



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

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

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL  
SUSTITUIR PARCIALMENTE EL CEMENTO HIDRÁULICO TIPO GU  
POR CENIZA VOLCÁNICA.”**

---

**AUTORA:** Ángela Geomayra Sánchez Muñoz

**TUTORA:** Ing. M.Sc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre – 2022**

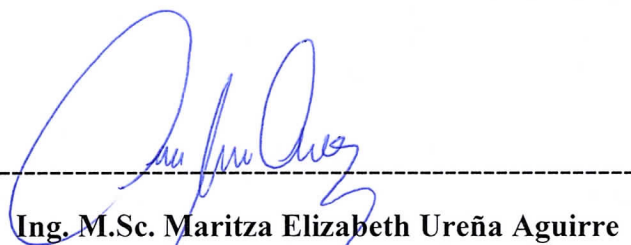
## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL SUSTITUIR PARCIALMENTE EL CEMENTO HIDRÁULICO TIPO GU POR CENIZA VOLCÁNICA”, elaborado por la Srta. **Ángela Geomayra Sánchez Muñoz**, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 1501043655, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Septiembre 2022



**Ing. M.Sc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre**  
**TUTORA**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Ángela Geomayra Sánchez Muñoz** con C.I. 1501043655, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL SUSTITUIR PARCIALMENTE EL CEMENTO HIDRÁULICO TIPO GU POR CENIZA VOLCÁNICA”**, así como también los gráficos, figuras, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2022



---

**Ángela Geomayra Sánchez Muñoz**

**C.I. 1501043655**

**AUTORA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

Ambato, Septiembre 2022



---

**Ángela Geomayra Sánchez Muñoz**

**C.I. 1501043655**

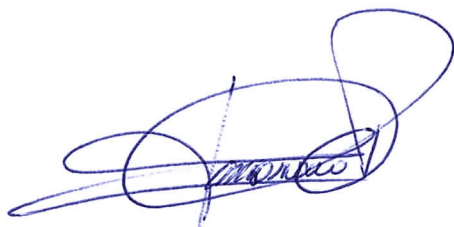
**AUTORA**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Ángela Geomayra Sánchez Muñoz de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL SUSTITUIR PARCIALMENTE EL CEMENTO HIDRÁULICO TIPO GU POR CENIZA VOLCÁNICA”**.

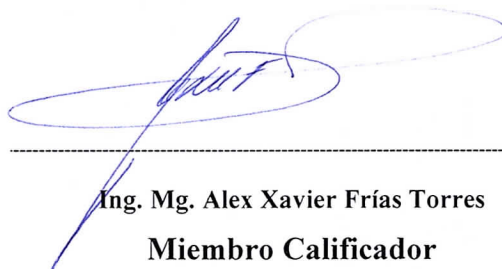
Ambato, Septiembre 2022

Para constancia firman:



---

**Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera**  
**Miembro Calificador**



---

**Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres**  
**Miembro Calificador**

## DEDICATORIA

*A mis padres Rocío y Miguel, el motor de mi vida, que con amor, esfuerzo y paciencia han hecho posible que continúe mis estudios.*

*A mi hermano Luis, mi compañero eterno e inspiración para seguir adelante con rectitud y compromiso materializando grandes sueños.*

*A mis amigos, regalo de Dios que llegaron para alumbrar mi vida y caminar juntos por su camino.*

*A cada una de las personas que con su cariño y buena voluntad han aportado en el desarrollo de este proyecto investigativo.*

*Ángela Geomayra Sánchez Muñoz*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por estar siempre presente en mi vida con sus bendiciones y retos confiando en mí con todo su amor.

A mi mami que con su nobleza e infinito amor ha hecho todo en cuanto a podido para hacer de mi hermano y de mí su mejor obra.

A mi papi por su amor y su cuidado que ha buscado siempre el bien para mi vida.

A mis amigos, mi familia de otra sangre, por su apoyo incondicional, seres maravillosos que han aportado en mi vida con buen consejo y amor.

A mi tutora Maritza Ureña excelente profesional y ser humano quien ha impartido su conocimiento y guía en mi proyecto experimental.

A todo el personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por su compromiso y buena disposición en los procesos académicos desde el inicio hasta la culminación de la carrea.

A todas las personas que han intervenido en mi proceso estudiantil.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Justificación .....	5
1.2. Fundamentación Teórica.....	7
1.2.1. Cemento .....	7
1.2.2. Materiales Cementantes Suplementarios .....	13
1.2.3. Hormigón Tradicional.....	16
1.3. Objetivos .....	25
1.1.3. General.....	25
1.1.4. Específicos .....	25
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA. ....	26
2.1. Materiales.....	26
2.2. Métodos.....	32



2.2.1. Ensayos de caracterización de ceniza y cemento tipo GU.....	32
2.2.2. Ensayos a los componentes del Hormigón .....	41
2.2.3. Dosificación del Hormigón.....	45
<b>CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>58</b>
3.1. Análisis y discusión de resultados.....	58
3.1.1. Caracterización física del cemento tipo GU y la ceniza volcánica .....	58
3.1.2. Propiedades del hormigón en estado fresco.....	78
3.1.3. Propiedades del hormigón en estado endurecido.....	85
3.1.4. Análisis de precios unitarios .....	113
3.2. Verificación de la Hipótesis .....	117
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>118</b>
4.1. Conclusiones .....	118
4.2. Recomendaciones.....	119
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>129</b>
A1. Granulometría del Agregado Fino.....	129
A2. Granulometría del Agregado Grueso (1er Ensayo).....	132
A3. Densidad aparente suelta y compactada de los agregados .....	135
A4. Densidad real del agregado fino.....	136
A5. Densidad real del agregado grueso.....	138
A6. Densidad aparente suelta y compactada de la mezcla.....	139
A7. Contenido de Humedad de los agregados .....	141
A8. Ensayo de fraguado con el aparato automático de Vicat .....	142
A9. Dosificación correspondiente al porcentaje de incorporación de ceniza volcánica	
146	
A10. Anexos Fotográficos .....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Composición química principal de los cementos (% en masa) .....	7
Tabla 2.- Composición química principal de los cementos (% en masa) .....	8
Tabla 3.- Requisitos físicos de cementos hidráulicos .....	11
Tabla 4.- Requisitos físicos de la Ceniza Volcánica según la ASTM C 618. ....	15
Tabla 5.- Tipos de Cenizas Volantes según la ASTM C 618.....	16
Tabla 6.- Cementos hidráulicos por desempeño .....	17
Tabla 7.- Requisitos físicos del cemento tipo GU según INEN 2380.....	18
Tabla 8.- Densidad del Mercurio según INEN 196.....	35
Tabla 9.- Límites Granulométrico del Agregado fino según INEN 872.....	41
Tabla 10.- Límites Granulométricos del Agregado Grueso según INEN 872. ....	42
Tabla 11.- Ensayos preliminares Método de la Densidad Óptima.....	45
Tabla 12.- Relación agua/cemento en función de la resistencia a compresión del hormigón. ....	47
Tabla 13.- Cantidad de pasta en porcentaje en función del asentamiento. ....	47
Tabla 14.- Muestras totales a elaborarse .....	49
Tabla 15.- Dosificación al peso por parada de Hormigón Tradicional. ....	52
Tabla 16.- Corrección por humedad.....	53
Tabla 17.- Cantidad de materiales para 12 cilindros de Hormigón Tradicional. ....	54
Tabla 18.- Cantidad de Materiales para 12 cilindros de Hormigón con 10% de adición de ceniza volcánica. ....	55
Tabla 19.- Cantidad de Materiales para 12 cilindros de Hormigón con 20% de adición de ceniza volcánica. ....	56
Tabla 20.- Cantidad de Materiales para 12 cilindros de Hormigón con 30% de adición de ceniza volcánica. ....	57
Tabla 21.- Densidad Real del Cemento hidráulico tipo GU .....	58
Tabla 22.- Densidad Real de la ceniza volcánica.....	61
Tabla 23.- Calibración del aparato de Blaine y preparación de la masa de muestra..	65
Tabla 24.- Calibración del aparato de Blaine, Masa de la muestra.....	66
TABLA 25. Finura del cemento tipo GU.....	67
Tabla 26.- Obtención de constante b requerida para la ceniza volcánica .....	68
Tabla 27.- Datos requeridos para la determinación de la finura de la ceniza volcánica .....	69

Tabla 28.- Obtención de la finura de la ceniza volcánica .....	69
Tabla 29.- Obtención de la consistencia normal de las pastas de cemento y de cemento con ceniza volcánica .....	71
Tabla 30.- Ensayo de fraguado de la pasta de cemento (0 % de ceniza volcánica) ...	71
Tabla 31.- Ensayo de fraguado de la pasta con 10 % de ceniza volcánica .....	72
Tabla 32.- Ensayo de fraguado de la pasta con 20 % de ceniza volcánica .....	73
Tabla 33. Ensayo de fraguado de la pasta con 30 % de ceniza volcánica.....	75
Tabla 34.- Tiempos de fraguado de las pastas: .....	76
Tabla 35.- Densidad del hormigón tradicional de $f'c$ 240 kg/cm <sup>2</sup> en estado fresco ..	79
Tabla 36.- Densidad en estado fresco del hormigón de $f'c$ 240 kg/cm <sup>2</sup> incorporado el 10% de ceniza volcánica .....	80
Tabla 37.- Densidad en estado fresco del hormigón de $f'c$ 240 kg/cm <sup>2</sup> incorporado el 20% de ceniza volcánica .....	81
Tabla 38.- Densidad en estado fresco del hormigón de $f'c$ 240 kg/cm <sup>2</sup> incorporado el 30% de ceniza volcánica .....	82
Tabla 39.- Asentamiento, trabajabilidad y consistencia en estado fresco de las mezclas de Hormigón.....	83
Tabla 40.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 0% de ceniza incorporada, a los 7 días de edad .....	86
Tabla 41.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 10% de ceniza incorporada, a los 7 días de edad .....	87
Tabla 42.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 20% de ceniza incorporada, a los 7 días de edad .....	88
Tabla 43.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 30% de ceniza incorporada, a los 7 días de edad .....	89
Tabla 44.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 0% de ceniza incorporada, a los 14 días de edad .....	90
Tabla 45.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 10% de ceniza incorporada, a los 14 días de edad .....	91
Tabla 46.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 20% de ceniza incorporada, a los 14 días de edad .....	92
Tabla 47.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 30% de ceniza incorporada, a los 14 días de edad .....	93

Tabla 48.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 0% de ceniza incorporada, a los 21 días de edad .....	94
Tabla 49.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 10% de ceniza incorporada, a los 21 días de edad .....	95
Tabla 50.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 20% de ceniza incorporada, a los 21 días de edad .....	96
Tabla 51.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 30% de ceniza incorporada, a los 21 días de edad .....	97
Tabla 52.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 0% de ceniza incorporada, a los 28 días de edad .....	98
Tabla 53.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 10% de ceniza incorporada, a los 28 días de edad .....	99
Tabla 54.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 20% de ceniza incorporada, a los 28 días de edad .....	100
Tabla 55.- Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 30% de ceniza incorporada, a los 28 días de edad .....	101
Tabla 56.- Resumen de densidades promedio de las probetas de hormigón endurecido .....	102
Tabla 57.- Resistencias promedio del hormigón tradicional.....	106
Tabla 58.- Resistencias promedio del hormigón con 10% de ceniza.....	107
Tabla 59.- Resistencias promedio del hormigón con 20% de ceniza.....	108
Tabla 60.- Resistencias promedio del hormigón con 30% de ceniza.....	109
Tabla 61.- Resumen de resistencias a compresión promedio de las probetas de hormigón endurecido en kg/cm <sup>2</sup> .....	112
Tabla 62.- Análisis de precios unitarios del hormigón tradicional .....	113
Tabla 63.- Análisis de precios unitarios del hormigón con 10% de ceniza .....	114
Tabla 64.- Análisis de precios unitarios del hormigón con 20% de ceniza .....	115
Tabla 65.- Análisis de precios unitarios del hormigón con 30% de ceniza .....	116
Tabla 66.- Granulometría del agregado fino ensayo 1 .....	129
Tabla 67.- Granulometría del agregado fino ensayo 2.....	130
Tabla 68.- Granulometría del agregado fino ensayo 3.....	131
Tabla 69.- Granulometría del agregado grueso ensayo 1.....	132
Tabla 70.- Granulometría del agregado fino ensayo 2.....	133

Tabla 71.- Granulometría del agregado fino ensayo 3 .....	134
Tabla 72.- Densidad aparente y suelta de la arena .....	135
Tabla 73.- Densidad aparente y suelta de la grava.....	135
Tabla 74.- Densidad real del agregado fino .....	136
Tabla 75.- Densidad real del agregado grueso .....	138
Tabla 76.- Densidad Aparente Compactada de la Mezcla .....	139
Tabla 77.- Contenido de humedad del agregado fino .....	141
Tabla 78.- Contenido de humedad del agregado grueso .....	141
Tabla 79.- Registro del Aparato Automático de Vicat de la pasta de cemento .....	142
Tabla 80.- Registro del Aparato Automático de Vicat de la pasta con 10% de ceniza .....	143
Tabla 81.- Registro del Aparato Automático de Vicat de la pasta con 20% de ceniza .....	144
Tabla 82.- Registro del Aparato Automático de Vicat de la pasta con 30% de ceniza .....	145
Tabla 83.- Requerimiento para la dosificación por el método de la densidad óptima .....	146
Tabla 84.- Dosificación del hormigón convencional $f'c$ 240 kg/cm <sup>2</sup> .....	147
Tabla 85.- Cuadro resumen de la dosificación final para cada porcentaje de sustitución .....	147

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.- Densidad real del cemento Tipo GU, Método del Picnómetro.....	59
Gráfico 2.- Densidad real del cemento Tipo GU, Método Le Chatelier .....	60
Gráfico 3.- Densidad real de ceniza volcánica, Método del picnómetro .....	62
Gráfico 4. - Densidad real de ceniza volcánica, Método del picnómetro .....	63
Gráfico 5.- Comparativo de la densidad real del cemento Tipo GU y la y de la ceniza volcánica .....	63
Gráfico 6.- Constante b del ensayo de finura de la ceniza volcánica.....	68
Gráfico 7.- Comparativo de la finura del cemento y la ceniza volcánica .....	70
Gráfico 8.- Tiempo de fraguado de la pasta de cemento.....	72
Gráfico 9.- Tiempo de fraguado de la pasta con 10 % de ceniza volcánica .....	73
Gráfico 10.- Tiempo de fraguado de la pasta con 20% de ceniza volcánica .....	74
Gráfico 11.- Tiempo de fraguado de la pasta con 30% de ceniza volcánica .....	75
Gráfico 12.- Tiempos de fraguado de las pastas ensayadas .....	76
Gráfico 13.- Análisis de las densidades promedio de las mezclas de hormigón en estado fresco.....	83
Gráfico 14.- Resumen de asentamientos de las mezclas de hormigón .....	84
Gráfico 15.- Densidades promedio de las mezclas de hormigón endurecido a los 7 días .....	102
Gráfico 16.- Densidades promedio de las mezclas de hormigón a los 14 días .....	103
Gráfico 17.- Densidades promedio de las mezclas de hormigón a los 21 días .....	104
Gráfico 18.- Densidades promedio de las mezclas de hormigón a los 28 días .....	105
Gráfico 19.- Resistencia promedio a compresión del hormigón tradicional a los 7, 14, 21 y 28 días de edad .....	106
Gráfico 20.- Resistencia promedio a compresión del hormigón con sustitución del 10% de cemento por ceniza volcánica a los 7, 14, 21 y 28 días de edad .....	107
Gráfico 21.- Resistencia promedio a compresión del hormigón con sustitución del 20% de cemento por ceniza volcánica a los 7, 14, 21 y 28 días de edad .....	108
Gráfico 22.- Resistencia promedio a compresión del hormigón con sustitución del 30% de cemento por ceniza volcánica a los 7, 14, 21 y 28 días de edad .....	109
Gráfico 23.- Comparativo de las resistencias a compresión de las mezclas a los 7 días .....	110

Gráfico 24.- Comparativo de las resistencias a compresión de las mezclas a los 14 días .....	110
Gráfico 25.- Comparativo de las resistencias a compresión de las mezclas a los 21 días .....	111
Gráfico 26.- Comparativo de las resistencias a compresión de las mezclas a los 28 días .....	112
Gráfico 27.- Granulometría del agregado fino ensayo 1 .....	129
Gráfico 28.- Granulometría del agregado fino ensayo 2.....	130
Gráfico 29.- Granulometría agregado fino ensayo 3.....	131
Gráfico 30.- Granulometría del agregado grueso ensayo 1.....	132
Gráfico 31.- Granulometría del agregado fino ensayo 2.....	133
Gráfico 32.- Granulometría del agregado fino ensayo 3.....	134
Gráfico 33.- Densidad Aparente Compactada de la Mezcla .....	140

## RESUMEN

La investigación se enfoca en la determinación de la influencia de la ceniza del volcán Tungurahua en el hormigón como material suplementario del cemento, para la mitigación de gases contaminantes generados en el proceso de industrialización del cemento y la consideración del uso de recursos naturales poco convencionales existentes en la zona de elaboración del proyecto.

