciones dañinas del cemento con ciertos áridos en el hormigón.

Se puede observar que el MgO tiene un valor menor al valor máximo del que exige la norma NTE INEN 490 (**Tabla 4**), por lo que no se produce expansión en el cemento después de ser hidratado [22].

Los principales óxidos que se presentan en el cemento son (CaO=63.49), (SiO<sub>2</sub>=27.31) y (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>= 4.79), sus porcentajes atómicos se encuentra dentro de los rangos aproximados para cemento portland, y mediante el uso de las ecuaciones de Bogue se calcula las fases mineralógicas principales del cemento, la Alita, Belita, Celita y Ferrita según la NTE INEN 152 [20].

No se evidenció hierro (Fe) y azufre (S) en las zonas analizadas de las muestras de 1P.

**-Alita (Silicato tricálcico)**

$$C_3S = (4,071 * \%CaO) - (7,600 * \%SiO_2) - (6,718 * \% Al_2 O_3) - (1,430 * \%Fe_2O_3) - (2,852 * \%SO_3)$$

$$C_3S = (4,071 * 63,49) - (7,600 * 27,31) - (6,718 * 4,79) - (1,430 * 0) - (2,852 * 0)$$

$$C_3S = 18,733 \%$$

El valor de **C<sub>3</sub>S** se encuentra dentro de los rangos aproximados de la **Tabla 2**, este compuesto influye en la resistencia inicial, de ella depende las características de la resistencia mecánica del hormigón [18].

**-Belita (Silicato dicálcico)**

$$C_2S = (2,867 * \%SiO_2) - (0,7544 * C_3S)$$

$$C_2S = (2,867 * 27,31) - (0,7544 * 18,733)$$

$$C_2S = 64,17 \%$$

El valor de **C<sub>2</sub>S** se encuentra dentro de los rangos aproximados de la **Tabla 2**, su contribución en la resistencia empieza a sentirse después de una semana (Valor de resistencia a largo plazo) [18].

**-Celita (Aluminato tricálcico)**

$$C_3A = (2,650 * \%Al_2O_3) - (1,692 * \%Fe_2O_3)$$

$$C_3A = (2,650 * 4,79) - (1,692 * 0)$$

$$C_3A = 12,70\%$$

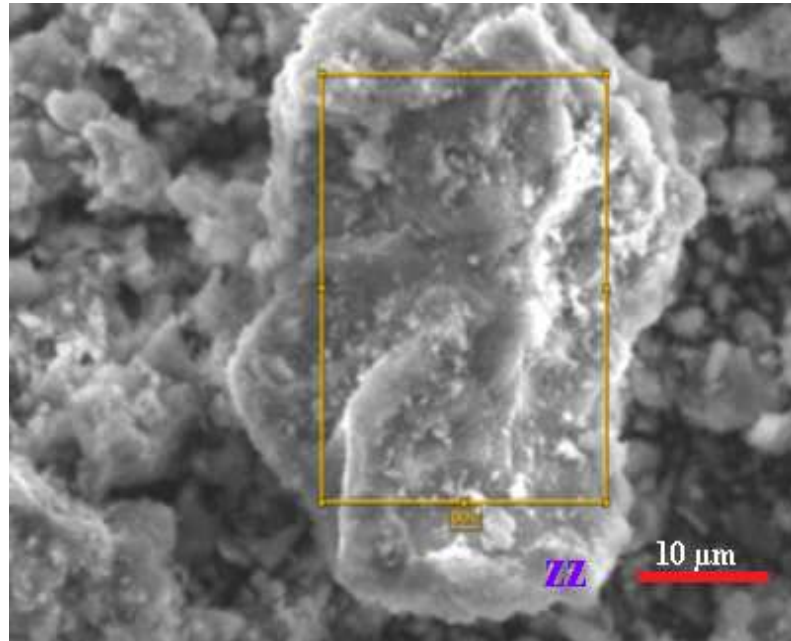
El valor de **C<sub>3</sub>A** se encuentra dentro de los rangos aproximados de la **Tabla 2**, este compuesto confiere al concreto propiedades indeseables (resistencia pobre a los sulfatos)

**-Ferrita (tetracálcico aluminoferrita)**

$$C_4AF = 3,043 * \%Fe_2O_3$$

No aporta en la resistencia del hormigón, es más bien un porcentaje de relleno y debe presentarse en proporciones muy bajas por tal motivo no se evidencio en el EDS [18].

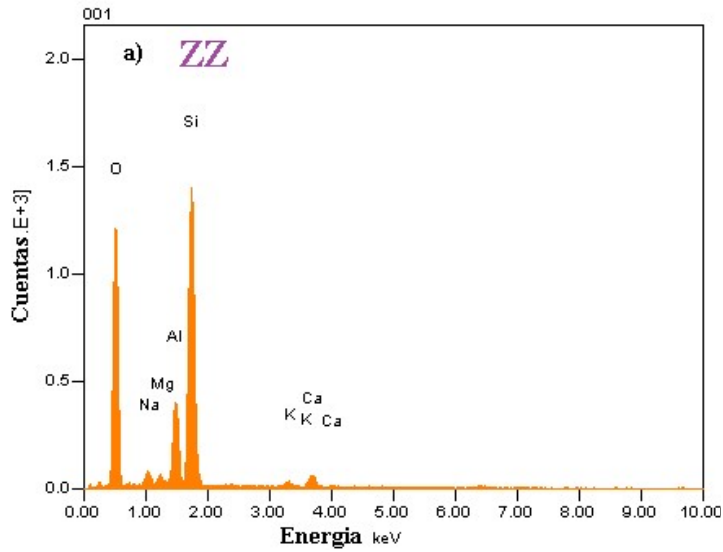
### Aluminosilicato ZZ (SEM y EDS)



**Fig. 35.** Imagen SEM del Aluminosilicato ZZ.

El un granulo de la zeolita ZZ mostrado en la **Fig. 35** de medidas 35 x 50  $\mu\text{m}$ , presenta una superficie irregular y cubierta de aglomerados de dimensiones menores a 1  $\mu\text{m}$ . La estructura no está definida, pero es algo esférica para que forme un tipo de cristal zeolítico. Las aglomeraciones pequeñas indican pueden estar coexistiendo 2 tipos zeolitas en esta muestra.

La **Fig. 36** indica los picos prominentes en orden de altura son Si, O y Al y una leve protuberancia para Na, Mg, Ca y K. Los materiales zeolíticos se caracterizan por la elevada presencia de Al y Si [33] y la relación de sus porcentajes (Si/Al) por lo cual en la **Tabla 45 y 46** se muestran respectivamente, los porcentajes por elemento presentes en el espectro EDS realizado a la muestra y los porcentajes por oxido calculados con un factor de conversión para cada elemento. La ZZ tiene un 73 % de  $\text{SiO}_2$  y un 17 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dando una relación de  $\text{Si}/\text{Al} = 3,83$  dicho valor se encuentra dentro del rango 2,92 – 5,04 que es de una zeolita tipo Clinoptilolita [33].



**b)**

Acquisition Condition	
Instrument	: IT100LA
Volt	: 15.00 kV
Current	: ---
Process Time	: T4
Live time	: 25.00 sec.
Real Time	: 25.83 sec.
DeadTime	: 4.00 %
Count Rate	: 1556.00 CPS

**Fig. 36** Espectro EDS medido de la zona marcada en línea continua (color amarillo) de la imagen SEM de la **Fig. 35 a)** Espectro EDS de ZZ **b)** condiciones de adquisición

**Tabla 45.-** Porcentajes máscico y atómico de los elementos en espectro EDS del Aluminosilicato ZZ

Nombre	Formula	% Máscico	% Atómico	Si/Al
Oxigeno	O	18.54	66.12	3,83
Sodio	Na	0.57	1.42	
Manganeso	Mg	0.32	0.76	
Aluminio	Al	2.98	6.29	
Silicio	Si	11.42	23.20	
Potasio	K	0.41	0.59	
Calcio	Ca	1.13	1.61	
<b>Total</b>		35.37	100.00	

**Tabla. 46** Cálculos de los óxidos del espectro EDS de ZZ

Elemento	% Máscico	Oxido	Factor Ox.	% Máscico	% Atómico	Proporciones aprox. para cemento portland %
Na	0,57	Na <sub>2</sub> O	1,348	0,77	2,30	0,2 – 1,3
Mg	0,32	MgO	1,6583	0,53	1,59	0,1 - 4
Al	2,98	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8895	5,63	16,84	3 - 8
Si	11,42	SiO <sub>2</sub>	2,1393	24,43	73,07	15 - 25
K	0,41	K <sub>2</sub> O	1,2046	0,49	1,48	0,2 – 1,3
Ca	1,13	CaO	1,3992	1,58	4,73	60 - 67
<b>Total</b>	16,83	-	-	33,44	100,00	

Los compuestos  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  se encuentra dentro del rango adecuado para cemento portland, es decir estos compuestos no van a influir en la velocidad de hidratación en el hormigón (fraguado), si se lo reemplaza con el cemento IP.

El % atómico del  $\text{MgO}$  es menor a 6 %, cumple con lo mencionado en la literatura para cementos portland tipo IP, no producirá expansión en el cemento si se lo reemplaza con el cemento selva alegre IP [21].

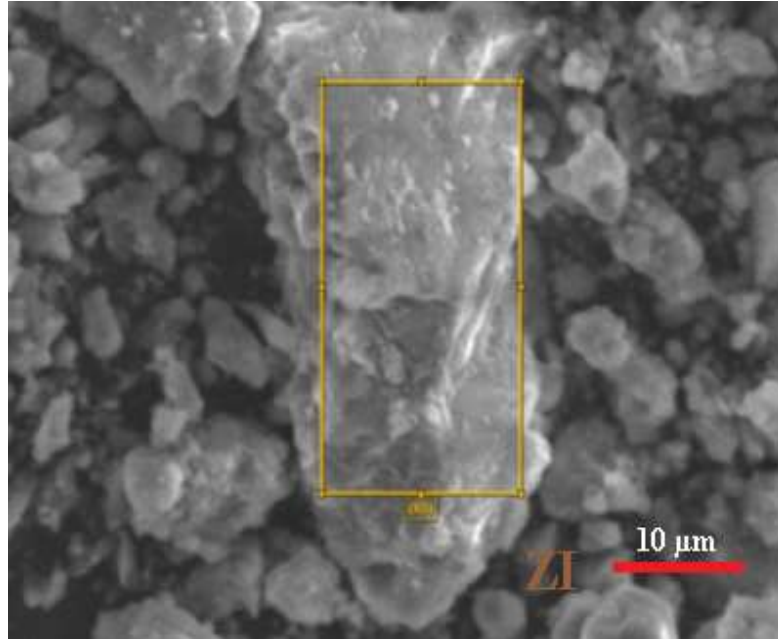
Los resultados de la **Tabla 46** muestran un % atómico del  $\text{CaO}$  bajo en comparación al cemento IP y del  $\text{SiO}_2$  elevado, dichos componentes se encuentran fuera del rango adecuado para cemento portland, esto afecta a la Alita y Belita compuestos principales en la elaboración del cemento, por tal motivo habría cambios en la resistencia inicial y a largo plazo (**Tabla 3**), generando una alteración en su proporción química, tal como se evidencia, conllevando a alteraciones químicas y físicas del hormigón no deseables si se lo reemplaza en altas proporciones con el cemento IP [21].

El % atómico del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se encuentra elevado en comparación al cemento IP, este óxido influye en la Celita que interviene en la resistencia a corto plazo al hormigón (velocidad de hidratación muy rápida), dando lugar a un fraguado instantáneo y una pronunciada reducción de su trabajabilidad enseguida del mezclado [59].

No se evidenció hierro (Fe) y azufre (S) en las zonas analizadas de las muestras de ZZ.



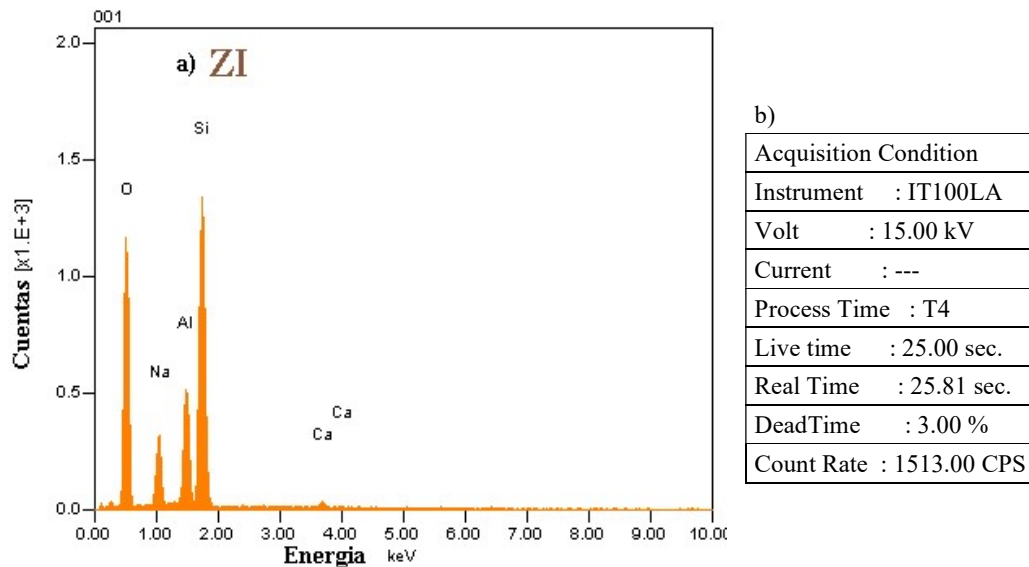
### Aluminosilicato ZI (SEM y EDS)



**Fig. 37.** Imagen SEM del Aluminosilicato ZI.

En la **Fig. 37** se observa un granulo de los cristales de la zeolita ZI de medidas 25 x 50  $\mu\text{m}$  que presenta una superficie irregular y cubierta de aglomerados de dimensiones menores a 1  $\mu\text{m}$ . La estructura no está definida, pero es algo rectangular y los cristales zeolíticos más pequeños son esféricos, otros alargados y poliédricos.

Se observa en la **Fig. 38** los picos prominentes en orden de altura del Si, O y Al y una leve protuberancia para Na, y Ca. Los materiales zeolíticos se caracterizan por la elevada presencia de Al y Si [33]. y la relación de sus porcentajes (Si/Al) por lo cual en la **Tabla 47 y 48** se muestran respectivamente, los porcentajes por elemento presentes en el espectro EDS realizado a la muestra y los porcentajes por oxido calculados con un factor de conversión para cada elemento. La ZI tiene un 65 % de  $\text{SiO}_2$  y un 22% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dando una relación de  $\text{Si} / \text{AL} = 2,67$  dicho valor se encuentra aproximado al rango 2.85 – 4.31 perteneciente al grupo de las Heulanditas [33].



**Fig. 38** Espectro EDS medido de la zona marcada en línea continua (color amarillo) de la imagen SEM de la Fig. 37 a) Espectro EDS de ZI b) condiciones de adquisición.