En el trabajo experimental se empleó agregado grueso de 19 mm de la ciudad de Ambato, agregado fino de la ciudad de Salcedo, ceniza del Tungurahua y cemento Tipo GU. Los materiales fueron preparados en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil en donde se analizaron y ensayaron con especificaciones técnicas de normas ASTM y NTE INEN.

Se determinaron propiedades físicas del cemento y la ceniza volcánica mediante ensayos para densidades reales por el método de Le Chatelier, finuras por el ensayo de permeabilidad al aire con el aparato de Blaine, tiempos de fraguado inicial y final con el Aparato de Vicat y el Aparato Automático de Vicat.

Finalmente se diseñó la dosificación del hormigón según el Método de Densidad Óptima para una resistencia de 240 kilogramos sobre centímetros cuadrados esperada a los 28 días de edad, en cilindros de 10 centímetros de diámetro y 20 de alto, para concreto normal y con porcentajes de sustitución 10, 20 y 30 de ceniza en reemplazo del cemento, de los que se determinaron densidades de concreto en estado fresco, en estado endurecido y resistencias a compresión que indican el comportamiento de las mezclas.

**Palabras clave:** Cemento GU, Ceniza volcánica, Densidad Le Chatelier, Fraguado Vicat, Permeabilidad Blaine, Resistencia a compresión.



## ABSTRACT

The research focuses on determining the influence of ash from the Tungurahua volcano on concrete as a supplementary material for cement, for the mitigation of polluting gases generated in the cement industrialization process and the consideration of the use of unconventional natural resources existing in the area where the project is being developed.

In the experimental work, 19 mm coarse aggregate from the city of Ambato, fine aggregate from the city of Salcedo, ash from Tungurahua and Type GU cement were used. The materials were prepared in the laboratory of the Civil Engineering Department where they were analysed and tested according to the technical specifications of ASTM and NTE INEN standards.

Physical properties of cement and volcanic ash were determined by testing for actual densities by Le Chatelier's method, fineness by air permeability test with Blaine's apparatus, initial and final setting times with Vicat's Manual Apparatus and Vicat's Automatic Apparatus.

Finally, the concrete dosage was designed according to the Optimum Density Method for a strength of 240 kilograms per square centimetre expected at 28 days of age, in cylinders of 10 centimetres in diameter and 20 centimetres in height, for normal concrete and with 10, 20 and 30 percentages of ash substitution in place of cement, from which concrete densities were determined in the fresh state, in the hardened state and compressive strengths that indicate the behaviour of the mixtures.

**Keywords:** GU cement, Volcanic ash, Le Chatelier, density, Vicat setting, Blaine permeability, Compressive strength.

## CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1. Antecedentes

A principios de XIV, los constructores solo habían empleado mezclas de cal, puzolana u otras, como mortero para adherir los materiales entre sí [1]. Desde los tiempos de la antigua Grecia y Roma y hasta mediados del siglo XVIII se empleaba la cal como conglomerante para las construcciones del antiguo Egipto. La palabra cemento como material de construcción tiene su origen en los romanos, que llamaron *opus caementum* a una obra de mampostería de piedra y un conglomerante de cal viva. Más tarde, se nombró como *cementum*, *cimentum*, *caement* y *cement* a los conglomerantes hidráulicos que se obtenían al mezclar adiciones tales como ladrillos cerámicos triturados o toba volcánica con la cal viva [2].

Es de esta manera como en el antiguo Egipto (alrededor del año 2570 a. C.) se utilizaron pastas obtenidas con mezclas de yesos y calizas disueltas en agua, para poder unir sólidamente sillares de piedra; como las que aún perduran entre los bloques calizos de la Gran Pirámide de Gizeh, como es el caso también de las mezclas que se emplearon hacia el año 1950 a. C. en los muros de piedra del mural de Tebas. Hacia el año 500 a. C., los griegos utilizaban en sus construcciones una mezcla de materiales provenientes de depósitos volcánicos, con caliza, agua y arena [2]. Procedente en el 300 a.C. se dio el primer paso para la fabricación del concreto u hormigón, creándose el mortero de cal puzolana y se construyó el primer techo de la historia con este tipo de material en el domo de la Iglesia Santa María de los Mártires [3]. Tiempo después, para el siglo II a. C., en la región de Puzzoli (cerca del Vesubio), los romanos desarrollaron el llamado cemento romano o puzolánico a partir de la mezcla de caliza calcinada con finas arenas de origen volcánico o cenizas volcánicas (lo que hoy llamamos puzolana). Un par de ejemplos de construcciones en donde se empleó este material, son el Coliseo Romano edificado en el año 82 a. C., y el Teatro de Pompeya, edificado hacia el año 75 a. C. [4]

Vitrubio, en su tratado de arquitectura publicado en el siglo I antes de Cristo, da una dosificación de un «cemento romano» que se obtenía mezclando dos partes de puzolana y una parte de cal apagada. Se construyeron obras importantes, entre las que

destaca el Faro romano y el Panteón de Roma (año 27 antes de Cristo). En aquella época, se utilizaron en la construcción mezclas de cal, agua, piedras, arena y ladrillos; un material similar al hormigón. Hasta el año 1.200, en que se vuelve a utilizar para la construcción de grandes obras como la Catedral de Salisbury en Inglaterra, cuyos cimientos están hechos de hormigón, en el nuevo mundo las civilizaciones precolombinas como las mayas, también tuvieron sus propios avances en este campo entre el año 300 a.C. y 1000 d. C durante el cual se creó el cemento y concreto maya [3]. [5] En 1756 en Europa el material de Smeaton estaba formado por una mezcla de cal, puzolana y yeso que, en realidad, se trataba de un «cemento romano» mejorado [1]. James Parker fabrica en 1796 en el Reino Unido con el nombre de «cemento romano» y «cemento rápido», un cemento obtenido por cocción a temperatura moderada de calizas arcillosas muy ricas en sílice y alúmina. Louis-Joseph Vicat, químico francés, comenzó en 1812, unas investigaciones sobre las condiciones que daban origen a la hidráulidad que publicó en 1818.

Aspdin obtuvo en 1824 una patente en la que figuraba por primera vez el nombre de cemento portland dado al producto obtenido por calcinación [2]. Por un parecido en color, a la piedra de construcción que se extrae de la Isla de Portland [1]. En 1838, Brunel, en la obra del túnel bajo el Támesis, empleó un conglomerante con el nombre de cemento portland. Allá por los años 1845 o 1846 el famoso ministro inglés Sir R. Peel, preocupado del desarrollo que tomaba la industria del cemento, temió que se pudieran agotar los yacimientos de materia prima y hacerle falta al Gobierno para sus obras; con este motivo, anunció al Parlamento su intención de ponerle un derecho de extracción a la piedra para cemento [2] [1].

En Alemania, el primer cemento portland se produjo en 1850 en Buxtehude, cerca de Hamburgo. En los Estados Unidos, David Saylor produjo por primera vez Clinker de cemento sinterizado en 1870. Wilhelm Michaelis describió por vez primera en su libro «el mortero hidráulico», publicado en 1868, la composición óptima de la mezcla de material crudo y estudió el contenido máximo de óxido de calcio en la mezcla de material crudo que consigue reaccionar a temperaturas de sinterización (módulo hidráulico). Las investigaciones llevadas a cabo por los padres del cemento Michaelis y Le Chatelier, en 1870 y 1880, fueron fundamentales y muy meritorias para el desarrollo de este material [3]. Para 1932, la producción era la mitad de lo que fue en

1930. En 1933 la industria cementera siguió decreciendo, no de igual forma el valor económico, ya que en este año el precio aumentó, para el año 1937, hubo crecimiento en la construcción de comercio y vivienda; por lo tanto, la demanda fue incrementando; el final de la década e inicio de los años 50 y algunos cementos como los naturales, empezaron a disminuir en su producción. De allí en adelante, hasta terminar el siglo XX, la demanda, importación, exportación y venta de cemento fue creciendo imparablemente [3] [4].

En el año 1980 cada una de las mejoras técnicas introducidas, como el cemento Portland continuaron en esencia muy similar a la primera patente como impacto y sus prestaciones han sido muy significativos. Para el siglo XXI (2000) los hormigones fabricados originarios del cemento romano admiten diversidad de posibilidades de aplicación; Todos los tipos de hormigón han demostrado a lo largo del tiempo sus excelentes propiedades y su alto grado de durabilidad y resistencia, encontrándose en grandes edificios, obra pública o complejos artísticos (como esculturas), signo de funcionalidad y buen comportamiento de un clásico actual, con las tres grandes cementeras del mundo como Cemex, de México; Holcim, de Suiza y la francesa Lafarge. [4] [6]

La utilización de cemento hidráulico tipo GU cuenta con múltiples beneficios enunciados por compañías líderes en el mercado ecuatoriano como Holcim [7] quienes han realizado estudios de calidad, resistencia, ventajas comparativas, precio e impacto ambiental.

El cemento de Tipo GU está diseñado para todo tipo de construcción en general, contando como principales características su resistencia, durabilidad y destacado desempeño que cumple según los estándares de la norma NTE INEN 2380”.

Además, describen que la “adecuada formulación, de los cementos Tipo GU permiten elaborar hormigones con las resistencias requeridas para cualquier tipo y tamaño de construcción, pues su resistencia es superior a las especificadas en las Normas INEN 152, INEN 490 e INEN 2380, para los cementos de uso general”

Por otro lado, Byron Jaigua y Santiago Vázquez, de la Universidad de Cuenca realizaron un trabajo experimental basado en un “estudio de hormigones de altas

prestaciones utilizando áridos y cemento local, cenizas volcánicas naturales y súper-plastificantes” [8] durante el proceso experimental los investigadores utilizaron ceniza volcánica natural obtenida del yacimiento del volcán Tungurahua. “Este material fue sometido a un proceso de molido, quedando con una finura inferior a la del cemento”.

Durante el análisis de resistencia a compresión se determinó un tiempo de observación de 28 días que tendría “el hormigón con probetas cilíndricas de 100mm de diámetro x 200 mm de longitud según AASHTO T 2 y ASTM C 39, con variaciones de 15, 20, 25 y 30% del material puzolánico”. Al finalizar el rango temporal se determinó el cumplimiento objetivo al obtener “resistencia máxima” de “503kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días con un contenido de ceniza volcánica del 20% siendo esta la dosificación más óptima del estudio.

El trabajo experimental de Byron Jaigua y Santiago Vázquez [8] también analiza una valoración económica, donde, se definen “dos cantidades para cada situación de ceniza bastante aceptables para poder involucrarlo en el mercado, por lo tanto, se puede decir que este hormigón puede traer beneficios económicos ya que su costo está en un valor no tan grande para el comercio”.

Los Ingenieros Civiles Ángel Suárez y Marcelo Urgiles [9] realizaron una investigación donde se realiza las ventajas y características de la ceniza volcánica, específicamente del volcán Tungurahua, ubicado en la provincia del mismo nombre. En esta monografía los autores mencionan que, a pesar, de la existencia de varios materiales de tipo puzolánico, en Ecuador, existe un desconocimiento frente a su incorporación en el campo de la construcción que represente un beneficio económico y medioambiental de forma sustancial.

Estas investigaciones consideradas estiman el análisis, al menos, una de las variables contempladas en el trabajo experimental y sus aportes contribuirán a un escudriñamiento y fundamentación teórica de gran influencia en la búsqueda de una mezcla de hormigón con altos estándares de calidad, resistencia, beneficios financieros y medioambientales, convirtiéndose en una propuesta tentativa para el sector de construcción.

### **1.1.2. Justificación**

El Ecuador por su ubicación geográfica, presenta grandes depósitos de piedra pómez, pumitas y puzolanas considerado entre los 10 más grandes del planeta localizados alrededor de chimeneas volcánicas extintas de la formación de grandes colinas. Por lo cual este material permitirá su obtención y utilización en obra civil, especialmente en las provincias interandinas del país. No se logrará obtener relativamente directa la ceniza volcánica, pero por ende es más factible conseguir por parte de los suelos de ceniza volcánica únicamente de las zonas de los volcanes activos o extintos en el país, ya que comprende el 60% de suelos de estas ubicaciones.

A nivel provincial, Tungurahua posee su propio volcán beneficiando así para la adquisición de ceniza volcánica partiendo por los suelos cercanos al volcán, proporcionando la factibilidad de reemplazarlo por el cemento con el fin de lograr construir a base de ceniza volcánica.

En la ciudad de Ambato, no se logrará obtener la ceniza volcánica por ende se obtendrá de la ubicación directa del volcán Tungurahua, en el sector de Baños existe una cantera que durante años ha recolectado ceniza volcánica a los bajos del mismo volcán, así de los suelos de ceniza procedentes de las zonas aledañas. Por lo cual se justifica el reemplazo de cemento por ceniza volcánica con el que el ingeniero constructor logre conseguir gran cantidad de ceniza para proceder a la construcción de sus obras.

Actualmente la alta demanda en el sector de construcción obliga al sector investigativo a buscar nuevos mecanismos, metodologías y análisis de resistencia de materiales, así como, mejoramiento en los estándares de calidad de los mismos a fin de lograr una sostenibilidad en los procesos de construcción para diferentes campos de aplicación.

La importancia del trabajo experimental se centra en la sustitución del cemento tipo GU por ceniza volcánica como una alternativa, diferente a la tradicional, que sea amigable con el medio ambiente y que represente otra fuente en el uso de materiales y que su resistencia sea igual o superior a los elementos comúnmente utilizados.

La experimentación con materiales, como ceniza volcánica, pretende proveer una prolongación de la vida útil de las estructuras, la optimización de materias primas,

ejercer una minimización operativa de los ciclos de producción, brindar un mejoramiento significativo en acabados.

Es de conocimiento que el uso de materiales para la elaboración de hormigones cuenta con estándares de calidad óptimos en el campo de la construcción sin embargo las necesidades de investigación constantes demandan de los profesionales de ingeniería civil procesos experimentales que evolucionen conforme los cambios de un mundo tecnológico globalizado consciente del impacto ambiental y sus cuidados. La opción que se propone en el trabajo de experimentación busca la sostenibilidad a través del uso de yacimientos naturales de donde se obtendrá ceniza volcánica.

La ejecución comparativa de un análisis de resistencia probará la efectividad o no de estos materiales alternativos frente a los tradicionales generando una opción óptima para el mundo de la construcción.

Al realizarse el estudio experimental los principales beneficiarios serán las compañías de construcción y el consumidor final quien verá los resultados en sus bienes. También, generarán oportunidades de trabajo y alternativas para sectores privados y públicos.

Finalmente, la ejecutora del experimento será otra beneficiaria al poner a prueba los conocimientos adquiridos y la guía tutorial proporcionada por la Universidad Técnica de Ambato.

Las premisas antes enunciadas conceden la capacidad necesaria al trabajo experimental y la importancia que este representa para el sector de ingeniería civil siendo una propuesta sostenible y con alto valor práctico. Además, la investigadora cuenta con los recursos cognitivos y capacidad económica para su efectividad.

## 1.2. Fundamentación Teórica

### 1.2.1. Cemento

El cemento es aglutinante que se mezcla en cantidades en peso o porcentajes que forma una masa plástica que fragua con el tiempo y endurece progresivamente como resultado de procesos físico químicos. El cemento es el material principal en la elaboración del concreto. Se piensa que los primeros usos se emplearon como pastas y morteros constituidos de arcilla p greda, yeso y cal para la unión de mampostería en los primeros intentos de edificaciones. En el siglo 1 a.C en Roma iniciaron con el uso del cemento natural que ha durado la inmersión en aguas salinas por milenios. En la antigüedad en Grecia los primeros cementos elaborados estaban constituidos por tobas volcánicas de la isla Santorini. [10]

#### 1.2.1.1. Cemento Portland

El cemento portland es un aglutinante hidráulico constituido principalmente por compuestos químicos como silicatos de calcio ente el 70 y 80% donde el resultado final comprende una mezcla de Clinker y yeso entre el 3 y 5 %. [11]

#### 1.2.1.2. Composición química del cemento Portland

Las materias primas para la fabricación del cemento Portland consisten esencialmente en caliza, marga, arena silícea y arcilla. También se emplean otras adiciones tales como yeso o materiales puzolánicos. Las calizas y margas aportan el óxido de calcio y las arcillas son responsables del aporte de los óxidos metálicos. El proceso de elaboración consiste en mezclar las rocas calcáreas y las arcillas en proporciones adecuadas y molerlas finamente, de manera que el CaO de la caliza y los compuestos de la arcilla (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) resulten homogenizados adecuadamente.

El producto resultante, denominado polvo crudo, se calcina en un horno a temperaturas de 1450°C-1600°C, donde se produce la fusión incipiente del producto resultante, denominado Clinker [3].