**Tabla 47.-** Porcentajes másicos y atómico de los elementos en espectro EDS del Aluminosilicato ZI

Nombre	Formula	% Másico	% Atómico	Si/Al
Oxigeno	O	16.42	60.44	2,67
Sodio	Na	2.95	7.55	
Aluminio	Al	4.03	8.79	
Silicio	Si	10.76	22.55	
Calcio	Ca	0.45	0.66	
<b>Total</b>		<b>34.61</b>	<b>100.00</b>	

**Tabla 48** Cálculos de los óxidos del espectro EDS de ZI

Elemento	% Másico	Oxido	Factor Ox.	% Másico	% Atómico	Proporciones aprox. para cemento portland
Na	2,95	Na <sub>2</sub> O	1,348	3,98	11,28	0,2 – 1,3%
Al	4,03	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8895	7,61	21,61	3 - 8%
Si	10,76	SiO <sub>2</sub>	2,1393	23,02	65,32	15 - 25%
Ca	0,45	CaO	1,3992	0,63	1,79	60 - 67%
<b>Total</b>	<b>18,19</b>	-	-	<b>35,24</b>	<b>100,00</b>	

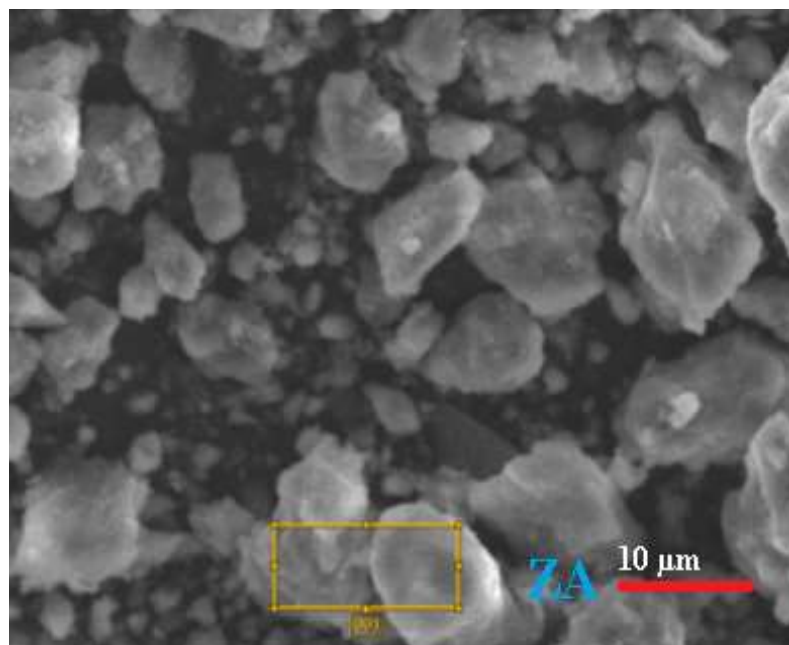
El % atómico del Na<sub>2</sub>O es alto en comparación con el cemento IP y no está dentro del rango aproximado para cemento portland, esto puede ocasionar expansión o agrietamientos anormales en el hormigón, también puede generar una alta resistencia inicial, esto influye en la velocidad de hidratación en el hormigón de ser reemplazado en grandes proporciones [18].

Los resultados de la **Tabla 48** indican un % atómico del CaO bajo en comparación al cemento IP y del SiO<sub>2</sub> elevado, dichos componentes se encuentran fuera del rango adecuado para cemento portland, esto afecta a la Alita y Belita compuestos principales en la elaboración del cemento, por tal motivo habría cambios en la resistencia inicial y a largo plazo como se indica en la **Tabla 3**, generando una alteración en su proporción química, tal como se evidencia y conllevando a alteraciones químicas y físicas del hormigón no deseables si se lo reemplaza en proporciones altas con el cemento IP [21].

El % atómico del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> está muy elevado en comparación al cemento IP y se encuentra fuera del rango aproximado para cementos, esto afecta a la Celita que da la resistencia a corto plazo al hormigón. Este compuesto en altos porcentajes en el cemento puede ocasionar un fraguado instantáneo dando una masa no trabajable en pocos minutos [59] y una resistencia pobre a sulfatos [18].

No se evidenció hierro (Fe), magnesio (Mg) y azufre (S) en las zonas analizadas de las muestras de ZI.

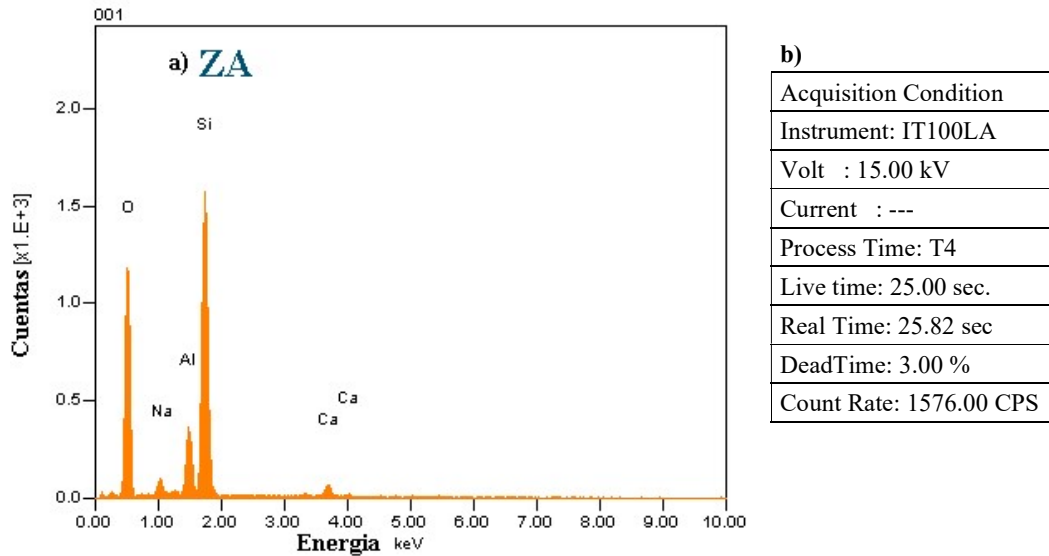
#### **Aluminosilicato ZA (SEM y EDS)**



**Fig. 39.** Imagen SEM del Aluminosilicato ZA.

La **Fig. 39** muestra varios cristales de la zeolita ZA con similares medidas, las más grandes son de forma cubica con un tamaño aproximado de 10  $\mu\text{m}$ , las estructuras más pequeñas en su mayoría también son cristales alargados poliédricos de un tamaño de 2  $\mu\text{m}$ .

Los picos prominentes en orden de altura de la **Fig. 40** son Si, O y Al y una leve protuberancia para Na y Ca. Los materiales zeolíticos se caracterizan por la elevada presencia de Al y Si [33] y la relación de sus porcentajes (Si/Al) por lo cual en la **Tabla 49 y 50** se muestran respectivamente, los porcentajes por elemento presentes en el espectro EDS realizado a la muestra y los porcentajes por oxido calculados con un factor de conversión para cada elemento. La ZA tiene un 77 % de  $\text{SiO}_2$  y un 14% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dando una relación de  $\text{Si} / \text{AL} = 4,83$  dicho valor relacion es semejante al del cemento IP y es el mas alto en comparacion con las zeolitas naturales, cae dentro del rango del grupo de las clinoptilolitas [33].