**Tabla 1.-** Composición química principal de los cementos (% en masa)

<b>Parámetro</b>	<b>Rango aproximado</b>	<b>Resultado de ensayos (%)</b>
Residuo insoluble	0,1 – 1,4	0,27



Óxido de calcio (CaO)	58,2 – 65,6	62,9
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	19,8 – 26,5	20,6
Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4,1 – 9,5	4,4
Óxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,1 – 4,5	3,3
Magnesia (MgO)	Trazas – 2,9	2,2
Álcalis (K <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> O)	0,1 – 2,8	0,19 – 0,50
Sulfatos (SO <sub>3</sub> )	0,1 – 2,2	3,2
Perdida por calcinación	0,2 – 2,8	2,7

**Fuente** tomada del libro Introducción a la Fabricación y Normalización del Cemento Portland [2]

**Elaborado por:** Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

En cuanto a la composición química de los cementos de principio del siglo XX, poco varía de la composición actual que se da en la Tabla 1. [2]

**Tabla 2.-** Composición química principal de los cementos (% en masa)

Componente	Rango aproximado
SiO <sub>2</sub>	35 – 53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21 – 30
TiO <sub>2</sub>	0,7 – 1,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1 – 0,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6 – 12
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1 – 0,4
CaO	0,5 – 10
MgO	2 – 5
Na <sub>2</sub> O	0,4 – 2,0
K <sub>2</sub> O	1,0 – 5,0
SO <sub>3</sub>	0,3 – 1,5

**Fuente** tomada del libro Introducción a la Fabricación y Normalización del Cemento Portland [2]

**Elaborado por:** Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

El cemento está compuesto por cuatro componentes principales como resultado de la combinación de sílice, cal, alúmina y hierro. Se detallan:

Silicato Tricálcico: ( $SC_3$ ) compuesto del Clinker de calor de hidratación y resistencia inicialmente elevadas.

**Silicato Dicálcico: ( $SC_2$ )** Es fraguado y endurecimiento lento, su calor de hidratación es bajo, le brinda resistencia al cemento a largo plazo.

**Aluminato Tricálcico: ( $AC_3$ )** posee alto calor de hidratación y alta velocidad de fraguado, por su gran retracción es controlador de la resistencia a corto plazo regulando el tiempo de fraguado.

**Ferro aluminato Tetracálcico: ( $C_4AF$ )** Su fraguado es de alta velocidad, posee bajo calor de hidratación, contiene hierro en la elaboración del Clinker. [12]

### 1.2.1.3. Proceso de producción del cemento

El proceso de producción se realiza en 10 fases de fabricación:

1. **Obtención y preparación de materias primas:** Las canteras se explotan mediante voladuras controladas, en el caso de materiales duros como calizas y pizarras, mientras que en el caso de materiales blandos (arcillas y margas) se utilizan excavadoras para su extracción.
2. **Trituración:** Una vez extraído y clasificado el material, se procede a su trituración hasta obtener una granulometría adecuada para el producto de molienda y se traslada a la fábrica mediante cintas transportadoras o camiones para su almacenamiento en el parque de pre-homogeneización.
3. **Pre-homogeneización:** El material triturado se almacena en capas uniformes para ser posteriormente seleccionadas de forma controlada. La pre-homogeneización permite preparar la dosificación adecuada de los distintos componentes reduciendo su variabilidad.
4. **Molienda de crudo:** Estos materiales se muelen para reducir su tamaño y favorecer así su cocción en el horno. En el molino vertical se tritura el material a través de la presión que ejercen sus rodillos sobre una mesa giratoria. A partir de ahí, la materia prima (harina o crudo) se almacena en un silo para incrementar la uniformidad de la mezcla.

5. **Pre calentador de ciclones:** La alimentación al horno se realiza a través del pre calentador de ciclones, que calienta la materia prima para facilitar su cocción. La materia prima molida se introduce por la parte superior de la torre y va descendiendo por ella. Mientras tanto, los gases provenientes del horno, ascienden a contracorriente pre calentando así el crudo, que alcanza los 1.000°C antes de entrar al horno.
6. **Fabricación del Clinker: Horno.** A medida que la harina va avanzando en el interior del horno la temperatura va aumentando hasta alcanzar los 1.500°C, produciéndose entonces las complejas reacciones químicas que dan lugar al Clinker. Para alcanzar las temperaturas necesarias para la cocción de las materias primas y la producción de Clinker, el horno cuenta con una llama principal que arde a 2.000°C.
7. **Fabricación de Clinker: Enfriador.** A la salida del horno, el Clinker se introduce en el enfriador, que inyecta aire frío del exterior para reducir su temperatura de los 1.400°C a los 100°C. El aire caliente generado en este dispositivo se introduce nuevamente en el horno para favorecer la combustión, mejorando así la eficiencia energética del proceso.
8. **Molienda de Clinker y fabricación de cemento:** El Clinker se mezcla con yeso y adiciones dentro de un molino de cemento. Los molinos pueden ser de rodillos y de bolas. Este último consiste en un gran tubo que rota sobre sí mismo y que contiene bolas de acero en su interior. Gracias a la rotación del molino, las bolas colisionan entre sí, triturando el Clinker y las adiciones hasta lograr un polvo fino y homogéneo: el cemento.
9. **Almacenamiento del cemento:** El cemento se almacena en silos, separado según sus clases.
10. **Envasado o expedición a granel:** El cemento se ensaca o se descarga en un camión cisterna para su transporte por carretera o ferrocarril. [6]

#### 1.2.1.4. Cemento Hidráulico

De acuerdo con lo determinado la norma INEN 2380 [13] respecto del cemento hidráulico se lo define como un “cemento que fragua y endurece por reacción química con agua y es capaz de hacerlo aún bajo el agua”. De acuerdo con lo especificado en

la norma técnica establece que un cemento hidráulico para ser clasificado como GU implica que este no posee propiedades físicas o químicas modificadas o con características que le proporcionen un atributo adicional sino se lo considera como base o modelo básico para dar pie a la caracterización de otros cementos, también hidráulicos, pero con características específicas. A continuación, se mencionan los tipos de cementos encasillados por la norma 2380 y sus características químicas y físicas.

#### 1.2.1.5. Tipos de cementos hidráulicos

Existen diferentes tipos de cementos hidráulicos que cuentan con atributos relacionados con el desempeño del hormigón respecto de la resistencia, resistencia a los sulfatos, calor de hidratación y resistencia a la reactividad álcali-sílice. [13]

- **Tipo GU:** Para construcción en general. Se lo debe utilizar cuando no se requieren de los tipos especiales.
- **Tipo HE:** Alta resistencia inicial
- **Tipo MS:** Moderada resistencia a los sulfatos
- **Tipo MH:** Moderado calor de hidratación
- **Tipo LH:** Bajo calor de hidratación
- **Tipo adicional:** Si el cemento es de baja reactividad con áridos reactivos álcali-sílice. Si cumple con la definición de cemento hidráulico y las características de uno de los principales tipos de cemento entonces debe agregarse la letra “R” para identificarlo por la modificación que haya sufrido el tipo de cemento hidráulico.

#### 1.2.1.6. Requisitos Físicos Normalizados del cemento hidráulico (NTE INEN 2380)

**Tabla 3.-** Requisitos físicos de cementos hidráulicos

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por auto clave % máx.	INEN 200	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Tiempo de fraguado, métodos de Vicat. Inicial, no menos de (min) Inicial, no más de (min)	INEN 158	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420
Contenido de aire del mortero, en volumen %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a la compresión, MPa, min 1 día 3 días 7 días 28 días	INEN 488	-- 13 20 28	12 24 -- --	-- 11 18 --	-- 11 18 25	-- 5 11 --	-- -- 11 21
Calor de hidratación 7 días, kJ/kg (máx.) 28 días, kJ/kg (máx.)	INEN 199	-- --	-- --	-- --	-- --	290 (70) --	250 (60) 290 (70)
Expansión en barra de mortero 14 días (máx.)	INEN 2 529	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) 6 meses % (máx.) 1 año % (máx.)	INEN 2 503	-- --	-- --	0,10 --	0,05 0,10	-- --	-- --

**Fuente tomada de la norma ecuatoriana NTE INEN 2380. [13]**

**Elaborado por:** Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**A:** El porcentaje retenido en el tamiz de 45 µm por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m<sup>2</sup>/kg, ambos deben ser informados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante. [13]

**B:** El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158. [13]

**C:** Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. El valor obtenido en el mortero no garantiza necesariamente que el contenido de aire en el hormigón sea el mismo. [13]

**D:** Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimativos basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones. [13]

**E:** En los ensayos de cemento HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año. [13]

### **1.2.2. Materiales Cementantes Suplementarios**

Los materiales cementantes suplementarios comprenden a adiciones capaces de reaccionar con productos de portlandita del cemento en el proceso de hidratación a temperatura ambiente, puede ser por adiciones puzolánicas o que reaccionan directo con el agua, formando un producto estable y cohesivo. Por lo que brinda la posibilidad de reemplazo parcial del cemento portland o del Clinker guardando comportamientos cementantes. A estas adiciones se las conoce como materiales suplementarios y están formados por cemento portland molido y combinados con materiales puzolánicos. [14]

#### **1.2.2.1. Puzolanas**

Las puzolanas pueden ser naturales o artificiales que contienen sílice y/o alúmina que pueden reemplazar de 15 al 40 % en peso del cemento sin reducir significativamente la resistencia del concreto.

En su mayoría los materiales puzolánicos son subproductos de procesos industriales en grandes cantidades sin utilizar constituyendo un significativo problema de desperdicios y contaminación. El uso material puzolánico constituyen ventajosamente ahorros y la reducción del consumo de energías ayudando a reducir la contaminación del medio ambiente.

- a) Puzolanas Naturales: son productos minerales con de compuesto silico-luminosos de estructura amorfa nada perfecta de grano muy fino aptos para su uso como aditivos activos en la industrialización del cemento.

Son cenizas del producto de actividades volcánicas geológicamente recientes. El constituyente amorfo comprende vidrio producido por el enfriamiento brusco de la lava. Las puzolanas naturales son: cenizas volcánicas, pómez, tobas, escorias y obsidianas. Son de estructura cristalina o vítrea, de bastante variedad mineralógica

- b) Puzolanas Artificiales: son productos generados por la cocción puzolánica de procesos térmicos controlados formados por materiales naturales silicatados arcillosos y esquistosos, comprenden cenizas volantes de combustible pulverizado comprenden subproductos de operaciones industriales como residuos de bauxilia, polvos de chimeneas de altos hornos.

#### **1.2.2.2. Ceniza Volcánica**

Se define como ceniza volcánica a la puzolana natural producida por la fragmentación de roca magmática en el proceso eruptivo de un volcán donde el tamaño de las partículas comprende diámetros menores a 2 mm, este material al meteorizarse conforma yacimientos puzolánicos naturales de diversos colores que van de gris claro a negro. [15]

Las cenizas volcánicas están compuestas por fracciones de roca, minerales y vidrio volcánico (óxido de silicio) diferentes de cenizas producidas por materiales combustibles, las partículas de ceniza volcánica son abrasivas, duras y no solventes en agua. Son variadas en tamaño siendo sus gránulos gruesos similares a partículas de arena mientras que los finos son pulverulentos. [16]

#### **1.2.2.3. Composición de la ceniza volcánica**

Estudios previamente realizados a cenizas volcánicas de diversos yacimientos determinaron que están constituidas principalmente de óxido de silicio, aluminio, hierro y en menor porcentaje de óxidos de metales alcalinos y alcalinos térreos como  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ . La composición varía en función del proceso eruptivo del volcán ya que la ceniza al interactuar con fuentes hídricas incrementa la concentración de hierro, magnesio y aluminio.

La constitución mineralógica de cenizas volcánicas se ve predominantemente caracterizada por silicatos que pueden ser coloros o incoloros, también las cenizas más coloreadas presentaran iones metálicos de transición como el hierro mientras que en cenizas incoloras no. El aspecto cristalino de las cenizas está compuesto de cuarzo

(óxido de silicio), feldspatos (silicoaluminatos de calcio y magnesio), óxidos de hierro/titanio en proporciones que varían según las características del magma. [16]

**Tabla 4.-** Requisitos físicos de la Ceniza Volcánica según la ASTM C 618.

<b>REQUISITOS FÍSICOS</b>	
Finura:	N
Cantidad retenida al ser tamizada en húmedo en un tamiz de 45 $\mu\text{m}$ (n° 325), máx., % índice de actividad de fuerza: <sup>A</sup>	34
Con cemento portland, a los 7 días, min, porcentaje de controlar	75 <sup>B</sup>
Con cemento portland, a los 28 días, min, porcentaje de controlar	75 <sup>B</sup>
Necesidad de agua, máximo, porcentaje de control	115
Solidez: <sup>C</sup>	
Expansión a contracción del autoclave, más., %.	0.8
Requisitos de uniformidad:	
La densidad y finura de las muestras individuales no deberá diferir de la media establecida por las diez pruebas anteriores, o por todas las pruebas anteriores si el número es inferior a diez, en más de:	
Densidad, variación máxima respecto a la media, %.	5
Porcentaje retenido de 45- $\mu\text{m}$ (n° 325), variación máxima, puntos porcentuales de la media	5

Fuente: Requisitos físicos, ASTM C 618, pág 2.

<sup>A</sup> El índice de actividad resistente con cemento portland no debe considerarse como una medida de la resistencia a la compresión del hormigón que contiene las cenizas volantes o la puzolana natural. La masa de las cenizas volantes o puzolana natural especificada para el ensayo de determinación del índice de actividad con cemento portland no se considera la proporción recomendada para el hormigón a utilizar en obra la actividad optima de las cenizas volantes o puzolana natural para cualquier proyecto específico se determina por las propiedades requeridas del hormigón y otros constituyentes del mismo y debe establecerse mediante ensayos. El índice de actividad resistente con el cemento portland es la medida de reactividad con un cemento determinado y está sujeto a variaciones en función de la procedencia tanto de las



cenizas volantes o la puzolana natural como del cemento. <sup>B</sup> El cumplimiento del índice de actividad de resistencia de 7 o 28 días indicará el cumplimiento de la especificación. <sup>C</sup> Si las cenizas volantes o la puzolana natural van a constituir más del 20% en la masa del material cementante en la mezcla del proyecto, las muestras de ensayo para la expansión en autoclave deberán contener ese porcentaje previsto. La expansión excesiva en autoclave es muy significativa en los casos en los que las proporciones de agua y material cementante son bajas, por ejemplo, en las mezclas de bloques o de hormigón proyectado. [17]

#### 1.2.2.4. Clasificación de las cenizas volcánicas

**Tabla 5.-** Tipos de Cenizas Volantes según la ASTM C 618.

<b>TIPOS DE CENIZAS VOLANTES</b>		
<b>Clase N</b>	Materiales que requieren calcinación para inducir propiedades satisfactorias.	Puzolanas crudas o calcinadas, cretas y pizarras opalinas; tobas y cenizas volcánicas o pumicitas, calcinadas o sin calcinar.
<b>Clase F</b>	Ceniza volante que tiene propiedades puzolánicas.	Combustión de antracita o de carbón bituminoso. Carbón sub-bituminoso y de lignito.
<b>Clase C</b>	Cenizas volantes que además de tener propiedades puzolánicas tienen propiedades cementantes.	Combustión de lignito o carbón sub-bituminoso y también antracita o carbón bituminoso
<b>Nota:</b> Las cenizas volantes de clase C suelen tener un contenido total de calcio (CaO) superior a las de las cenizas volantes clase F.		

Fuente: Clasificación, ASTM C 618, pág 1.

#### 1.2.3. Hormigón Tradicional

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 694 el hormigón es un “Material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están

embebidos partículas y fragmentos de áridos; en el hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua.” [18]

En la construcción de estructuras el hormigón se elabora para que sea capaz de resistir principalmente cargas a compresión y la exposición a factores ambientales por lo que se puede influir en las características que controlen la durabilidad del concreto mediante la añadidura de materiales aditivos o materiales puzolánicos naturales que sustituyan de forma parcial al cemento con la finalidad de influir en aumento de sus propiedades físicas y mecánicas en estado endurecido. [19]

Un hormigón estructural es aquel que se utiliza en elementos para soportar cargas y que posee una resistencia a compresión mínima de 173.35 kg/cm<sup>2</sup> y una densidad normal entre 2160 kg/m<sup>3</sup> y 2560 kg/m<sup>3</sup> según la ACI 301S-10. [20]

En la presente investigación se denomina al Hormigón Tradicional y al Hormigón con Ceniza Volcánica como HT y HCV respectivamente, elaborados con cemento tipo GU, agregados fino y grueso (arena y grava TMN=19mm) de la ciudad de Salcedo, agua potable y ceniza del volcán Tungurahua como sustituto parcial del cemento.

### **1.2.3.1. Componentes del hormigón**

#### **1.2.3.2. Cemento**

El cemento es un conglomerante hidráulico que al entrar en contacto con el agua reacciona químicamente por efecto de hidratación formando una pasta más o menos densa en función de la cantidad de agua que se emplee, que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como sumergidos bajo el agua.

#### **- Tipos de cementos por desempeño**

Según las normas ASTM C1157 e INEN 2380, comprenden tipos de cemento por desempeño y requerimientos de uso los siguientes:

Tabla 6.- Cementos hidráulicos por desempeño

<b>NORMA</b>		<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>ASTM</b>	<b>NTE INEN</b>		
	2380	GU	Para uso en construcción en general

C 1157	HE	Cuando requiera de alta resistencia inicial
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos
	HS	Para alta resistencia a los sulfatos
	MH	Cuando requiera de moderado calor de hidratación
	LH	Para bajo calor de hidratación
	Adicionados R constituyen a cementos de baja reactividad con agregados álcali reactivos	

Fuente: NTE INEN 2380 – ASTM C1157

**- Cemento tipo GU.**

Es un cemento diseñado en base a la norma NTE INEN 2380 - ASTM C 1157, de constitución hidráulica fabricado con adiciones que favorecen la reducción de impacto ambiental y emisiones de CO<sub>2</sub>. De buena resistencia mecánica, regulador de segregación y exudación, mejora la trabajabilidad en la elaboración de mezclas, con adecuados tiempos de fraguado en obra, además son resistentes a agentes agresivos del medio. [21]

Tabla 7.- Requisitos físicos del cemento tipo GU según INEN 2380.