**Fig. 40** Espectro EDS medido de la zona marcada en línea continua (color amarillo) de la imagen SEM de la **Fig. 39** a) Espectro EDS de ZZ b) condiciones de adquisición

**Tabla 49:** EDS -Porcentaje de Masa y Número Atómico del Aluminosilicato ZA.

Elemento	Símbolo	% Másico	% Atómico	Si/Al
Oxígeno	O	17.98	65.33	4,83
Sodio	Na	0.86	2.18	
Aluminio	Al	2.53	5.45	
Silicio	Si	12.23	25.32	
Calcio	Ca	1.19	1.73	
<b>Total</b>		<b>34.79</b>	<b>100.00</b>	

**Tabla 50:** Composición Química de ZA.

Elemento	% Másico	Oxido	Factor Ox.	% Másico	% Atómico	Proporciones aprox. para cemento portland %
Na	0,86	Na <sub>2</sub> O	1,348	1,16	3,43	0,2 – 1,3
Al	2,53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8895	4,78	14,16	3 – 8
Si	12,23	SiO <sub>2</sub>	2,1393	26,16	77,48	15 – 25
Ca	1,19	CaO	1,3992	1,67	4,93	60 - 67
<b>Total</b>	<b>16,81</b>	-	-	<b>33,77</b>	<b>100,00</b>	

El % atómico del Na<sub>2</sub>O es bajo, se encuentra cerca del rango aproximado para cemento portland, es decir este compuesto no van a influir en la velocidad de hidratación en el hormigón si se lo reemplaza con el cemento IP.

Los resultados indicados en la **Tabla 50** muestran un % atómico del CaO bajo en comparación al cemento selva alegre tipo IP y del SiO<sub>2</sub> elevado, dichos componentes se encuentran fuera del rango adecuado para cemento portland, esto afecta a la Alita y Belita compuestos principales en la elaboración del cemento, por tal motivo habría cambios en la resistencia inicial y a largo plazo (**Tabla 3**), generando una alteración en su proporción química tal como se evidencia, conllevando a alteraciones químicas y físicas del hormigón no deseables si se lo reemplaza en proporciones altas con dicho cemento [21].

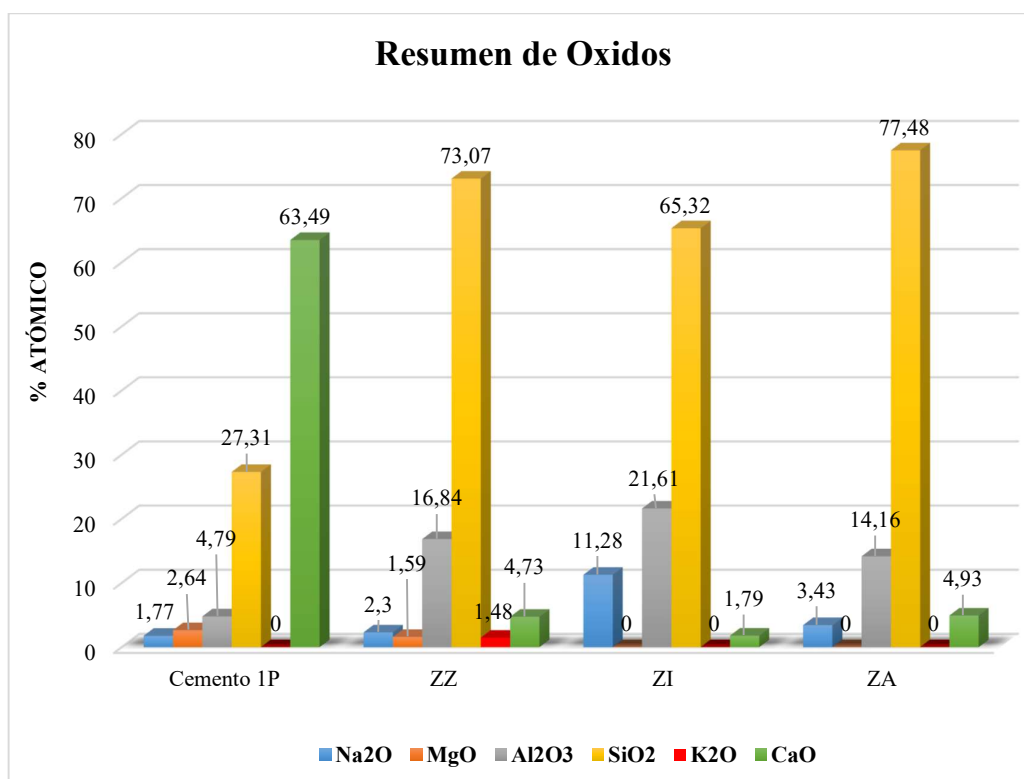
El % atómico del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se encuentra elevado en comparación al cemento 1P, este oxido influye en la Celita que interviene en la resistencia a corto plazo al hormigón (fragua demasiado rápido aportando poca resistencia y poca trabajabilidad) [59].

No se evidenció hierro (Fe), magnesio (Mg) y azufre (S) en las zonas analizadas de las muestras de ZA.

## RESUMEN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CEMENTO Y ZEOLITAS

**Tabla 51: RESUMEN DE ÓXIDOS**

Elemento	% Másico	Óxido	Factor Ox.	1P	ZZ	ZI	ZA
				% Atómico	% Atómico	% Atómico	% Atómico
Na	0,57	Na <sub>2</sub> O	1,348	1,77	2,30	11,28	3,43
Mg	0,32	MgO	1,6583	2,64	1,59	-	-
Al	2,98	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8895	4,79	16,84	21,61	14,16
Si	11,42	SiO <sub>2</sub>	2,1393	27,31	73,07	65,32	77,48
K	0,41	K <sub>2</sub> O	1,2046	-	1,48	-	-
Ca	1,13	CaO	1,3992	63,49	4,73	1,79	4,93
TOTAL	16,83	-	-	100,00	100,00	100,00	100,00



**Fig. 41:** Resumen de óxidos obtenidos mediante EDS de IP, ZZ, ZI, ZA.

en la **Fig. 41** generado mediante la **Tabla 51** indica la caracterización química, por Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, el EDS mostró una homogénea distribución de elementos de las zeolitas con respecto al cemento, pero una heterogénea cantidad en porcentajes de cada elemento.

### **3.2. Verificación de la hipótesis**

El desarrollo de la tesis y de todos los ensayos estuvo siempre bajo la supervisión y control de los Ingenieros Fabio Portilla, Santiago Medina, Maritza Ureña y la Dr Diana Coello.

De acuerdo a la hipótesis planteada: “El uso de aluminosilicatos del cantón guayaquil como sustituto parcial del cemento portland tipo IP influye en sus propiedades físicas ( densidad, finura, granulometría) y químicas (SEM -EDS)”, se pudo determinar que si se cumple la hipótesis planteada al comparar las propiedades físicas y químicas debido a que los elementos químicos presentes en el cemento selva alegre portland IP y en los aluminosilicatos ZA, ZI, ZZ, demuestran que sí existe una variación de la proporción de los elementos, esto hace que se produzca un desequilibrio en cada una de las reacciones del cemento, el cual afecta en un fraguado adecuado, las propiedades fisico-químicas pueden variar las características del cemento. Con respecto a las propiedades físicas difieren mucho en el valor de la densidad y el porcentaje de finura varia con respecto al lugar de adquisición del producto, la granulometría indica que las zeolitas son materiales homogéneos.

## CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

1. Mediante la generación de los mapas en ArcGis se establece que la información proporcionada por el catastro minero ARCOM es totalmente diferente a la realidad actual de las concesionarias mineras del cantón Guayaquil.
2. El análisis granulométrico de la molienda 8 fue la más óptima para la trituración de la ZA debido a que su curva granulométrica indica que el 100% del material tiende a ser fracción fina, siendo el 80% de la cantidad inferior al tamiz # 100 acercándose más a la finura del cemento en comparación con las otras moliendas.
3. Se determinó que la ZA es un material homogéneo, es decir, la trituración y molienda produce porcentajes similares para diferentes tamaños de partículas esto se observó en las gráficas granulométricas.
4. Con respecto al ensayo de finura por tamizado seco se determina que el cemento Selva Alegre portland IP es más fino que las zeolitas ZI y ZA, puesto que inicialmente presentaron impurezas por lo que se procedió a pasarlos por el tamiz #200 para trabajar únicamente con el material que pasó, en cambio la ZZ presento una finura semejante al cemento.
5. Los porcentajes finales de finura de las muestras de ZZ=99,51%, ZA=99,04%, ZI=99,35%, son óptimos para los trabajos y construcción en ingeniería civil y se comparan con los del cemento 1P= 99,72% esto es aceptable para un cemento que va a ser utilizado en una mezcla, debido a que se admite un porcentaje de 5.00% como máximo de impurezas.
6. Las zeolitas ZA, ZZ tienen un comportamiento similar al cemento selva alegre IP, ya que al ser almacenados por un periodo prolongado aparecen grumos, lo cual se observó en el ensayo de finura por tamizado seco.
7. Por la curva de calibración del volumen del picnómetro se concluye que la densidad de las zeolitas y el cemento si depende de la temperatura porque a una mayor temperatura disminuye el valor de la densidad en cambio a una menor temperatura el valor de la densidad aumenta.



8. Se determinó un valor de densidad con el picnómetro a temperatura ambiente de 23°C del cemento Selva Alegre portland IP de 2,855 gr/cm<sup>3</sup>, las zeolitas ensayadas presentan una densidad baja de ZZ= 2,353g/cm<sup>3</sup>, ZI = 2,233g/cm<sup>3</sup>, y ZA=2,408g/cm<sup>3</sup>, en comparación al cemento.
9. Se estableció mediante la calibración del picnómetro valores de densidad promedio de ZZ= 2,514g/cm<sup>3</sup>, ZI = 2,485g/cm<sup>3</sup>, y ZA=2,445g/cm<sup>3</sup>, la diferencia de estas densidades con las determinadas por temperatura ambiente radica en que tienen elementos presentes pesados como el aluminio, hierro, bario, estroncio y silicio, pero también pueden tener elementos livianos como el calcio (**Tabla: 45,46,47,48,39 y 50**) por lo que existe una relación directa entre el ensayo EDS con la densidad.
10. Se determina que la densidad de la ZI difiere mucho a la reportada por la ficha técnica ZI= 1,16 g/cm<sup>3</sup>, al comparar con la densidad que tenemos por los 2 métodos ZI = 2,233g/cm<sup>3</sup> y ZI = 2,485g/cm<sup>3</sup>, esto debe a su composición química (**Tabla: 8**) y al tamaño de las partículas (**Tabla: 7**) ya que el tamaño reportado en la ficha técnica difiere a las usadas en esta tesis (**Tabla 10**).
11. El valor de la densidad de un mismo tipo de zeolita es muy variante lo que confirma lo dicho en la literatura, donde las zeolitas se presentan en diversos ambientes geológicos, además que varios tipos zeolitas pueden coexistir, este valor incluso depende del tamaño del grano que se va a ensayar (**Tabla 7 y 8**), criterio que coincide con la Dra. María del Carmen Diaz Nava en su tesis doctoral.
12. Se establece que la densidad por calibración del picnómetro da valores mas exactos de densidad debido a que existe un mejor control de la temperatura a baño maría, a diferencia de la temperatura ambiente que muestra una temperatura difícil mantener a (23°C ± 2°C) con un máximo de diferencia de ± 0,2°C a la temperatura inicial.
13. Las imágenes SEM de las muestras de ZZ, ZI y ZA revelan la presencia de cristales característicos de las zeolitas tipo Heulanditas y Clinoptilolitas, muestran cristales delgados de forma tabular, cúbica y poliédrica; la morfología coincide con lo reportado en la literatura, a diferencia del cemento

Selva Alegre IP que presento cristales cúbicos definidos y otras formas amorfas.

14. Debido a su morfología y relación Si/Al de  $ZZ=3.83$ ,  $ZI=2.67$  y  $ZA= 4.83$  se concluye que estas zeolitas se encuentran dentro del grupo de las Heulanditas – Clinoptilolitas valor similar al Cemento Selva Alegre IP = 5.04 que caería en el mismo grupo por su relación Si/Al.
15. Las cifras de los elementos químicos presentes en el cemento portland IP y en los aluminosilicatos ZA, ZI y ZZ, determinados mediante el EDS demuestran que sí existe una variación de la proporción de los elementos, esto hace que se produzca un desequilibrio en cada una de las reacciones del cemento, el cual afecta en un fraguado adecuado, las propiedades físico-químicas pueden variar las características del cemento de ser reemplazado en grandes proporciones.
16. Se establece que, si existe una factibilidad de utilizar estos minerales como un material con potenciales características cementantes para ser un sustituto al cemento selva alegre portland IP en proporciones bajas para no afectar a las propiedades mecánicas del hormigón, siendo la ZA la más óptima para su reemplazo y la ZZ y ZI las menos recomendadas.

#### **4.2. Recomendaciones**

1. Es necesario que antes de realizar cualquier ensayo o análisis se verifique que se cuenta con todos los implementos y sustancias necesarias, así como cerciorarse que todos los objetos a utilizarse estén debidamente limpios, para evitar la contaminación de las muestras y lograr mejores resultados.
2. Las condiciones de humedad y temperatura en los laboratorios en los cuales va a ser ejecutados todos los ensayos, deben ser controladas continuamente de tal manera que cumpla con las especificaciones de la norma.
3. Hay que tener en cuenta el tiempo de fabricación del cemento para realizar los diferentes ensayos, puesto que al tener mucho tiempo almacenado puede presentar grumos lo cual ocasionaría errores.
4. Tener una buena manipulación con el baño maría, molino de bolas, balanzas y otros materiales para obtener resultados confiables.

5. No cambiar el voltaje de aceleración al realizar el SEM, ya que, si se aumenta el voltaje de aceleración, la información del interior de la muestra da lugar a un fondo degradando y una imagen de contraste distorsionado, lo recomendable es usar un voltaje de aceleración bajo.
6. No usar una carga muy alta en la sonda de electrones para la imagen SEM porque se distorsiona la imagen, en cambio sí se usa una carga muy baja parte de la imagen aparecerá brillante u oscura.
7. Se recomienda realizar la granulometría de las zeolitas por hidrómetro por tratarse de ser materiales muy finos para obtener valores más representativos.

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

### Referencias Bibliográficas

- [1] C. Colella, M. de' Gennaro, and R. Aiello, *Use of Zeolitic Tuff in the Building Industry*. 2001.
- [2] F. E. M. Carballo, "LAS ZEOLITAS DE LA COSTA DE ECUADOR (GUAYAQUIL): GEOLOGÍA, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIONES." p. 400, 2004.
- [3] J. L. Costafreda *et al.*, *las Zeolitas naturales de iberoamérica.* .
- [4] J. L. C. Mustelier, "Geología, caracterización y aplicaciones de las rocas zeolíticas del complejo volcánico de Cabo de Gata (Almería)," pp. 35–53, 225–252, 2008.
- [5] J. J. Dopico, J. F. Martirena, A. L. Rodríguez, and R. G. López, "Efecto de la adición mineral cal- zeolita sobre la resistencia a la compresión y la durabilidad de un hormigón," *Rev. Ing. Construcción*, vol. 24, no. 2, pp. 181–194, 2009.
- [6] B. Ahmadi and M. Shekarchi, "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 32, no. 2, pp. 134–141, 2010.
- [7] J. L. Costafreda, B. Calvo, and J. L. Parra, "CRITERIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE TOBAS DÁCTICAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PÓRTLAND EN MORTEROS Y HORMIGONES.," *VIII Jornadas Iberoam. Mater. Construcción*, pp. 1–9, 2010.
- [8] J. L. Costafreda, C. B. Pérez, and J. L. Parra, "CONTRIBUCIÓN DE LA ZEOLITA NATURAL A LAS RESISTENCIAS MECÁNICAS DE CEMENTOS , MORTEROS Y HORMIGONES," *IX Jornadas Iberoam. Mater. Construcción*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2011.
- [9] M. de S. Picanço, R. S. Angélica, and M. S. Barata, "Atividade pozolânica de arenito zeolítico da região Nordeste do Brasil," *Esc. Minas, Ouro Preto*, vol. 65, no. 2, pp. 161–167, 2012.
- [10] S. ÖZEN, "POZZOLANIC ACTIVITY OF NATURAL ZEOLITES:

MINERALOGICAL, CHEMICAL AND PHYSICAL  
CHARACTERIZATION AND EXAMINATION OF HYDRATION  
PRODUCTS,” 2013.