	<b>INEN 2380</b>	<b>VALOR REFERENCIAL</b>
Cambio de longitud por auto clave, % máximo	0.8	0
Tiempo de fraguado, Método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	45
Inicial, no más de, minutos	420	151
Contenido de aire mortero, en volumen, %	-	4
Resistencia a la compresión, mínimo MPa	-	-
1 día	-	-
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	30
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.02	0.001

Fuente: Ficha técnica de material.

### **1.2.3.3. Agregados**

Los áridos para la elaboración del concreto deben regirse a las estipulaciones de la NTE INEN 872 equivalente de la norma ASTM C33 en requerimientos de agregados finos y gruesos de granulometría y calidad para su empleo en el hormigón.

Los agregados forman el núcleo granular del concreto, actúan como materiales de relleno al ocupar entre el 60 - 75 % de su volumen total y comprenden entre el 70 - 85% de su masa, reducen en lo posible la cantidad de pasta de cemento a ocuparse en la mezcla e influyen de manera directa sobre la estabilidad volumétrica frente a acciones de fraguado y endurecimiento cuando el hormigón está fresco y frente a acciones mecánicas cuando el hormigón se encuentra en estado endurecido. Además de efectuar la reducción del costo de fabricación del concreto. [22]

Se clasifican por el tamaño de partícula como:

#### **- Agregado Fino**

Los agregados finos constituyen arenas naturales, piedras trituradas o la combinación de ambas según la norma ASTM C 33. [23]

Se define como árido fino según la norma NTE INEN 1762 al “Árido que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8”) y que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75  $\mu$ m (No. 200), o la parte del árido que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200). [24]

#### **- Agregado Grueso**

La ATM C 33 menciona que el agregado grueso comprende grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada al aire o concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de ellos. [25]

Según la NTE INEN 1762 el agregado grueso es el “Árido que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) o la porción de árido retenido sobre el tamiz de 7.5 mm (No. 4). [26]

#### 1.2.3.4. Agua

Condiciones del agua en apta para la fabricación del concreto con diferentes fines:

- i. **Agua de amasado:** inicialmente potable inolora, sin sabor, incolora que no requiere de ensayos previos para garantizar fiabilidad de uso. Cuando el agua provenga de fuentes no potables o de las operaciones de producción del hormigón deberán cumplir requisitos de la NTE INEN 2617. [27]
- ii. **Agua de curado:** es capaz de brindar humedad y compensar el agua perdida por evaporación en la etapa de endurecimiento del hormigón manteniendo el efecto de hidratación del cemento adecuado para el aumento progresivo de su capacidad de resistencia a esfuerzos. [28]

#### 1.2.3.5. Hormigón fresco

Se unen en las proporciones estimadas los materiales cemento, agregado fino y grueso, agua y ceniza volcánica obteniendo una mezcla homogénea para depositarse en su destino final. [29]

El concreto fresco debe contar con las siguientes propiedades:

- i. **Trabajabilidad:** Se la define en términos de trabajabilidad y en términos de capacidad de compactación, ya que, al consolidar la mezcla dentro de una formaleta, hay que vencer la fricción interna que se presenta entre las distintas partículas de los materiales que lo componen y una fricción externa o superficial entre el concreto y la superficie de la cimbra con el fin de extraer el aire naturalmente atrapado y lograr la mayor densidad posible. De esta manera, la trabajabilidad queda definida como la cantidad de trabajo interno útil y necesario para producir una compactación completa, debido a que la fricción interna depende de un tipo o sistema particular de construcción. [30]
- ii. **Contenido de aire:** Hace referencia al aire naturalmente atrapado, el cual posteriormente es liberado por los procesos de compactación, para evitar aligeramiento en la masa endurecida y por lo tanto descensos en la resistencia.

- a. Otro procedimiento es la incorporación de aire en burbujas de 1 mm de diámetro o menor. Estas se distribuyen uniformemente para mejorar la durabilidad del concreto e incrementar su manejabilidad. A este proceso se le denomina aire incorporado o incluido. [30]
- iii. **Consistencia:** Se refiere a su estado de fluidez, es decir, que tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla, por lo cual se dice que es el grado de humedad de la mezcla. [5]
- iv. **Temperatura:** El concreto fresco se ve afectado por su temperatura, lo cual afecta sus propiedades en estado plástico, en el asentamiento y el contenido de aire. Se puede verificar con el uso de un termómetro de bolsillo con presión de 2°C. [30]
- v. **Segregación:** Es la separación de los materiales que constituyen una mezcla heterogénea de manera que su distribución deje de ser uniforme por falta de cohesión. Se puede presentar de 2 maneras en las cuales las partículas gruesas tienden a separarse por desplazamiento sobre los taludes de la mezcla amontonada o porque se asientan más que las partículas finas por acción de la gravedad. Para evitar la segregación debe proporcionarse adecuadamente los materiales y revisar su aspecto.
- vi. **Exudación:** consiste en que parte del agua de la mezcla se eleva a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado. Al subir deja rastros capilares que incrementan la permeabilidad del concreto. Puede ser controlada con el uso de aditivos que incluyan aire, cemento o contenido de arena.

#### - Ensayo de Asentamiento

Consiste en la muestra de hormigón recién elaborado que se coloca en un cono truncado en tres capas, se compacta con una varilla lisa a 25 golpes cada capa y se enrasa al nivel del cono, después se levanta el molde quedando el concreto suspendido y asentándose por peso propio, el asentamiento es el valor que resulta entre la altura original del cono y el centro desplazado de la superficie superior del hormigón. [31]

Las especificaciones del método de ensayo se consideraron de la norma NTE INEN 1578.

### **1.2.3.6. Hormigón endurecido**

El concreto endurecido es el resultado obtenido después del fraguado donde la mezcla gana resistencia y toma la forma a que fue amoldado y es capaz de soportar esfuerzos de compresión. [29]

Un concreto endurecido debe contar con las siguientes características o propiedades:

- Durabilidad
- Permeabilidad
- Cambios volumétricos
- Acabado
- Masa unitaria

#### **- Densidad en estado endurecido**

Es la medida de la cantidad de peso en la unidad de volumen compactado o sin compactar que constituye un índice de uniformidad del concreto. Depende mucho de la proporción en que se encuentran los componentes granulométricos y para hormigones tradicionales la densidad en estado endurecido varía entre 2200 y 2400 kg/cm<sup>3</sup>.

### **1.2.3.7. Ensayos del hormigón**

#### **1.2.3.7.1. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión simple es la característica más importante para el estudio de propiedades como la resistencia a la tracción, elasticidad y resistencia al corte, entre otras.

Se define como la capacidad mecánica que tienen los especímenes de hormigón de soportar esfuerzos por unidad de área, se expresa en SI como MPa o usualmente en kg/cm<sup>2</sup>.

El ensayo de resistencia a la compresión comprende en someter a cilindro moldeado o al núcleo del hormigón hecho de cemento hidráulico a una carga axial de compresión a una velocidad de rango definido hasta llegar a la rotura de la probeta. Se calcula por la relación entre la carga máxima alcanzada y el área de la sección transversal del cilindro. [32]

#### **1.2.3.7.2. Relación agua y cemento**

La relación de agua y cemento está dada en peso para los materiales y condiciones de ensayo. La resistencia del concreto compactado tomando en cuenta que queda aire naturalmente atrapado dentro de la mezcla, además de considerar una edad, temperatura y curado determinados lo cual no solo depende de la relación agua-cemento sino del grado de compactación.

La resistencia del concreto se rige principalmente por la resistencia e interacción de sus fases constituyentes:

- La resistencia de la pasta hidratada y endurecida
- La resistencia de las partículas del agregado
- La resistencia de la inter fase matriz – agregado.

#### **1.2.3.8. Factores que influyen en la resistencia del concreto**

##### **1.2.3.8.1. Contenido de cemento**

Al ser el elemento más activo de la mezcla que si aumenta su contenido también incrementa la resistencia. Sin embargo, las mezclas con una relación agua – cemento muy baja y un contenido de cemento extremadamente alto, superior a 470 kg/m<sup>3</sup> representan un retroceso de resistencia, particularmente cuando se usa agregado de gran tamaño. Si por el contrario la mezcla con relación agua-cemento es muy alta y bajo en cemento la resistencia será sumamente baja.

##### **1.2.3.8.2. Relación agua-cemento y contenido de aire**

Es necesario desarrollar la correspondencia entre la resistencia y la relación agua – cemento de los materiales que se usarán en un proyecto específico. Toma en cuenta si existe aire incluido o no debido a que el contenido de aire reduce la resistencia, el concreto con aire reduce la resistencia del concreto, por lo cual, para una misma resistencia, el concreto con aire incluido debe tener una relación agua – cemento más baja.

##### **1.2.3.8.3. Influencia de los agregados**

La granulometría que al ser continua permite la máxima compacidad del concreto en estado fresco y por lo tanto la máxima densidad en estado endurecido con la consecuente máxima resistencia.



La forma y textura de los agregados también influyen, debido a que los agregados de forma cúbica y rugosos permiten una mejor adherencia de la interfase matriz-agregado, aumentando la resistencia respecto a los agregados redondeados y lisos para una misma relación agua-cemento. Sin embargo, para igual contenido de cemento, los primeros exigen más agua para no variar la manejabilidad y por lo tanto el efecto neto es que las resistencias varían apreciablemente.

La resistencia y rigidez del agregado inciden en la resistencia pues no es lo mismo la resistencia y módulo de elasticidad de un agregado de baja densidad y poroso, a la de un agregado de baja porosidad y muy denso

#### **1.2.3.8.4. Fraguado del concreto**

La velocidad de endurecimiento del concreto es otro factor que afecta la resistencia del concreto y que dependen de condiciones como el tiempo y temperatura.

El tiempo del fraguado es indispensable para poder definir la necesidad o no de aditivos que controlen la velocidad del fraguado con el fin de regular los tiempos de mezclado y transporte, de modo que no se vaya a ver afectada la manejabilidad ni la resistencia de la mezcla. El tiempo es de selección arbitraria

### **1.3. Objetivos**

#### **1.1.3. General**


Analizar la resistencia a compresión del hormigón convencional y del hormigón con diferentes porcentajes de sustitución parcial del cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica para una resistencia de diseño  $f^c = 240 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **1.1.4. Específicos**

- Especificar las características físicas: densidad real, tiempo de fraguado y finura del cemento tipo GU y de la ceniza del volcán Tungurahua.
- Determinar el diseño de los hormigones por el método de la Densidad Óptima para una resistencia a compresión de  $240 \text{ kg/cm}^2$  con diferentes porcentajes de sustitución parcial de cemento GU por ceniza volcánica de Tungurahua.
- Establecer la trabajabilidad de los hormigones propuestos en estado fresco, la resistencia a compresión y densidad del hormigón en estado endurecido a la edad de 7, 14, 21 y 28 días.
- Efectuar un análisis costo-beneficio para el porcentaje óptimo de sustitución parcial de ceniza volcánica en el hormigón.

## CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.

### 2.1. Materiales.

<b>MATERIALES:</b>	
<p><b>Cemento Tipo GU:</b> es el cemento de mayor consumo, compuesto de Clinker de cemento portland, sulfato de calcio y la adición de una o varias puzolanas naturales. Excelente resistencia mecánica para todo tipo de construcciones. Mejora la trabajabilidad de las mezclas y reduce la segregación y exudación y el calor de hidratación y por consiguiente la tendencia a la fisuración. Llega a exceder propiedades de resistencia y durabilidad exigidas por las normas NTE INEN 2380, 152 y 490.</p>	
<p><b>Ceniza del volcán Tungurahua:</b> En forma de toba volcánica y triturada fina e independientemente para mantener su pureza.</p>	
<p><b>Nombre:</b> Ceniza volcánica <b>Composición:</b> de partículas de roca y mineral finas <b>Diámetro:</b> menos de 2 milímetros. Generada de la roca cuarteada y separada diminuta de la actividad volcán.</p>	

<p><b>Densidad:</b> varía entre 0,5 y 2 g/cm<sup>3</sup> (1,6 g/cm<sup>3</sup>)</p> <p><b>Textura:</b> franco arenoso a franco arenoso limoso. Buena aireación y baja cohesión.</p> <p><b>Humedad:</b> Porcentajes bajos de humedad comparado con los suelos.</p>	
<p><b>Agregado fino:</b> Formado por arena natural, arena fabricada o una combinación de las mismas. La dosificación de una mezcla de hormigón puede ser dependiente del módulo de finura del agregado fino que se va a utilizar. El agregado fino deberá estar libre de impurezas orgánicas.</p>	
<p><b>Agregado grueso:</b> Constituido por grava, gravilla, piedra triturada o una combinación de los mismos. El tamaño nominal máximo o tamaños permitidos, está basado en el espesor de la sección o el espaciamiento de las barras de refuerzo y son esenciales para utilizar un adecuado tamaño del agregado grueso.</p>	
<p><b>Agua:</b> No tiene olor salvo cuando contiene sustancias disueltas. Es insípido, lo que significa que no posee un sabor determinado. Y es incoloro, es decir, no tiene color y, en su estado puro, es completamente transparente.</p>	

## EQUIPOS:



### Frasco Le Chatelier

Marca Humboldt. Usado para determinar la densidad del cemento tipo GU como de la ceniza volcánica. Posee un bulbo ovalado en el cuello y tiene una capacidad de 17cm<sup>3</sup>. La graduación por debajo del bulbo es de 0 a 1.0 cm<sup>3</sup> con dos subdivisiones adicionales de 0.1cm<sup>3</sup> sobre la marca 1 y bajo la marca 0. En el cuello la graduación varía desde 18 a 24 cm<sup>3</sup> en subdivisiones de 0.1cm<sup>3</sup> por encima del bulbo. La temperatura normalizada indicada es de 20°C. Contiene un tapón de cristal esmerilado número 13. [33]



**Aparato Blaine de permeabilidad al aire:** Modelo E009, marca Matest, es usado para determinar la finura en términos de superficie específica del cemento tipo GU y de ceniza Cuenta con un manómetro montado verticalmente, con un diámetro exterior nominal de 9mm. En la parte superior tiene un acople hembra normalizado para alojar la parte inferior de la celda de permeabilidad y en la salida lateral, a una altura de 250mm y a no más de 50mm del brazo del manómetro, tiene una válvula de cierre hermética. Complementan al equipo con



<p>cemento portland SRM 114q, discos de papel filtro, líquido manométrico, vaselina y una bombilla aspiradora de goma. [33]</p>	
<p><b>Aparato Manual de Vicat:</b>          Marca Soiltest, es usado para determinar la consistencia normal de las pastas. Este incluye una varilla móvil de penetración de 10mm de diámetro en una longitud de 50mm, con un peso de 300g y en acero inoxidable. La escala de medición es de 50mm y está graduada en milímetros. Además, cuenta un tornillo de ajuste y un indicador ajustable que se mueve sobre la escala de medición. [33]</p>	
<p><b>Aparato automático de Vicat:</b>          Vicatronic, modelo E044N, marca Matest, es usado para determinar el tiempo de fraguado inicial y final de pastas. Este cuenta con una aguja templada con un diámetro de 1mm de punta recta, aguja de Vicat, para medir las penetraciones periódicas en la pasta. El instrumento es capaz de hacer mediciones periódicas en el tiempo afijado a una distancia de 5mm de cualquier penetración anterior y a 10 mm de distancia de la cara interna del anillo cónico. La masa soportada por la aguja al momento de la medición de 300g.</p>	

<p>Además, incluye un anillo cónico plástico de 60/70 por 40mm de alto y una placa base de vidrio. [33]</p>	
<p><b>Tanque de curado:</b></p> <p>Modelo C302, marca Matest, es usado para el curado final de los especímenes cilíndricos de hormigón. Este está programado para mantener una temperatura de <math>22\pm 2^{\circ}\text{C}</math>. Este tiene una capacidad de 650 litros y las dimensiones interiores son de 1040x1040x605mm. Fabricado en polietileno extremadamente robusto y estable. [33]</p>	
<p><b>Máquina de compresión:</b></p> <p>Modelo Concreto 2000x, marca Shimadzu. Velocidad de 0.02 MPa/s. La capacidad de prueba es de 40 a 2000 kN en rango de 6 etapas, el método de control es de tipo servo hidráulico con función a prueba de explosiones y el diámetro de la placa superior e inferior es de 220mm. Esta máquina tiene un indicador de carga de aguja ideal para lectura de la carga total y está controlado bajo el software Trapezium X. [33]</p>	
<p><b>Equipo básico utilizado en la dosificación y elaboración de especímenes de Hormigón</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concretera a gasolina de un saco de capacidad.</li> <li>• Vibrador de hormigón a gasolina.</li> </ul>	

- Tamizadora eléctrica.
- Horno eléctrico.
- Juego de tamices cuadrados (1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8).
- Juego de tamices redondos (38", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y fuente, tapa).
- Báscula de 30 Kg de capacidad, con precisión de 1g.
- Báscula de 6 Kg de capacidad, con precisión de 1g.
- Báscula análoga de 100 Kg de capacidad.
- Molde metálico de 22 Lt de capacidad.
- Moldes cilíndricos de 10 cm x 20 cm.
- Cono de Abrams.
- Varilla de compactación punta redondeada.
- Canastilla metálica.
- Recipientes metálicos.
- Recipientes plásticos.
- Bandejas metálicas.
- Termómetro digital.
- Carretilla.
- Pala de mano.
- Palustre.
- Cepillo de acero.
- Brocha.
- Flexómetro.
- Embudo.