- [11] O. P. García, D. C. Reyes, and S. R. Martínez, “GENERALIZACION DE LA UTILIZACION DE ZEOLITA MENOR DE 0.8 mm EN LA ELABORACION DE HORMIGONES,” pp. 1–6, 2013.
- [12] B. B. Raggiot, M. J. Positieri, F. Locat, J. Murra, and S. Marfil, “Zeolite , Study of Aptitude as a Natural Pozzolan Applied to Structural Concrete,” *Rev. la Construcción*, vol. 14, no. 2, pp. 14–20, 2015.
- [13] G. R. Fuentes and E. E. Rams, “INGENIERÍA DE ZEOLITAS NATURALES,” *Inst. Cienc. y Tecnol. Mater. Univ. La Habana*, vol. Nuevos Con, no. 1, pp. 27–32, 2010.
- [14] F. Puertas, “La activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland,” *Inst. Ciencias la Construcción Eduardo Torroja*, vol. 32, no. 2, p. 8, 2017.
- [15] M. Geopolymer, L. Chen, Z. Wang, Y. Wang, and J. Feng, “Preparation and Properties of Alkali Activated,” *MDPI*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [16] L. Machiels, R. Snellings, F. Morante, J. Elsen, and C. Paredes, “Mineralogía Cuantitativa de los Depósitos de Zeolitas en la Costa del Ecuador,” *Rev. Tecnológica ESPOL*, vol. 19, no. 1, pp. 41–48.
- [17] M. B. Cabrera, M. L. Acuña, and M. E. Solis, “Contaminación de los ríos : caso río Guayas y sus afluentes,” *Univ. Ncional Tumbes*, vol. 16, no. 1, pp. 63–70, 2019.
- [18] D. S. GUZMAN, *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. 2001.
- [19] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, *NTE INEN 0151 Cemento hidráulico. Definición de términos*, vol. 0151. 2010.
- [20] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, *NTE INEN 0152: Cemento portland. Requisitos*, vol. 0152. 2012.
- [21] F. R. BLANCO, “CARACTERIZACIÓN ELEMENTAL Y ESTRUCTURAL DE CEMENTOS TIPO I,” 2015.

- [22] J. Restrepo, O. Restrepo, and I. Tobón, “EFECTOS DE LA ADICIÓN DE METACAOLÍN EN EL CEMENTO PÓRTLAND,” *Rev. Univ. Nac. Colomb.*, vol. 73, no. 150, pp. 131–141, 2006.
- [23] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, *NTE INEN 0490 Cementos hidráulicos compuestos. Requisito*, vol. 0490. 2011.
- [24] A. C. Cortés, “La Importancia De Las Zeolitas,” *Univ. Salamanca*, vol. 1, pp. 211–227, 2009.
- [25] J. L. C. MUSTELIER, “TECTOSILICATOS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES: LAS ZEOLITAS NATURALES,” *Fund. Gomez Pardo*, vol. 1, no. 1, p. 26, 2014.
- [26] F. C. de Jesús Toro, L. M. Londoño Beníte, and M. I. Álvarez Herrera, “La zeolita en la mitigación ambiental,” *Rev. LASALLISTA Investig.*, vol. 3, no. 1, 2006.
- [27] C. Poole, H. PRIJATAMA, and N. M. RICE, “SYNTHESIS OF ZEOLITE ADSORBENTS BY HYDROTHERMAL TREATMENT OF PFA WASTES: A COMPARATIVE STUDY,” *Pergamon*, vol. 13, no. 8, pp. 821–842, 2000.
- [28] D. L. Bish and D. W. Ming, *Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications*. 2001.
- [29] M. O. Albán, “ASOCIACIONES DE RADIOLARIOS DE LA CORDILLERA CHONGÓN COLONCHE,” *Inst. Geológico y Min. España, Madrid*, vol. 1, no. 8, pp. 291–299, 2007.
- [30] F. M. Carballo, *Zeolitas Naturales del Ecuador: Geología, Caracterización y Aplicaciones*. 2014.
- [31] L. Machiels *et al.*, “Zeolite mineralogy of the Cayo formation in Guayaquil, Ecuador,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 42, no. 1–2, pp. 180–188, 2008.
- [32] J. E. Kogel, N. C. Trivedi, J. M. Barker, and S. T. Krukowski, *Industrial Minerals and Rocks*. 2006.
- [33] S. Montalvo, “Aplicación de las zeolitas naturales al tratamiento biológico de residuos,” *Dpto. Ing. Química, Univ. Santiago Chile*, vol. 1, no. 1, 2015.
- [34] F. Mumpton, *Mineralogy and Geology of Natural Zeolites*. 1977.

- [35] L. M. Losada, C. Bonilla, R. C. Buitrago, J. H. Otálora, and M. Salamanca, “ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE IONES INORGÁNICOS DE UNA ZEOLITA SINTÉTICA TIPO FAUJASITA,” *Univ. Mil. NUEVA GRANADA*, vol. 11, no. 2, pp. 114–123, 2015.
- [36] Universidad Autonoma de Madrid, “Tutorial Basico para la elaboración de mapas con ArcGIS,” 2011. .
- [37] D. A. Skoog and S. R. Crouch, *Principios de análisis instrumental*. 2008.
- [38] A. M. Córdova, J. R. Vidal, N. S. F. LÓPEZ, R. R. Bon, and M. F. Acosta, “EL ORIGEN DEL Fe EN ZEOLITAS NATURALES,” *ESPISTEMUS*, vol. 15, no. 1, pp. 44–47, 2013.
- [39] V. Bonavetti, V. Rahhal, F. Locati, E. Irassar, S. Marfil, and P. Maiza, “UTILIZACIÓN DE UNA ZEOLITA NATURAL DE LA PROVINCIA DE CHUBUT COMO ADICIÓN MINERAL ACTIVA,” *Asoc. Argentina Tegnologia del Hormigón*, vol. 8, no. 1, pp. 105–114, 2018.
- [40] JEOL, *MANUAL Scanning Electron Microscope A To Z*. 2020.
- [41] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, *NTE INEN 0156 Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*, vol. 0156. 2009.
- [42] M. del C. Díaz Nava, “Organo-minerales Mexicanos (zeolíticos y arcillosos) como adsorbentes de fenol, contaminante del agua,” 2006.
- [43] M. Andrades, A. Moliner, and A. Masaguer, “Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos,” *Univ. Rioja*, p. 79, 2015.
- [44] K. de J. B. Burgos, C. A. B. Rodríguez, E. L. Contreras, H. L. M. López, and J. A. M. Martelo, “PORCENTAJE DE FISURA,” *Rev. Lab. Ing. Univ. Cart.*, vol. 1, pp. 1–4, 2012.
- [45] blogspot Notas de Concretos, “Tamaño de las Partículas y Finura del Cemento.,” 2011. [Online]. Available: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/tamano-de-las-particulas-y-finura-del.html>.
- [46] Blog del Ingeniero Civil, “Tamaño de las Partículas y Finura del Cemento.,”