## 2.2.Métodos

Los ensayos mencionados a continuación se realizaron mediante los procedimientos propuestos por las NTE INEN y ASMT.

### 2.2.1. Ensayos de caracterización de ceniza y cemento tipo GU.

#### 2.2.1.1.Densidad Real del cemento tipo GU y la ceniza volcánica.

**Método de ensayo:** La determinación de la densidad de cemento hidráulico y de la ceniza consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier, siguiendo los requerimientos de la norma ASTM C 188 – 03 correspondiente a la norma ecuatoriana NTE INEN 156. [34]

**Procedimiento:** El ensayo se empleará para el cemento y la ceniza volcánica según la norma.

- i. Pesar 64 g de cemento con aproximación de 0.05 g, en el caso de la ceniza volcánica son 55 g por incremento del volumen de líquido no reactivo que excedería la graduación del frasco, recomendado por la norma para una correcta lectura volumétrica.
- ii. Llenar con gasolina el frasco Le Chatelier hasta la mitad de las marcas 0 ml y 1 ml.
- iii. Registrar el peso del frasco más el líquido.
- iv. Sumergir el frasco Le Chatelier en agua con temperatura constante de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y controlar el rango de temperatura a lo largo de todo el ensayo directamente del agua inmersa en el baño maría con un termómetro de cuello largo.
- v. Registrar la lectura inicial de la gasolina en  $\text{cm}^3$ .
- vi. Verter el cemento o la ceniza volcánica de tal forma que el material no se quede pegado a las paredes del frasco.
- vii. Registrar el peso del frasco con gasolina más el cemento o la ceniza volcánica.
- viii. Girar el frasco Le Chatelier de forma inclinada hasta que el material añadido quede sin aire contenido.
- ix. Volver a sumergir el frasco en el agua a temperatura constante.

- x. Registrar la lectura volumétrica final en  $\text{cm}^3$ .

### **Cálculos**

#### **a) Masa del cemento**

$$\mathbf{M_c = M_{tc} - M_a}$$

Donde:

$M_c$  = Masa del cemento, en (g)

$M_{tc}$  = Masa del Frascos Le Chatelier con gasolina y cemento, en (g)

$M_a$  = Masa del frasco Le Chatelier con gasolina, en (g)

#### **b) Masa de la ceniza volcánica**

$$\mathbf{M_{cv} = M_{tcv} - M_a}$$

Donde:

$M_{cv}$  = Masa de la ceniza, en (g)

$M_{tcv}$  = Masa del Frascos Le Chatelier con gasolina más ceniza, en (g)

$M_a$  = Masa del frasco de Le Chatelier con gasolina, en (g)

#### **c) Volumen de la gasolina**

$$\mathbf{V = V_f - V_o}$$

Donde:

$V$  = Volumen de gasolina desplazada, en  $\text{cm}^3$

$V_f$  = Volumen final del frasco Le Chatelier, en  $\text{cm}^3$

$V_o$  = Volumen inicial del frasco Le Chatelier, en  $\text{cm}^3$

#### **d) Densidad del cemento y la ceniza volcánica**

$$\mathbf{DRC = \frac{M_c}{V}}$$

$$\mathbf{DRCV = \frac{M_{cv}}{V}}$$

Donde:

DRC = Densidad real del cemento, en  $\text{g/cm}^3$

DRCV = Densidad real de la ceniza volcánica, en  $\text{g/cm}^3$

### **2.2.1.2. Finura con el Aparato de Blaine.**

**Método de ensayo:** Determinación de la finura del cemento y ceniza aplicando el método del aparato de permeabilidad al aire (Blaine) descrito en la norma NTE INEN 196 con el cual se obtiene la finura del cemento y la ceniza basado en la velocidad de paso del aire a través de una capa de material, con determinada porosidad, en función del tamaño de las partículas del material y por lo tanto de su superficie específica. [35]

#### **Procedimiento: Calibración del Aparato de Blaine**

- i. Agitar durante 2 minutos el frasco hermético de cemento SRM 114q contenido para la desintegración de gránulos existentes.
- ii. Reposar el material luego de la agitación por otros 2 minutos adicionales y distribuir adecuadamente las partículas de cemento por homogeneidad.
- iii. Colocar el disco metálico perforado y dos discos de papel filtro dentro de la celda de permeabilidad, siguiendo el orden descrito después registrar la masa conjunta.
- iv. Controlar la temperatura en durante el proceso de ensayo en  $^{\circ}\text{C}$ .
- v. Llenar con mercurio la celda de permeabilidad y verificar que no haya aire incluido mediante pequeños golpes sobre la celda.
- vi. Nivelar el mercurio con el borde superior de la celda y registrar su masa.
- vii. Retirar el mercurio y un papel filtro de la celda de permeabilidad.
- viii. Colocar en la celda 2.8 g de cemento SRM114q.
- ix. Golpear suavemente la celda nivelando la camada y colocar un papel filtro sobre el cemento.
- x. Llenar con mercurio el espacio de la celda que no está cubierta por el cemento SRM 114q y enrasar al nivel de la celda.
- xi. Registra la masa de la camada más el mercurio.

**Con los datos registrados determinar:**

#### **e) Densidad del Mercurio**

**Tabla 8.-** Densidad del Mercurio según INEN 196.

<b>DENSIDAD DEL MERCURIO A TEMPERATURA AMBIENTE</b>	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	<b>Densidad del Mercurio (g/cm<sup>3</sup>)</b>
18	13,55
20	13,55
22	13,54
24	13,54
26	13,53
28	13,53
30	13,52
32	13,52
34	13,51

Fuente: INEN 196, pág 5.

**a) Volumen aparente del cemento**

$$V (\text{cm}^3) = \frac{WA(\text{g}) - WB(\text{g})}{D(\text{g/cm}^3)}$$

Donde:

V = Volumen de la camada de cemento normalizado, en cm<sup>3</sup>

WA = Masa del mercurio que llena la celda únicamente con este material, en g

WB = Masa del mercurio que llena el espacio celda no ocupada por cemento, en g.

D = Densidad del mercurio según la temperatura ambiente durante el ensayo, en g/cm<sup>3</sup>

**b) Masa de la muestra**

$$W = \rho V(1 - \epsilon)$$

Donde:

W = Cantidad de gramos de material requerido, g

$\rho$  = Densidad de la muestra de ensayo, para cemento Portland 3.15 Mg/cm<sup>3</sup> o 3.15 g/cm<sup>3</sup>

$V$  = Volumen aparente de la camada de cemento, en  $\text{cm}^3$

$\varepsilon$  = Porosidad deseada de la camada de cemento de  $0.500 \pm 0.005$

### **1.- Procedimiento: Ensayo de Permeabilidad del cemento tipo GU.**

- i. Colocar el disco metálico perforado y un papel filtro en la celda de permeabilidad comprobando buena adhesión en la base de la celda.
- ii. Colocar la celda preparada en una balanza de precisión de 4 decimales y encerrarla.
- iii. Colocar la cantidad de masa requerida del material calculada anteriormente.
- iv. Golpear delicadamente la cápsula para nivelar el material inmerso.
- v. Colocar un papel filtro sobre la masa de la muestra cubriendo totalmente el material.
- vi. Presionar el émbolo una vez y girar  $90^\circ$  solo con el dedo pulgar para compactar la muestra y sacar el émbolo.
- vii. Aplicar vaselina en la superficie externa de la celda.
- viii. Colocar y acoplar la celda de permeabilidad en el tubo manométrico del Aparato.
- ix. Liberar lentamente el aire abriendo la válvula con la perilla del tubo en U y controlando con la bomba de caucho conectada al mismo, que el líquido manométrico llegue hasta la marca superior.
- x. Cerrar la válvula completamente.
- xi. Tomar el tiempo de recorrido del líquido manométrico cuando este desciende desde la marca superior hasta la marca inferior del tubo
- xii. Registrar el tiempo en segundos y la temperatura de ensayo en  $^\circ\text{C}$

**Con los datos registrados determinar:**

$$S = \frac{Ss\sqrt{T}}{\sqrt{Ts}}$$

Donde:

$S$  = Superficie específica de la muestra de ensayo, en  $\text{m}^2/\text{kg}$

Ss = Superficie específica de la muestra normalizada empleada en la calibración del equipo, en  $\text{m}^2/\text{kg}$

T = Intervalo de tiempo medido correspondiente al descenso del líquido manométrico en el ensayo de la muestra, en segundos (s)

Ts = Intervalo de tiempo medido correspondiente al descenso del líquido manométrico en el ensayo de la muestra normalizada, en segundos (s)

## **2.- Procedimiento: Ensayo de Permeabilidad de la ceniza volcánica.**

- **Constante “b” requerido para el ensayo de permeabilidad**

Para materiales diferentes al cemento Portland como la ceniza volcánica se requiere determinar el valor de una constante b que se encuentra en función de una correlación R determinada por los resultados de ensayos de permeabilidad del material para diferentes valores de porosidades en un rango no mayor a 0.06 como lo estipula la norma.

- Colocar el disco metálico perforado y un papel filtro en la celda de permeabilidad comprobando buena adhesión en la base de la celda.
- Colocar la celda preparada en una balanza de precisión de 4 decimales y encerrarla.
- Escoger 4 valores de porosidades  $\varepsilon$  de camada a preparar de la muestra con diferencia máxima de 0.06 entre el primer y el último valor.
- Calcular y colocar la cantidad de masa requerida de la muestra. Se emplea el valor de densidad real obtenida del material con el método de Le Chatelier. Para cada una de las porosidades.
- Golpear delicadamente la cápsula para nivelar el material inmerso.
- Colocar un papel filtro sobre la masa de la muestra cubriendo totalmente el material.
- Presionar el émbolo una vez y girar  $90^\circ$  solo con el dedo pulgar para compactar la muestra y luego sacar el émbolo.
- Untar vaselina en la superficie externa de la celda preparada.
- Colocar y acoplar la celda de permeabilidad en el tubo manométrico del Aparato.

- x. Liberar lentamente el aire abriendo la válvula con la perilla del tubo en U y controlando con la bomba de caucho conectada al mismo, que el líquido manométrico llegue hasta la marca superior.
- xi. Cerrar la válvula completamente.
- xii. Tomar el tiempo de recorrido del líquido manométrico cuando este desciende desde la marca superior hasta la marca inferior del tubo
- xiii. Registrar el tiempo en segundos y la temperatura de ensayo en °C
- xiv. El ensayo se repite desde la colocación de masa requerida por porosidad la cantidad de porosidades a emplear.
- xv. Calcular y graficar  $\sqrt{\epsilon^3 T}$  en el eje X vs  $\epsilon$  en el eje Y. El corte de la línea de tendencia por regresión lineal mostrará el valor de b.
- xvi. Verificar y regular que el coeficiente de correlación R se encuentre en el valor de 0.9970

**Con los datos registrados determinar:**

La superficie específica de la ceniza volcánica mediante el empleo de la ecuación 7 de la norma NTE INEN 196.

$$S = \frac{S_s \cdot \rho_s (b_s - \epsilon_s) \sqrt{\epsilon^3 \sqrt{T}}}{\rho (b - \epsilon) \sqrt{\epsilon s^3 \sqrt{T_s}}}$$

Donde:

S = Superficie específica de la muestra de ensayo, en m<sup>2</sup>/kg

S<sub>s</sub> = Superficie específica de la muestra normalizada empleada en la calibración del equipo, en m<sup>2</sup>/kg

ρ<sub>s</sub> = Densidad de la muestra normalizada empleada en la calibración del equipo, en g/cm<sup>3</sup>

ρ = Densidad de la muestra de ensayo, en g/cm<sup>3</sup>

ε<sub>s</sub> = Porosidad de la muestra normalizada empleada en la calibración del equipo

ε = Porosidad de la muestra de ensayo para la camada

b<sub>s</sub> = 0.9 constante estipulada por la norma para la muestra normalizada

b = Constante determinada en el ensayo de la muestra

T = Intervalo de tiempo medido correspondiente al descenso del líquido manométrico en el ensayo de la muestra, en segundos (s)

Ts = Intervalo de tiempo medido correspondiente al descenso del líquido manométrico en el ensayo de la muestra normalizada, en segundos (s)

### **2.2.1.3. Tiempo de Fraguado**

**Método de ensayo:** Tiempo de fraguado inicial y final del cemento y la ceniza con el Aparato Automático de Vicat bajo los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 158. [36]

Se realizará para la elaboración de cuatro pastas de cemento y de cemento más ceniza.

#### **Procedimiento:**

- i. Pesar la cantidad de 650 g de solo cemento o cemento con ceniza
- ii. Preparar en una probeta una cantidad considerada de agua y anotar su volumen.
- iii. Colocar el agua en un recipiente vacío y añadir el material dejándolos interactuar por 30 segundo.
- iv. Mezclar de forma mecánica los materiales por 30 segundos a una velocidad baja.
- v. Retirar el material adherido en las paredes del recipiente durante 15 segundo.
- vi. Mezclar de forma mecánica a velocidad media durante 60 segundos.
- vii. Moldear, con las manos enguantadas y humedecidas, de forma circular y lanzar de una mano a otra por seis veces la bola, a una distancia de 15 cm entre manos.
- viii. Colocar la bola, con la palma de una mano, en el anillo cónico del aparato por la parte del diámetro mayor y hacer presión hacia la palma de la otra mano que tapa el diámetro menor del anillo.
- ix. Limpiar excesos de pasta con un solo pasar de mano.
- x. Colocar el anillo con la pasta por su diámetro mayor sobre una placa de vidrio
- xi. Quitar con una espátula restos excedentes de pasta y nivelar con la espátula a 30 grados la superficie de la pasta desde su centro hacia el borde del anillo
- xii. Alisar la superficie de la pasta no más de 3 veces
- xiii. Regular la aguja del equipo al nivel de la pasta y ajustar el tornillo de la aguja.



- xiv. Encerar el indicador de penetración y soltar la aguja de Vicat mediante su tornillo.
- xv. Dejar penetrar la pasta por 30 segundos y tomar la lectura en milímetros que no debe exceder los  $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . Si excede el ensayo se repetirá desde el primer paso hasta obtener el límite de penetración. Además, se deberá preparar nuevamente el Aparato de Vicat electrónico desde el inicio del ensayo.
- xvi. Preparar inmediatamente una nueva bola de pasta con el material que no se ocupó de igual forma de colocación al anillo cónico y centrada bajo la aguja del equipo, esta pasta se prepara para el ensayo de Vicat en el equipo automático. El paso se repite para cada porcentaje de sustitución.

El tiempo de fraguado inicial comprende cuando empieza el material a interactuar con el agua y la penetración de la aguja en la pasta alcanza los 25 mm desde la superficie libre de la muestra.

**Cálculos:**

Cálculo del tiempo de fraguado inicial Vicat con una aproximación a 1 minuto, como sigue:

$$\left( \left( \frac{(H - E)}{C - D} \right) \times (C - 25) \right) + E$$

Donde:

- E = tiempo en minutos de la última penetración mayor que 25 mm,
- H = tiempo en minutos de la primera penetración menor que 25 mm,
- C = lectura de penetración al tiempo E
- D = lectura de penetración al tiempo H.

El registro de lecturas del Aparato electrónico de Vicat considera la penetración desde la superficie del vidrio base hacia la parte superior de la pasta por lo que la lectura será de 15 mm para considerar su tiempo como el tiempo de fraguado inicial.

## 2.2.2. Ensayos a los componentes del Hormigón

### 2.2.2.1. Granulometría de los agregados.

Consiste en la graduación de los materiales cumpliendo una distribución granulométrica de sus partículas mediante el uso de tamices.

#### - Granulometría del agregado fino

Según la NTE INEN 696 equivalente de la ASTM C 33 especifica límites de porcentajes que el árido fino cumplirá. El tamaño de la muestra como mínimo de 300 g, se somete a agitación en una tamizadora mecánica durante 5 minutos como tiempo prudente y se registra el peso del material retenido por cada tamiz. [37]

**Tabla 9.-** Límites Granulométrico del Agregado fino según INEN 872.

TAMIZ		% QUE PASA
ASTM	INEN	
3/8''	9.5 mm	100
No. 4	4.75 mm	95 – 100
No. 8	2.36 mm	80 – 100
No. 16	1.18 mm	50 – 85
No. 30	600 µm	25 – 60
No. 50	300 µm	10 – 30
No. 100	150 µm	2 – 10
No. 200	75 µm	-

Fuente: NTE INEN 872 [38]

El módulo de finura de la arena se determina mediante la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados por los tamices y dividido para 100, debe comprender en un rango de 2.3 a 3.10 según la NTE INEN 696 para garantizar idoneidad en la elaboración del hormigón. [37]

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenidos acumulados}}{100}$$

### - Granulometría del agregado grueso

El agregado grueso, al igual que el agregado fino, para ser empleado en la elaboración del concreto debe cumplir con la norma NTE INEN 696. [37] Se especifican límites de porcentajes retenidos, para el caso los límites que se muestran son aptos para el tamaño nominal de partícula de 19 mm:

**Tabla 10.-** Límites Granulométricos del Agregado Grueso según INEN 872.

TAMIZ		% QUE PASA
ASTM	INEN	
1''	25.00 mm	100
3/4''	19.00 mm	90 – 100
1/2''	12.5mm	–
3/8''	9.5 mm	20 – 55
No. 4	4.75 mm	0 – 10
No. 8	2.36 mm	0 – 5

Fuente: NTE INEN 872.

La norma NTE INEN 696 especifica que la colocación de los tamices debe ser descendente. El tamaño de la muestra de agregado grueso mínimo tendrá un peso mínimo de 5 kg y recomendado no máximo de 10 kg. La muestra se tamiza y se registra el peso del material retenido en cada tamiz para el cálculo de los límites de porcentajes que pasa de cada fracción de material.

El tamaño máximo de partículas se considera como la abertura mínima del conjunto de tamices por el que pasará el 100% del agregado grueso.

El Tamaño Máximo Nominal (TMN) se determina identificando al tamiz anterior del tamiz que retiene el 15% o más de ese valor de material tamizado.

**Nota:** Al efectuar la mezcla existirán partículas de los agregados húmedas o parcialmente húmedas. Para evitarlo es recomendable que los agregados pétreos deben estar secos. Los agregados se deben, dejar durante 24 horas en un horno a temperatura de 110°C.

### 2.2.2.2. Densidad aparente de los agregados

La densidad aparente suelta y compactada del agregado fino y grueso cumplirán con la norma NTE INEN 858.

La norma establece el método de ensayo para la determinación de la masa unitaria (peso volumétrico), aplicables a áridos de tamaño máximo nominal de 125mm, en condición suelta y/o compactada tanto del agregado fino como del agregado grueso, la masa unitaria incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre sus partículas expresándose en kg/m<sup>3</sup>. [39]

$$DA = \frac{(\text{Masa del recipiente} + \text{Masa de la muestra}) - \text{Masa del recipiente}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Donde:

DA = Densidad aparente o compactada del agregado, kg/cm<sup>3</sup>

#### - Densidad aparente suelta

El procedimiento es en base a especificaciones de la norma ASTM C29 para el método por paladas, el resultado será la división de la masa del agregado para el volumen total del molde. En el caso de ambos agregados.

#### - Densidad aparente compactada

El procedimiento ASTM C29 para los agregados se realizará por el método de compactación por varillado y el resultado será la relación entre la masa del agregado y el volumen ocupado.

### 2.2.2.3. Densidad real y capacidad de absorción de los agregados

Los ensayos se rigen a las normas NTE INEN 856 para el agregado fino y NTE INEN 857 para el agregado grueso.

Las normas comprenden especificaciones para la determinación de la densidad promedio de un tamaño de muestra de agregado fino y/o de agregado grueso expresado en kg/cm<sup>3</sup>, no incluyendo al volumen de vacíos entre sus partículas, la densidad relativa en términos de superficie específica siendo adimensional y la capacidad de

absorción como secado al horno o saturada superficialmente expresada en porcentaje en porcentaje. [40]

Según la NTE INEN 694 los agregados de densidad normal que no tienen densidad alta ni baja se refieren a agregados con densidad relativa entre 2.4 y 3.0 o masa unitaria (peso volumétrico) 1120 kg/cm<sup>3</sup> y 1920 kg/cm<sup>3</sup>. [41] La densidad promedio y densidad relativa comprende al material después de ser secado al horno. La densidad promedio, la densidad relativa y la capacidad de absorción después de saturar al material en tiempo especificados.

### **Procedimiento:**

- i. Se prepara el material sumergiéndolo en agua por encima del nivel del material 24 ± 4 horas antes de realizar el ensayo, posteriormente se seca el agua superficial de la muestra de ensayo y finalmente se registra la masa del material en estado saturado superficie seca. Se determina el volumen de cada agregado mediante el método del desplazamiento del agua, después se realiza secado al horno de las muestras y se registra su masa.

En el caso del agregado fino se determina el volumen del material mediante el método del picnómetro o Le Chatelier. El volumen del agregado grueso se obtiene mediante el desplazamiento del agua. [42]

#### **2.2.2.4. Contenido de humedad de los agregados**

El ensayo de contenido de humedad se basa en una muestra normalizada en estado natural secada al horno hasta eliminar la humedad superficial y a humedad existente en sus poros”, el valor del agua evaporada se expresa en porcentaje en función de la masa seca. [43] Se calcula la humedad evaporada con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{100 * (W - D)}{D}$$

Donde:

P = Contenido total de humedad de la muestra de agregado en %.

W = Masa de la muestra en estado natural en g.

D = Masa de la muestra seca al horno en g. [44]

### 2.2.3. Dosificación del Hormigón

La dosificación elegida para los hormigones (HT y HCV) es por el Método de la Densidad Óptima, el mismo que tiene como fin el mínimo requerimiento de pasta de cemento sin arriesgar la calidad del hormigón mediante la combinación de agregados bien graduados que cuenten con el menor porcentaje de vacíos.

#### A. Condiciones de diseño

Para la fabricación del HT y HCV se tiene:

- ✓ Resistencia de diseño a compresión de 240 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad.
- ✓ Buena trabajabilidad y asentamiento de 8 cm.
- ✓ Tamaño máximo nominal del agregado grueso: 19 mm.

#### B. Requisitos preliminares de diseño Método Densidad Óptima

**Tabla 11.-** Ensayos preliminares Método de la Densidad Óptima

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Densidad real del cemento	DRC	2,870	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad real de la arena	DRA	2,420	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad real del ripio	DRR	2,600	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad aparente suelta de la arena	DSA	1,491	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad aparente suelta del ripio	DSR	1,612	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad aparente compactada de la arena	DCA	1,612	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad aparente compactada del ripio	DCR	1,488	kg/dm <sup>3</sup>
Porcentaje óptimo de la arena	POA	43,000	%
Porcentaje óptimo de ripio	POR	57,000	%
Densidad óptima de la mezcla	DOM	1,835	kg/dm <sup>3</sup>
Capacidad de absorción de la arena	CAA	1,629	%
Capacidad de absorción del ripio	CAR	3,210	%
Contenido de humedad de la arena	CHA	4,791	%
Contenido de humedad del ripio	CHR	1,920	%
Módulo de finura de la arena	MFA	2,430	%

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Una vez se obtienen los resultados de los ensayos de los componentes del hormigón inicia el procedimiento del método con:

### 2.2.3.1. Dosificación del Hormigón Tradicional (HT)

1. Densidad real de la mezcla de los agregados

$$\text{DRM} = \frac{\text{DRA} * \text{POA} + \text{DRR} * \text{POR}}{100}$$

$$\text{DRM} = \frac{2.420 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * (43\%) + 2.600 \text{gr}/\text{cm}^3 * (57\%)}{100}$$

$$\text{DRM} = 2.523 \text{ kg}/\text{cm}^3$$

Donde:

DRM = Densidad real de la mezcla de hormigón, en kg/m<sup>3</sup>

2. Porcentaje óptimo de vacíos

$$\text{POV} = \frac{\text{DRM} - \text{DOM}}{\text{DRM}} * 100$$

$$\text{POV} = \frac{2.523 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} - 1.835 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}}{2.523 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} * 100$$

$$\text{POV} = 27.258 \%$$

Donde:

POV = Porcentaje óptimo de vacíos que deben ser llenados por pasta de cemento, en %

3. Relación agua/cemento en función de la resistencia a compresión de diseño de 240 Kg/cm<sup>2</sup> esperada a los 28 días por lo que se emplea el factor 0.56.

**Tabla 12.-** Relación agua/cemento en función de la resistencia a compresión del hormigón.

<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN A 28 DÍAS (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>RELACIÓN AGUA/CEMENTO</b>
450	0.37
400	0.42
350	0.46
300	0.51
280	0.52
240	0.56
210	0.58
180	0.6

Fuente: Tesis de Caiza, K

4. Cantidad de pasta (CP) en porcentajes según el Asentamiento 6-9 cm equivalente a  $POV + 2\% + 8\%$  (POV). En base al tipo de construcción, apto para elementos estructurales.

**Tabla 13.-** Cantidad de pasta en porcentaje en función del asentamiento.

<b>ASENTAMIENTO (cm)</b>	<b>CANTIDAD DE PASTA CP (%)</b>
0 - 3	$POV + 2\% + 0.03$ (POV)
3 - 6	$POV + 2\% + 0.06$ (POV)
6 - 9	$POV + 2\% + 0.08$ (POV)
9 - 12	$POV + 2\% + 0.11$ (POV)
12 - 15	$POV + 2\% + 0.13$ (POV)

Fuente: Tesis de Caiza, K

$$CP = POV + 2\% + 0.08(POV)$$

$$CP = 27.258\% + 2\% + 0.08(27.258\%)$$

$$CP = 31.439\%$$



5. Para el volumen total del hormigón:

$$V_{TH} = CP * 1000 \text{ dm}^3$$

$$V_{TH} = 0.3143 * 1000 \text{ dm}^3$$

$$V_{TH} = 314.382 \text{ dm}^3$$

Donde:

CP = Cantidad de pasta, en  $\text{dm}^3$

**Nota:** El porcentaje obtenido y transformado es para una fracción del volumen total del hormigón.

**Cálculo de cantidades de cemento, agua, arena y grava para 1  $\text{m}^3$  de concreto:**

6. Cantidad de cemento (C):

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

$$C = \frac{314.382 \text{ dm}^3}{0.56 + \frac{1}{2.870 \text{ kg/dm}^3}}$$

$$C = 346.071 \text{ kg}$$

7. Cantidad de agua (W):

$$W = \frac{W}{C} \times C$$

$$W = 0.56 \times 346.071 \text{ kg}$$

$$W = 193.800 \text{ kg}$$

8. Cantidad de arena (A):

$$A = (1000 - CP) \times \frac{DRA \times POA}{100}$$

$$A = (1000 - 314.382 \text{ dm}^3) \times \frac{2.420 \text{ kg/dm}^3 \times 43}{100}$$

$$A = 713.454 \text{ kg}$$

9. Cantidad de ripio (R):

$$R = (1000 - CP) \times \frac{DRR \times POR}{100}$$

$$R = (1000 - 314.382 \text{ dm}^3) \times \frac{2.600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \times 57}{100}$$

$$R = 1016.086 \text{ kg}$$

### 2.2.3.1. Muestras o especímenes cilíndricos de hormigón

La fabricación, manejo y conserva de especímenes de hormigón se realizará en función de la norma NTE INEN 1576 que especifica el procedimiento normalizado, para moldes de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, de compactación por varillado para el caso.

La fabricación de probetas cilíndricas será de por 3 muestras debido a que para el ensayo de resistencia a compresión deben elaborarse de por lo menos 2 especímenes a la edad requerida según la NTE INEN 1855. [45] Sin sustitución del cemento tipo GU y con sustitución por ceniza volcánica en valores de 10%, 20% y 30 % por lo que se realizarán 12 probetas para cada edad de ensayo 7, 14, 21 y 28 días lo que resulta 48 probetas total a fabricarse. Según se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 14.-** Muestras totales a elaborarse

FACTOR DE ESTUDIO	EDADES	%	RÉPLICAS	SUBTOTAL
Porcentaje de incorporación de ceniza volcánica	7 días	0%	3	12
		10%	3	
		20%	3	
		30%	3	
	14 días	0%	3	12
		10%	3	
		20%	3	
		30%	3	
	21 días	0%	3	12

		10%	3	12	
		20%	3		
		30%	3		
	28 días	0%	3		
		10%	3		
		20%	3		
		30%	3		
	<b>Total de cilindros</b>				<b>48</b>

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

a) Se calcula el rendimiento de la mezcla mediante:

$$VAC = \frac{C}{DAC}$$

$$VAC = \frac{346.071 \text{ kg}}{1.5 \text{ kg/dm}^3}$$

$$VAC = 230.714 \text{ dm}^3$$

$$VAA = \frac{A}{DSA}$$

$$VAA = \frac{713.454 \text{ kg}}{1.491 \text{ kg/dm}^3}$$

$$VAA = 478.507 \text{ dm}^3$$

$$VAR = \frac{R}{DSR}$$

$$VAR = \frac{1016.086 \text{ kg}}{1.367 \text{ kg/dm}^3}$$

$$VAR = 743.296 \text{ dm}^3$$

$$R = \frac{1000 \text{ dm}^3}{W + VAC + VAA + VAR} \times 100$$

$$R = \frac{1000 \text{ dm}^3}{193.800 \text{ dm}^3 + 230.714 \text{ dm}^3 + 478.507 \text{ dm}^3 + 743.296 \text{ dm}^3} \times 100$$

$$R = 60.74 \%$$

Dónde:

R = Rendimiento de la mezcla en %

W = Cantidad de agua en Kg

VAC = Volumen aparente de cemento en dm<sup>3</sup>, recomendado 1.5 kg/dm<sup>3</sup>.

VAA = Volumen aparente de Arena en dm<sup>3</sup>

VAR = Volumen aparente de Ripio en dm<sup>3</sup>

DAC = Densidad aparente del cemento en Kg/dm<sup>3</sup>

DAA = Densidad aparente de la arena en Kg/dm<sup>3</sup>

DAR = Densidad aparente del Ripio en Kg/dm<sup>3</sup>

C, A y R = Cantidades de cemento, arena y ripio en Kg

**b) Dosificación del volumen de hormigón en función del número de cilindros por porcentaje de sustitución:**

$$Vr\% = \#Cilindros * (\pi * \frac{D_{cilindro}}{4} * h_{cilindro})$$

$$Vr\% = 15 * (\pi * \frac{(0.10 \text{ m})^2}{4} * 0.20 \text{ m})$$

$$Vr\% = 0.0236 \text{ m}^3$$

Donde:

Vr% = Volumen del hormigón en m<sup>3</sup>

D<sub>cilindro</sub> = Diámetro del cilindro en m

h<sub>cilindro</sub> = Altura del cilindro en m

**c) Volumen de hormigón finalmente requerido:**

$$Vfr = Vr\% * (1 + (1 - R))$$

$$Vfr = 0.03281 * (1 + (1 - 0.6074))$$

$$Vfr = 0.03281 \text{ m}^3$$

**d) Dosificación del hormigón para el volumen finalmente requerido:**

$$Dfr = \text{Dosificación al volumen} * Vfr$$

**Tabla 15.-** Dosificación al peso por parada de Hormigón Tradicional.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”				
<b>DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL F´C 240</b>				
<b>Realizado por:</b>	Ángela Sánchez	<b>Fecha:</b>	12/04/2022	
<b>VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA</b>				
Volumen por cilindro (m³)	0,0016			
Días de curado	7	14	21	28
Número de cilindros	3	3	3	3
Total, de cilindros por parada	15			
Volumen de Hormigón por parada (m³)	0,0236			
Volumen finalmente requerido (m³)	0.03281			
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA</b>				
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad necesaria por parada</b>		<b>Unidad</b>	
Agua	6,36		Lt	
Cemento	11,36		Kg	
Arena	23,41		Kg	
Ripio	33,34		Kg	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

- ✓ Corrección por humedad de agregados para condición (SSS) de saturación superficialmente seca en función del contenido de humedad y capacidad de absorción de ripio y arena:

$$CH_{\text{arena}} = A * \left( \frac{CAA - CHA}{100} \right)$$

$$CH_{\text{arena}} = 23.41 \text{ kg} * \left( \frac{1.63 - 4.791}{100} \right)$$

$$CH_{\text{arena}} = -0.74 \text{ kg}$$

$$CH_{\text{ripio}} = R * \left( \frac{CAR - CHR}{100} \right)$$

$$CH_{\text{ripio}} = 33.34 * \left( \frac{3.21 - 1.92}{100} \right)$$

$$CH_{\text{ripio}} = 0.43 \text{ kg}$$

Donde:

$CH_{arena}$  = Corrección por humedad de la arena, en kg

$CH_{ripio}$  = Corrección por humedad del ripio, en kg

CHA = Contenido de humedad de la arena, en %

CHR = Contenido de humedad del ripio, en %

CAA = Capacidad de absorción de la arena, en %

CAR = Capacidad de absorción del ripio, en %

**Tabla 16.-** Corrección por humedad

<b>DOSIFICACIÓN AL PESO DEL HORMIGÓN</b>						
Materiales	Capacidad de absorción (CA %)	Contenido de Humedad (CH %)	Corrección de Humedad		Cantidad corregida por parada	Unidad
			%	Kg		
Agua	-	-	-	-0,31	6,05	Lt
Cemento	-	-	-		11,36	Kg
Arena	1,63	4,791	-3,161	-0,74	24,15	Kg
Ripio	3,21	1,92	1,29	0,43	32,91	Kg