2011. [Online]. Available:  
<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/tamano-de-las-particulas-y-finura-del.html>.
- [47] M. Rosell, R. Calvo, and B. Galloso, “Zeolita como aditivo mineral activo en hormigones de altas prestaciones,” vol. 117, no. 4, pp. 783–792, 2006.
- [48] Apuntes de Ingeniería Civil, “DETERMINACIÓN DE LA FINURA DEL CEMENTO,” 2007. [Online]. Available:  
<https://ingenieracivil.blogspot.com/2007/09/determinacin-de-la-finura-del-cemento.html>.
- [49] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, *NTE INEN 0196: DETERMINACION DE LA FINURA DEL CEMENTO MEDIANTE EL APARATO DE PERMEABILIDAD AL AIRE*. 2009.
- [50] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 0158 : Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat*, vol. 0158. 2009.
- [51] A. Robalino, “El uso de la Zeolita como una adición mineral para producir cemento Puzolánico,” 2014.
- [52] D. GASPAR and T. TEBAR, *Normalización del cemento Tiempo de Fraguado: algunos comentarios sobre el método de ensayo*. 1980.
- [53] “SELVA ALEGRE,” *FICHA TECNICA SELVA ALEGRE*, 2018. [Online]. Available: <https://ferrigonz.com.ec/wp-content/uploads/2018/01/Selvalegre.pdf>.
- [54] INDAMI, “INDAMI,” *Datos del producto*, 2020. [Online]. Available: <http://indami.com.ec/productos/zeolita-200/>.
- [55] INDAMI, *FICHA TECNICA INDAMI*. 2020.
- [56] ZEONATEC, “Mineplus,” 2020. [Online]. Available: <https://www.zeonatec.com/mineplus>.
- [57] ARCOM, “Pagina ARCOM.” [Online]. Available: [http://geo.controlminero.gob.ec:1026/geo\\_visor/](http://geo.controlminero.gob.ec:1026/geo_visor/).
- [58] E. A. Cabezas, “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.

- [59] W. C. Hansen, “Fraguado rapido y fraguado falso de los cementos Portland,”  
*Mater. Construcción*, vol. 12, no. 107, pp. 29–42, 1962.

# ANEXOS



## ANEXO 1: Imágenes

### Trituración en la Máquina de los Ángeles

	
<p>Ingreso de la ZA a la máquina de los ángeles</p>	<p>Martillado a combo de la ZA</p>
	
<p>Limpeza de la maquina de los angeles</p>	<p>Retiro de la ZA de la maquina de los angeles</p>
	
<p>Tamizado de las muestras solo por el tamiz #200</p>	<p>Identificación de varias granulometrías retenidas en el tamiz #200</p>




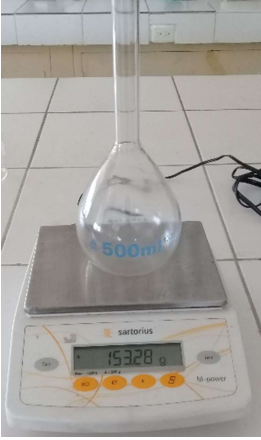

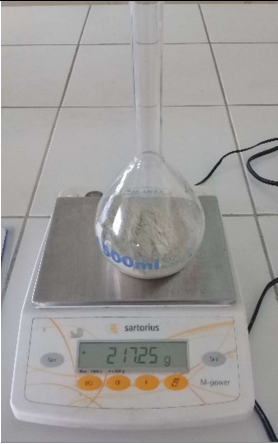
	
<p>Casificación de las muestras mediante un juego de tamices</p>	<p>Pesado de las muestras retenidas en cada tamiz</p>
	
<p>Pesado y guardado de las muestras</p>	





### Trituración en el Molino de bolas

	
<p>Molino de bolas de la UTA</p>	<p>Imagen de las bolas de acero inoxidable del molino</p>

	
<p>Limpeza del molino de cualquier material extraño</p>	<p>Ingreso de las bolas de acero inoxidable al molino</p>
	
<p>Material triturado en el molino de bolas</p>	<p>Juego de tamices ubicados en la tamizadora</p>
	
<p>Pesado de las muestras salidas de la tamizadora</p>	<p>Muestras de ZA, ZI, ZZ que pasan el tamiz #200, en fundas herméticas</p>







## Ensayo de densidad




	
<p>Peso de 64 gr de ZI en la balanza electrónica</p>	<p>Peso de 64 gr de ZA en la balanza electrónica</p>
	
<p>Peso de 64 gr de ZZ en la balanza electrónica</p>	<p>Peso del picnómetro vacío</p>
	
<p>Colocado de las muestras en el picnómetro con ayuda del embudo</p>	<p>Peso del picnómetro mas muestra</p>

	
<p>Peso del picnómetro más muestra más gasolina</p>	<p>Colocado de gasolina en el picnómetro</p>
	
<p>Sacado del aire del picnómetro</p>	<p>Equipo para ensayo de densidad</p>

**Ensayo de Finura por Tamizado Seco**

	
<p>Peso de los 50 g de las muestras</p>	<p>Ingreso de las muestras al tamiz #100 y fuente</p>

	
<p>Peso del tamiz #100</p>	<p>Peso de la fuente</p>
	
<p>Tamizado de las muestras durante 4 y 8 minutos</p>	<p>Golpeo de los lados del tamiz con la brocha</p>
	
<p>Limpieza de la tapa de la bandeja para evitar pérdida de muestra</p>	<p>Golpeo del tamiz durante 1min. con la palma de la mano</p>

	
<p>Porcentaje pasado menor al 5%</p>	<p>Peso del residuo</p>
	
<p>Equipo para determinar el porcentaje de finura del cemento tamizado seco</p>	

**Visita a la provincia del Guayas**

	
<p>Mina de la empresa Zeonatec</p>	<p>Llegada al canton Isidro Ayora-provincia del Guayas</p>





Franja azul de donde se obtuvo la ZA en la mina Zeonatec



Muestra de ZA tomada de la mina antes de ser triturada



Mina BEXI camino a la mina Zeonatec



Explicacion de SEM Y EDS en la Epoch - Guayaquil



Microscopio electronico de barrido de la Epoch - Guayaquil



Proceadora de Zeonatec

**ANEXO 2: Tabla 1**

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

**DENSIDAD DE LA ZA**

**ELABORADO POR:** Paul Fernández  
**DOCENTE:** ING. FAVIO PORTILLA  
**FECHA:** 06/FEB/2020 **NORMA:** AASHTO T- 100; ASTM D 854 58

<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>								
<b>DATOS PRELIMINARES</b>	<b>ZA</b>							
MASA DEL PICNÓMETRO	151,8	gr	151,8	151,8	151,8	151,8	151,8	151,8
TEMPERATURA DE LA GASOLINA	23,5	°C	25	24	23	23,5	22	21
MASA DEL PICNÓMETRO + GAS $y = -8E-05x^3 + 0,0062x^2 - 0,5786x + 531,44$	520,23	gr	519,60	520,02	520,44	520,23	520,86	521,28
MASA DEL GAS	368,43	gr	367,80	368,22	368,64	368,43	369,06	369,48
MASA MUESTRA DE CEM	64	gr	64	64	64	64	64	64
MASA DEL PICNÓMETRO + GAS+CEM	564,45	gr	564,35	564,73	565,16	564,94	565,52	565,92
Densidad de la Gasolina	0,737	gr/cm <sup>3</sup>	0,736	0,736	0,737	0,737	0,738	0,739
Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	19,78	gr	19,25	19,29	19,28	19,29	19,34	19,36
Volumen Desalojado	26,842	cm <sup>3</sup>	26,169	26,192	26,148	26,177	26,201	26,202
Densidad Zeolita	2,384	gr/cm <sup>3</sup>	2,446	2,443	2,448	2,445	2,443	2,443