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 17.-** Cantidad de materiales para 12 cilindros de Hormigón Tradicional.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”					
<b>Realizado por:</b>	Ángela Sánchez		<b>Fecha:</b>	12/4/2022	
<b>DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL F´C 240</b> <b>VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA</b>					
Volumen por cilindro (m <sup>3</sup> )		0,0016			
Días de curado		7	14	21	28
Número de cilindros		3	3	3	3
Total, de cilindros por parada		15			
Volumen finalmente requerido (m <sup>3</sup> )		0,0328			
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA 0% DE CV</b>					
Materiales	Cantidad necesaria por parada		Unidad		
Agua	6,05		Lt		
Cemento	11,36		Kg		
Ceniza volcánica	0,00		Kg		
Arena	24,15		Kg		
Ripio	32,91		Kg		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 18.-** Cantidad de Materiales para 12 cilindros de Hormigón con 10% de adición de ceniza volcánica.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”					
<b>Realizado por:</b>	Ángela Sánchez		<b>Fecha:</b>	12/4/2022	
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL F´C 240					
VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA					
Volumen por cilindro (m <sup>3</sup> )		0,0016			
Días de curado		7	14	21	28
Número de cilindros		3	3	3	3
Total, de cilindros por parada		15			
Volumen finalmente requerido (m <sup>3</sup> )		0,0328			
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA CON 10% DE CV					
Materiales	Cantidad necesaria por parada		Unidad		
Agua	6,05		Lt		
Cemento	10,22		Kg		
Ceniza volcánica	1,14		Kg		
Arena	24,15		Kg		
Ripio	32,91		Kg		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez



**Tabla 19.-** Cantidad de Materiales para 12 cilindros de Hormigón con 20% de adición de ceniza volcánica.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”					
<b>Realizado por:</b>	Ángela Sánchez		<b>Fecha:</b>	12/4/2022	
<b>DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL F´C 240</b>					
<b>VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA</b>					
Volumen por cilindro (m <sup>3</sup> )		0,0016			
Días de curado		7	14	21	28
Número de cilindros		3	3	3	3
Total, de cilindros por parada		15			
Volumen finalmente requerido (m <sup>3</sup> )		0,0328			
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA CON 20 % DE CV</b>					
Materiales	Cantidad necesaria por parada		Unidad		
Agua	6,05		Lt		
Cemento	9,09		Kg		
Ceniza volcánica	2,27		Kg		
Arena	24,15		Kg		
Ripio	32,91		Kg		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 20.-** Cantidad de Materiales para 12 cilindros de Hormigón con 30% de adición de ceniza volcánica.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”					
<b>Realizado por:</b>	Ángela Sánchez		<b>Fecha:</b>	12/4/2022	
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN CONVENCIONAL F'c 240					
VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA					
Volumen por cilindro (m <sup>3</sup> )		0,0016			
Días de curado		7	14	21	28
Número de cilindros		3	3	3	3
Total, de cilindros por parada		15			
Volumen finalmente requerido (m <sup>3</sup> )		0,0328			
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA CON 30 % DE CV					
Materiales	Cantidad necesaria por parada		Unidad		
Agua	6,05		Lt		
Cemento	7,95		Kg		
Ceniza volcánica	3,41		Kg		
Arena	24,15		Kg		
Ripio	32,91		Kg		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

## CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Análisis y discusión de resultados

El presente trabajo experimental se realizó a partir de los ensayos para los agregados finos y gruesos, al igual que del cemento y ceniza volcánica.

#### 3.1.1. Caracterización física del cemento tipo GU y la ceniza volcánica

##### 3.1.1.1. Densidad Real del cemento y de la ceniza volcánica

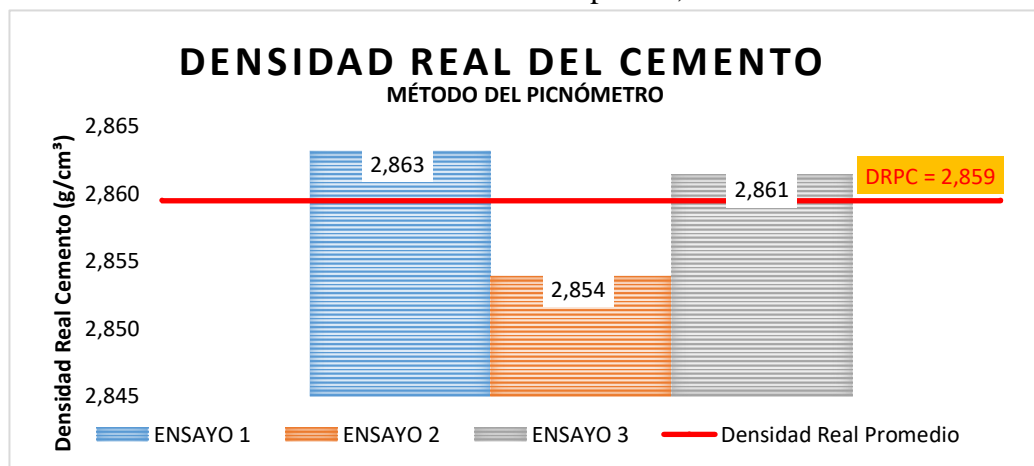
**Tabla 21.-** Densidad Real del Cemento hidráulico tipo GU

<b>MARCA Y TIPO DE CEMENTO:</b>		Holcim Tipo GU			
<b>ENSAYADO POR:</b>		Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>		8/12/2022
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 156			
<b>MÉTODO DEL PICNÓMETRO</b>					
<b>MASA DEL MUESTRA:</b>		64 g			
<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ENSAYO 1</b>	<b>ENSAYO 2</b>	<b>ENSAYO 3</b>
m1	Masa del picnómetro	gr	152,11	152,08	152,15
m2	Masa del picnómetro + cemento	gr	216,11	216,08	216,15
m3	Masa del picnómetro + cemento + gasolina	gr	570,18	570,23	570,21
m4 = m3-m2	Masa de gasolina añadida	gr	354,07	354,15	354,06
m5	Masa del picnómetro+500cm <sup>3</sup> gasolina	gr	522,75	522,86	522,79
m6 = m5-m1	Masa 500cm <sup>3</sup> gasolina	gr	370,64	370,78	370,64
dg = m6/500 m <sup>3</sup>	Densidad de la gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0,741	0,742	0,741
m7=m6-m4	Masa de la gasolina desplazada por el cemento	gr	16,57	16,63	16,58
mc=m2-m1	Masa del cemento	gr	64,00	64,00	64,00
VG=vc=m7/dg	Volumen de gasolina desalojada=volumen de cemento añadido	cm <sup>3</sup>	22,35	22,43	22,37

DRC = mc/vc	Densidad real del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	2,863	2,854	2,861
DRPC	Densidad real picnómetro cemento	gr/cm <sup>3</sup>	2,859		
<b>MÉTODO LE CHATELIER</b>					
DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Ma	Masa Frasco Le Chatelier + gasolina	gr	320,89	320,73	320,95
Ti	Temperatura Inicial del baño de agua	°C	24	24	24
Li	Volumen inicial del frasco	cm <sup>3</sup>	0,8	0,5	0,5
Mt	Masa Le Chatelier + gasolina + muestra	gr	384,09	384,3	384,2
Tf	Temperatura Final del baño de agua	°C	24	24	24
Lf	Volumen final del frasco	cm <sup>3</sup>	22,8	22,7	22,5
Mc = Mt - Ma	Masa de la muestra	gr	63,2	63,57	63,25
Vc = Lf - Li	Volumen de gasolina desplazada	cm <sup>3</sup>	22	22,2	22
ρ	Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	2,873	2,864	2,875
ρ (promedio)	Densidad Real Le Chatelier Cemento	gr/cm <sup>3</sup>	2,870		

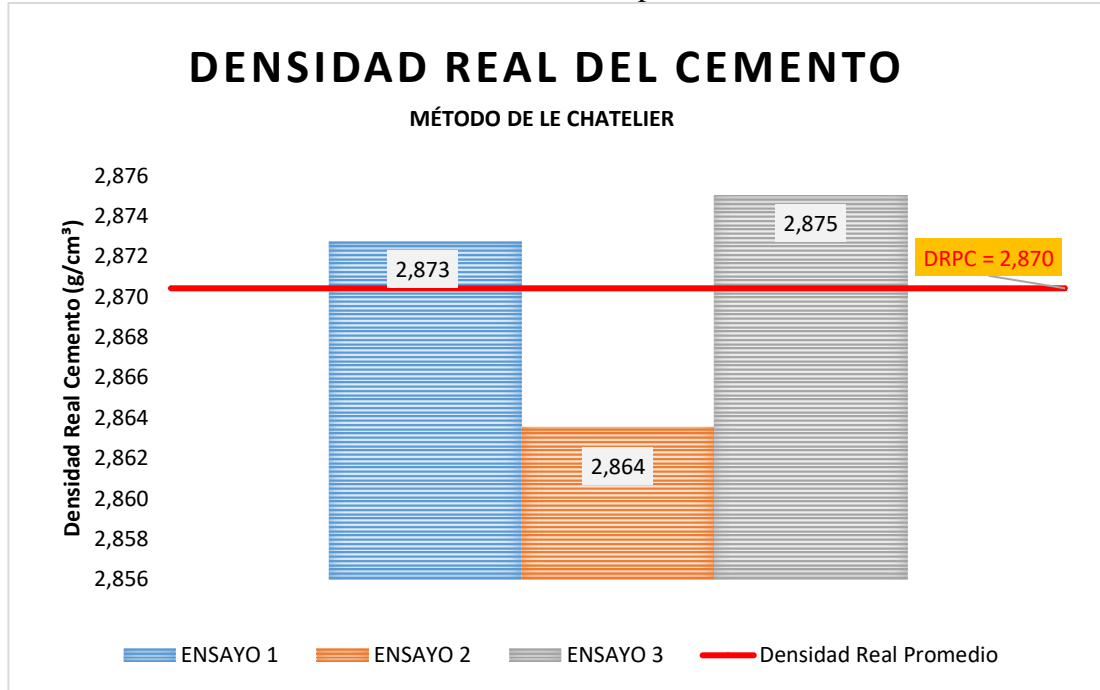
Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 1.-** Densidad real del cemento Tipo GU, Método del Picnómetro



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 2.-** Densidad real del cemento Tipo GU, Método Le Chatelier



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Análisis.** - Los ensayos de densidad real del cemento con el método de Le Chatelier en el primer, segundo y tercer ensayo resultaron en valores de 2.873 g/cm<sup>3</sup>, 2.864 g/cm<sup>3</sup> y 2.875 g/cm<sup>3</sup> respectivamente cuya variación entre ensayos no es mayor a 0.03 g/cm<sup>3</sup> acorde a lo estipulado en la norma.

El valor promedio obtenido en base a los ensayos realizados es de 2.870 g/cm<sup>3</sup>, resultado que se encuentra dentro del rango de 2.85g/cm<sup>3</sup> a 3.10 g/cm<sup>3</sup> obtenido de varias investigaciones realizadas a este material en el Laboratorio de Ingeniería Civil y Mecánica. Este valor dependerá de factores como lugar de extracción de los agregados y de la fabricación del material pese a compartir la misma marca comercial.

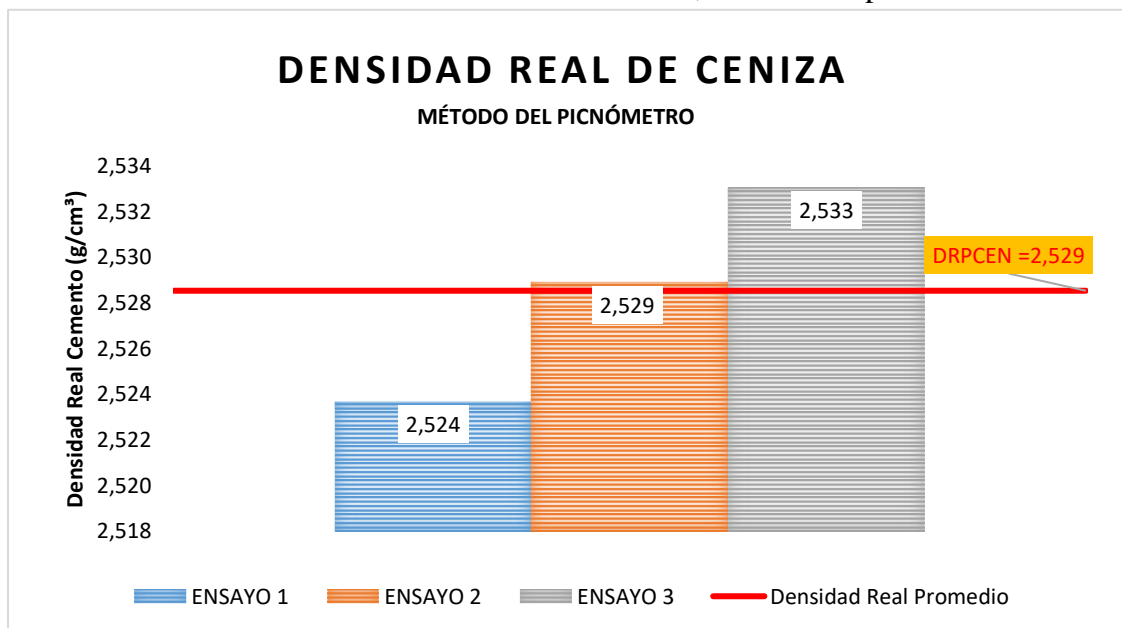
**Tabla 22.-** Densidad Real de la ceniza volcánica

<b>ORIGEN:</b>		Ceniza volcánica, Cantera Volcán			
<b>ENSAYADO POR:</b>		Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	10/12/202 2	
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 156			
<b>MÉTODO DEL PICNÓMETRO</b>					
<b>MASA DEL MUESTRA:</b>		55 g			
<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ENSAYO 1</b>	<b>ENSAYO 2</b>	<b>ENSAYO 3</b>
m1	Masa del picnómetro	gr	145,04	145,15	144,09
m2	Masa del picnómetro + ceniza	gr	201,33	200,98	201,14
m3	Masa del picnómetro + ceniza + gasolina	gr	554,49	554,06	554,76
m4 = m3-m2	Masa de gasolina añadida	gr	353,16	353,08	353,62
m5	Masa del pictómetro+500c m <sup>3</sup> gasolina	gr	514,69	514,54	514,39
m6 = m5-m1	Masa 500cm <sup>3</sup> gasolina	gr	369,65	369,39	370,3
dg = m6/500 m <sup>3</sup>	Densidad de la gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0,739	0,739	0,741
m7 = m6-m4	Masa de la gasolina desplazada por la ceniza	gr	16,49	16,31	16,68
mc = m2-m1	Masa de ceniza	gr	56,29	55,83	57,05
VG=vc=m7/dg	Volumen de gasolina desalojada=volumen de ceniza añadida	cm <sup>3</sup>	22,30	22,08	22,52
DRC = mc/vc	Densidad real de la ceniza	gr/cm <sup>3</sup>	2,524	2,529	2,533
DRPCEN	Densidad real picnómetro ceniza	gr/cm <sup>3</sup>	2,529		
<b>MÉTODO LE CHATELIER</b>					
<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ENSAYO 1</b>	<b>ENSAYO 2</b>	<b>ENSAYO 3</b>
Ma	Masa Frasco Le Chatelier + gasolina	gr	319,65	319,66	319,3
Ti	Temperatura Inicial del baño de agua	°C	24,1	24	24
Li	Volumen inicial del frasco	cm <sup>3</sup>	0,9	0,8	0,6

Mt	Masa Le Chatelier + gasolina + muestra	gr	374,39	374,53	374,15
Tf	Temperatura Final del baño de agua	°C	24,1	24	24
Lf	Volumen final del frasco	cm <sup>3</sup>	22,52	22,42	22,22
Mc = Mt - Ma	Masa de la muestra	gr	54,74	54,87	54,85
Vc = Lf - Li	Volumen de gasolina desplazada	cm <sup>3</sup>	21,62	21,62	21,62
ρ	Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	2,532	2,538	2,537
ρ (promedio)	Densidad Real Le Chatelier Ceniza	gr/cm <sup>3</sup>	2,536		

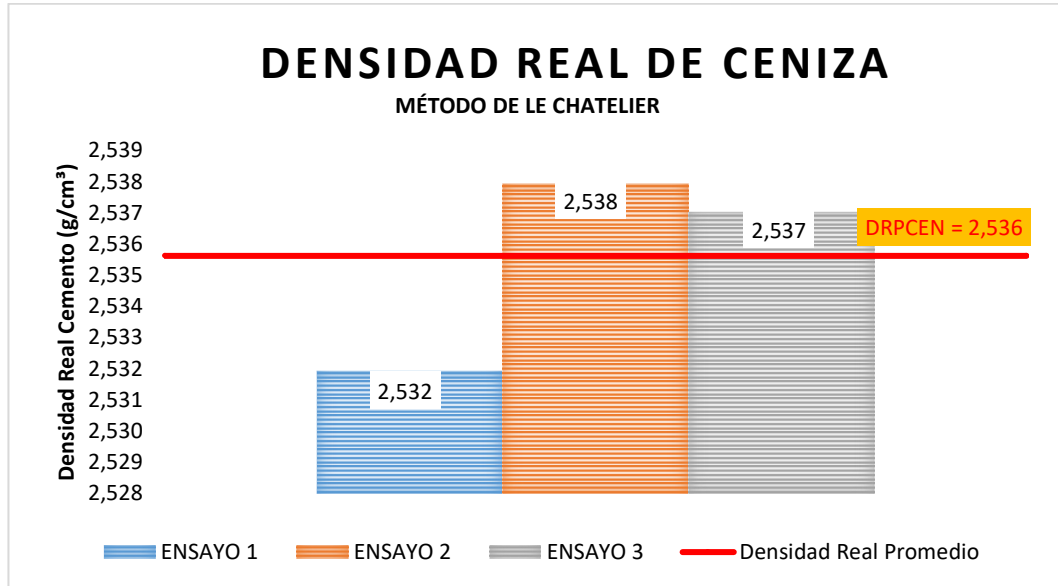
Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 3.-** Densidad real de ceniza volcánica, Método del picnómetro