**ANEXO 3: Tabla 2**

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

**DENSIDAD DE LA ZZ**

**ELABORADO POR:** Paul Fernández  
**DOCENTE:** ING. FAVIO PORTILLA  
**FECHA:** 06/FEB/2020 **NORMA:** AASHTO T- 100; ASTM D 854 58

<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>						
<b>DATOS PRELIMINARES</b>	<b>ZZ</b>					
MASA DEL PICNÓMETRO	151,8	gr	151,8	151,8	151,8	151,8
TEMPERATURA DE LA GASOLINA	25	°C	24	23	22	21
MASA DEL PICNÓMETRO + GAS $y = -8E-05x^3 + 0,0062x^2 - 0,5786x + 531,44$	519,60	gr	520,02	520,44	520,86	521,28
MASA DEL GAS	367,80	gr	368,22	368,64	369,06	369,48
MASA MUESTRA DE CEM	64	gr	64	64	64	64
MASA DEL PICNÓMETRO + GAS+CEM	564,26	gr	565,25	565,63	566,02	566,6
Densidad de la Gasolina	0,736	gr/cm <sup>3</sup>	0,736	0,737	0,738	0,739
Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	19,34	gr	18,77	18,81	18,84	18,68
Volumen Desalojado	26,291	cm <sup>3</sup>	25,486	25,511	25,524	25,282
Densidad Zeolita	2,434	gr/cm <sup>3</sup>	2,511	2,509	2,507	2,531

**ANEXO 4: Tabla 3**

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

**DENSIDAD DE LA ZI**

**ELABORADO POR:** Paul Fernández  
**DOCENTE:** ING. FAVIO PORTILLA  
**FECHA:** 06/FEB/2020                      **NORMA:** AASHTO T- 100; ASTM D 854 58

<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>							
<b>DATOS PRELIMINARES</b>	<b>ZI</b>						
MASA DEL PICNÓMETRO	151,8	gr	151,8	151,8	151,8	151,8	151,8
TEMPERATURA DE LA GASOLINA	27	°C	23	24	23	23	22
MASA DEL PICNÓMETRO + GAS $y = -8E-05x^3 + 0,0062x^2 - 0,5786x + 531,44$	518,76	gr	520,44	520,02	520,44	520,44	520,86
MASA DEL GAS	366,96	gr	368,64	368,22	368,64	368,64	369,06
MASA MUESTRA DE CEM	64	gr	64	64	64	64	64
MASA DEL PICNÓMETRO + GAS+CEM	563,35	gr	565,66	565,03	565,45	565,28	565,82
Densidad de la Gasolina	0,734	gr/cm3	0,737	0,736	0,737	0,737	0,738
Masa de la Gasolina desalojada por la zeolita	19,41	gr	18,78	18,99	18,99	19,16	19,04
Volumen Desalojado	26,451	cm3	25,470	25,785	25,755	25,986	25,795
Densidad Zeolita	2,420	gr/cm3	2,513	2,482	2,485	2,463	2,481

**ANEXO 5: Tabla 4**

DENSIDAD POR EL METODO DEL PICNOMETRO			SELVA ALEGRE 1P		ZZ			ZI			ZA		
Ensayado por:	Paul Fernández	Fecha	17/12/2019	17/12/2019	9/1/2020	9/1/2020	13/1/2020	6/1/2020	6/1/2020	6/1/2020	20/12/2019	20/12/2019	13/1/2020
Norma:	NTE INEN 156 / ASTM C 188-03	Hora	16:00	17:30	15:30	16:19	15:00	11:00	17:00	17:30	12:50	15:05	12:45
DATOS	DESIGNACIÓN		E1	E2	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
M1	Masa del picnómetro	gr	151,81	151,81	169,61	169,61	162,91	169,62	169,62	169,62	169,63	169,63	
M2	Masa del picnómetro + cemento	gr	215,81	215,81	233,61	233,61	226,91	233,62	233,62	233,62	233,63	233,63	225,98
M3	Masa del picnómetro + cemento + Gasolina	gr	567,18	567,38	581,57	583,32	575,86	584,29	586,18	586,71	584,86	584,98	576,57
M5	Masa del picnómetro + 500cc Gasolina	gr	519,63	519,93	537,55	539,42	531,98	541,65	543,59	544,17	540,40	540,76	532,38
T	Temperatura	°C	23	23	23	23	23	24	23	23	23	23	23
DRM	Densidad Real de la muestra	gr/cm3	2,862	2,847	2,357	2,355	2,348	2,229	2,236	2,234	2,429	2,402	2,393
DRP	Densidad Real Promedio	gr/cm3	<b>2,855</b>		<b>2,353</b>			<b>2,233</b>			<b>2,408</b>		

ANEXO 6: Tabla 5

DENSIDAD POR EL METODO DE CALIBRACIÓN DEL PICNOMETRO											
Ensayado por:		Paul Fernández									
Norma :		NTE INEN 156 / ASTM C 188-03									
ZA				ZI				ZZ			
Temperatura	Densidad	Desviación Estándar $SD = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$	Rango de dispersión frente a la media	Temperatura	Densidad	Desviación Estándar $SD = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$	Rango de dispersión frente a la media	Temperatura	Densidad	Desviación Estándar $SD = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$	Rango de dispersión frente a la media
T	xi		$\bar{x} \pm SD$	T	xi		$\bar{x} \pm SD$	T	xi		$\bar{x} \pm SD$
25	2,446	0,002	2,443	23	2,513	0,018	2,463	24	2,511	0,011	2,503
24	2,443			24	2,482			23	2,509		
23	2,448			23	2,485			22	2,507		
23,5	2,445		2,445	2,499	23		2,463	21	2,531		
22	2,443				22		2,481				
21	2,443										
<b>Media (<math>\bar{x}</math>)=</b>	<b>2,445</b>				<b>Media (<math>\bar{x}</math>)=</b>		<b>2,485</b>				

**ANEXO 7: Tabla 6**

FINURA POR EL METODO DE TAMIZADO SECO			1P	ZA				ZZ				ZI			
<b>Ensayado por:</b>	Paul Fernández	<b>FECHA</b>	14/1/2020	14/1/2020	14/1/2020	14/1/2020	15/1/2020	14/1/2020	14/1/2020	14/1/2020	17/1/2020	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020
<b>Norma:</b>	NTE INEN 489	<b>HORA</b>		9:15	12:35	14:45	8:30	10:40	13:00	14:10	9:47	8:30	10:35	12:25	12:20
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>		<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
m	Masa de la muestra	gr	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Numero #	Repeticiones de 1 min	NA	4	43	27	19	19	11	11	15	17	6	8	6	5
< 0,05	Peso en fuente por norma	gr	0,003	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03
Rs	Residuo de la muestra ensayada	gr	0,14	0,21	0,59	0,75	0,38	0,24	0,11	0,16	0,48	0,83	0,20	0,17	0,10
F=100-(Rs*100/m)	Finura en Porcentaje	%	99,72	99,58	98,82	98,50	99,24	99,52	99,78	99,68	99,04	98,34	99,60	99,66	99,80
%	Finura Promedio		<b>99,72</b>	<b>99,04</b>				<b>99,51</b>				<b>99,35</b>			