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

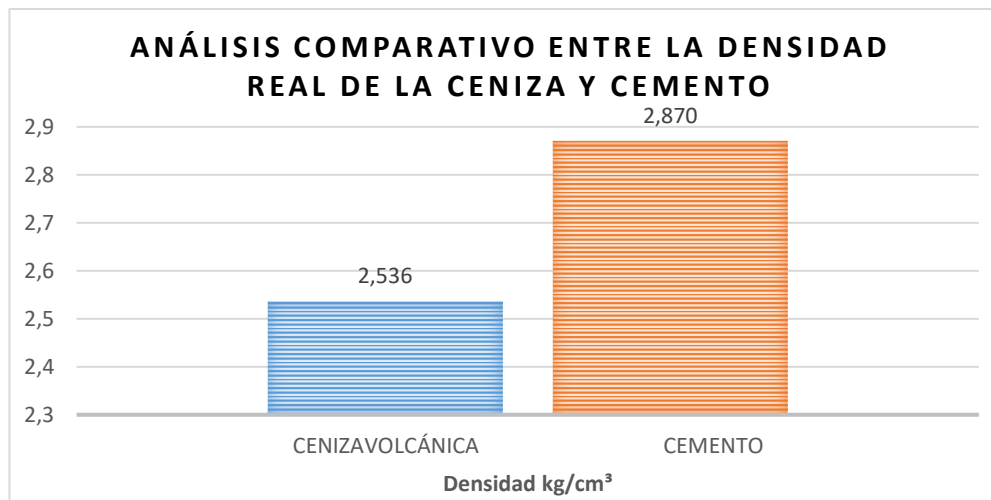
**Gráfico 4.** - Densidad real de ceniza volcánica, Método del picnómetro



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Análisis.** - Los ensayos de densidad real de la ceniza con el método de Le Chatelier en el primer, segundo y tercer ensayo resultaron valores de 2.532 g/cm<sup>3</sup>, 2.538 g/cm<sup>3</sup> y 2.537 g/cm<sup>3</sup> respectivamente cuya variación entre ensayos no es mayor a 0.03 g/cm<sup>3</sup> según lo estipula la norma como variación de control. El valor promedio obtenido en base a los ensayos realizados es de 2.536 g/cm<sup>3</sup> valor que se encuentra dentro del rango de 2.561 y 2.670 g/cm<sup>3</sup> aceptable. [46]

**Gráfico 5.-** Comparativo de la densidad real del cemento Tipo GU y la y de la ceniza volcánica



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Análisis.** - El esquema comparativo de densidades reales presenta que la ceniza con valor de 2.536 g/cm<sup>3</sup> y el cemento con 2.870 g/cm<sup>3</sup> tienen una diferencia entre sí de



0.234 g/cm<sup>3</sup> siendo el 8.15% de la masa del cemento debido a que la ceniza volcánica tiene la presencia de partículas bastante finas produciendo el desplazamiento del volumen que ocupa el líquido en mayor proporción para la misma cantidad de masa del cemento.

### **3.1.1.2. Determinación de la finura – Método Blaine**

El ensayo de finura se encuentra en función a lo especificado en la norma NTE INEN 196 para la calibración del equipo de Blaine, para la determinación de la finura del cemento tipo GU y finura de la ceniza volcánica y se lo realizó en el laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

**Tabla 23.-** Calibración del aparato de Blaine y preparación de la masa de muestra

<b>Calibración del aparato de Blaine y preparación de la masa de muestra</b>									
Tipo				Cemento Portland					
Marca				SRM 114q					
Fecha				14/12/2021					
<b>Volumen aparente de la camada compactada de polvo</b>									
Número de determinaciones del volumen aparente del cemento				<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
Temperatura al momento del ensayo (°C)				21,5		22		21,5	
WA: Gramos de mercurio para llenar la celda sin cemento				85,0407		85,1679		85,2582	
WB: Gramos de mercurio para llenar espacio de celda no ocupada por cemento				60,0363		60,2093		60,2062	
D: Densidad del mercurio a Temperatura del ensayo (mg/m <sup>3</sup> o g/cm <sup>3</sup> )				13,5425		13,54		13,5425	
V: Volumen aparente del cemento (cm <sup>3</sup> )				1,8464		1,8433		1,8499	
Promedio del Volumen aparente del cemento (cm <sup>3</sup> )				1,8465					
<b>Masa de la Muestra</b>									
D: Densidad de la muestra de ensayo (cemento portland 3.15 mg/m <sup>3</sup> o 3.15 g/cm <sup>3</sup> )				3,15					
V: Volumen aparente del cemento (cm <sup>3</sup> )				1,8465					
E: Porosidad deseada de la camada de cemento (0.500 ± 0.005)				0,5					
W: Peso de muestra requerida (g)				2,9083					
<b>Ensayo de calibración del Aparato de Permeabilidad al Aire (Blaine)</b>									
Número de Tiempos de flujo	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
T: Temperatura al momento del ensayo (°C)	20	20	20	21	21	21	23	23	23
Ts: Intervalo de tiempo medido (s)	85,77	85,58	85,73	84,7	84,77	84,96	85,56	85,63	85,79
Ts: Promedio del intervalo de tiempo medido (s)	85,69			84,81			85,66		
Ts: Promedio del intervalo de tiempo medido (s)	85,39								

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Se realiza la calibración del Aparato de Blaine mediante el cálculo del volumen aparente y la masa necesaria a compactar del cemento SRM 114q seguido del ensayo de permeabilidad determinando el promedio de un conjunto de tiempos medidos para cada camada de cemento (tres tiempos por camada, tres camadas realizadas). Promedio útil para determinar la finura del cemento Tipo GU y de ceniza volcánica, en términos de superficie específica. El peso de la muestra requerida es de 2.9083 g para ambos materiales y como dicha cantidad impide el cierre adecuado del émbolo con la cápsula la porosidad de ensayo cambia a 0.53 según la norma específica para dicho caso y la masa determinada para la misma es de 2.7338 g como se muestra a continuación:

- **Cálculo de la masa de cemento tipo GU necesaria:**

$$W = \rho V(1 - \epsilon)$$

$$W = 3.15 \frac{g}{cm^3} * 1.8465 cm^3(1 - 0.53)$$

$$W = 2.7338 g$$

**Tabla 24.-** Calibración del aparato de Blaine, Masa de la muestra

<b>Calibración del aparato de Blaine y preparación de la masa de muestra</b>	
Tipo	Cemento
Marca	HOLCIM TIPO GU
Fecha	14/12/2021
<b>Masa de la Muestra</b>	
D: Densidad de la muestra de ensayo (cemento portland 3.15 mg/m <sup>3</sup> o 3.15 g/cm <sup>3</sup> )	3,15
V: Volumen aparente del cemento (cm <sup>3</sup> )	1,8465
€: Porosidad deseada de la camada de cemento (0.500 ± 0.005)	0,53
W: Peso de muestra requerida (g)	<b>2,7338</b>

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

La finura del cemento tipo GU se obtiene como indica la norma y resulta para un ensayo:

$$S = \frac{S_s * \sqrt{T}}{\sqrt{T_s}}$$

$$S = \frac{381.38 \frac{m^2}{kg} * \sqrt{135.46 s}}{\sqrt{85.39 s}}$$

$$S = 480.89 m^2/kg$$

La tabla muestra la finura promedio del cemento tipo GU en términos de superficie específica de dos muestras consideradas y de tres tiempos cada una.

**TABLA 25.** Finura del cemento tipo GU

<b>FINURA DE CEMENTO HOLCIM TIPO GU</b>						
Ss: Superficie específica de la muestra normalizada m <sup>2</sup> /kg	381.8					
Ts: Intervalo de tiempo medido para la muestra normalizada (s)	85.39					
Número de tiempos de flujo	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Temperatura del ensayo (°C)	22	22	22	22	22	22
T: Intervalo de tiempo medido para la muestra de ensayo	135.46	136.29	135.78	142.45	143.07	143.2
S: Superficie específica de la muestra de ensayo m <sup>2</sup> /kg	480.89	482.36	481.46	493.14	494.21	494.44
S: Promedio de la superficie específica de la muestra de ensayo m <sup>2</sup> / kg	481.57			493.93		
S: Promedio de la superficie específica de la muestra de ensayo m <sup>2</sup> / kg	488					

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Basándose en la norma NTE INEN 196 la variación entre ensayos no debe ser mayor a 3.4% del promedio correspondiente a los mismos y deben ser realizados por un único operador, la validez de los resultados se determinó adecuada ya que se obtuvo en la primera camada ensayada porcentajes de variación entre ensayos de 0.14%, 0.16% y

0.02% y en la segunda camada 0.16%, 0.06% y 0.10%. Además, se determinó la superficie específica del cemento con valor de 488 m<sup>2</sup>/kg que es mayor a lo que dicta la norma NTE 152 como requisito mínimo de finura para cemento portland.

**- Finura de la ceniza volcánica**

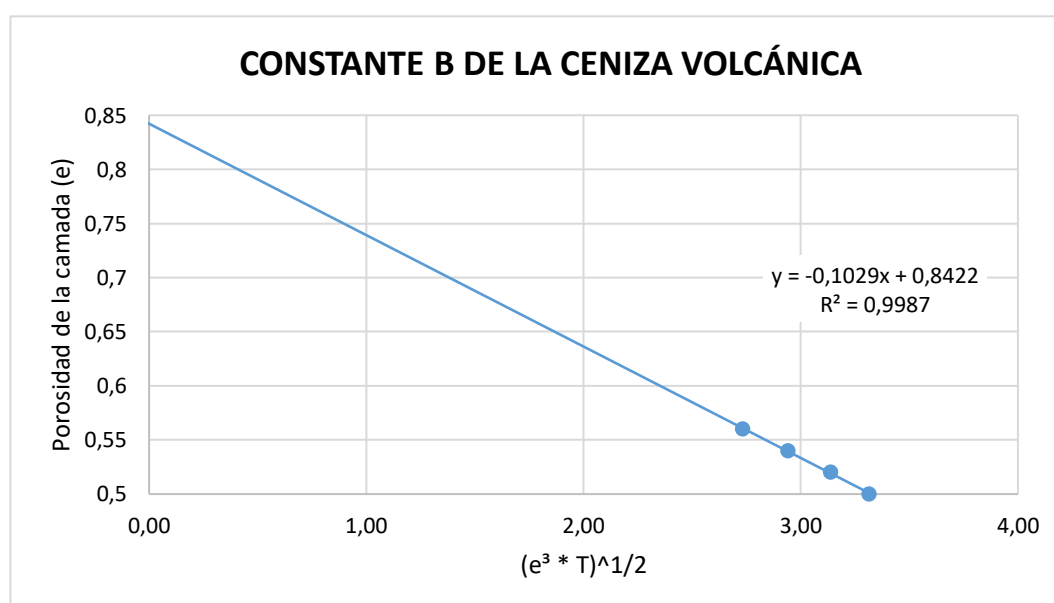
El ensayo de permeabilidad para la ceniza volcánica consiste en el empleo de una porosidad asumida que define el peso de camada, y son 4 necesarias para determinar el valor de una constante b requerida para suplicación en ecuaciones establecidas en la norma, en un rango de 0.02 que es menor a 0.06 como se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 26.-** Obtención de constante b requerida para la ceniza volcánica

<b>Densidad de la muestra (g/cm<sup>3</sup>):</b>		2.356			
<b>Volumen aparente (cm<sup>3</sup>):</b>		1.8465			
$\epsilon$	w (g)	T(s)			$\sqrt{\epsilon^3 T}$
		T1	T2	T3	
0.56	2.0604	42.30	42.87	42.56	2.7344
0.54	2.1541	55.17	54.85	54.99	2.9430
0.52	2.2477	70.06	70.19	69.99	3.1391
0.50	2.3414	88.17	88.04	87.68	3.3159

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 6.-** Constante b del ensayo de finura de la ceniza volcánica



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 27.-** Datos requeridos para la determinación de la finura de la ceniza volcánica

D: Densidad de la muestra (normalizada g/cm <sup>3</sup> )	3.15
Ss: Superficie específica de la muestra normalizada m <sup>3</sup> /kg	381.8
Ts: Intervalo de tiempo medido para la muestra normalizada (s)	85.39
bs: Constante b (muestra normalizada)	0.90
es: Porosidad (camada de calibración)	0.50

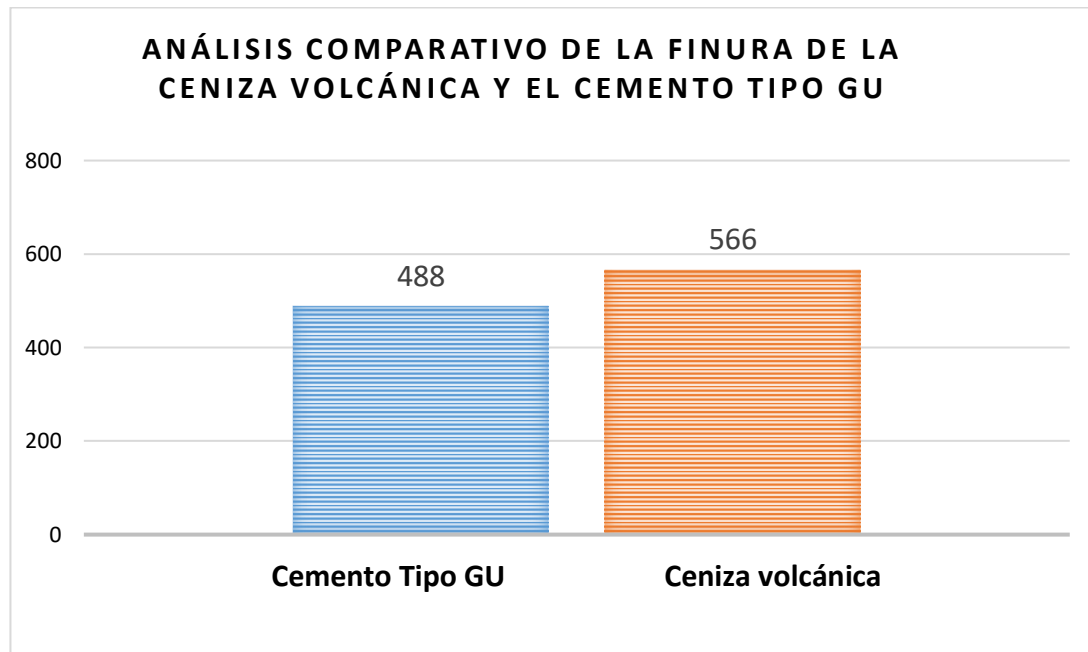
Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 28.-** Obtención de la finura de la ceniza volcánica

<b>Finura de ceniza volcánica</b>			
D: Densidad de la muestra (g/cm <sup>3</sup> )	2.536		
b: Constante b de la camada de ceniza	0.8422		
ε: Porosidad de la muestra	0.52		
Número de tiempos de flujo	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Temperatura del ensayo (°C)	21	21	21
T: Intervalo de tiempo medido para la muestra de ensayo	70.06	70.19	69.99
S: Superficie específica de la muestra de ensayo m <sup>2</sup> /kg	565.61	566.13	565.32
S: Promedio de la superficie específica de la muestra de ensayo m <sup>2</sup> / kg	566		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 7.-** Comparativo de la finura del cemento y la ceniza volcánica



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Análisis.** – Mediante la aplicación de la norma NTE-INEN 196, se obtuvo en términos de superficie específica la finura del cemento tipo GU con un valor de 488m<sup>2</sup>/Kg y de ceniza volcánica un valor de 566 m<sup>2</sup>/Kg. Por lo que se puede decir que la ceniza presenta un mayor valor de finura debido a que la cantidad y tamaño de sus poros entre sus partículas aumentan su área superficial.

### 3.1.1.3. Determinación del tiempo de fraguado inicial y final

El ensayo para la determinación del tiempo de fraguado inicial y final se elaboró según la norma NTE INEN 158 para pastas de cemento y cemento con ceniza incorporadas parcialmente en porcentajes de 10, 20 y 30 de sustitución de la masa del cemento. La norma detalla que las muestras a ensayar deben cumplir una consistencia normal de 10 mm  $\pm$  1 mm de penetración de la aguja del aparato manual de Vicat.

**Tabla 29.-** Obtención de la consistencia normal de las pastas de cemento y de cemento con ceniza volcánica

Tipo de mezclado	Porcentaje de sustitución (%)	Masa del Cemento (g)	Masa de Ceniza (g)	Masa de Agua (g)	Penetración (mm)	Consistencia normal (%)
Mecánico	0	650	0	200	10	30,8%
Mecánico	10	585	65	180	10	27,7%
Mecánico	20	520	130	177	10	27,2%
Mecánico	30	455	195	169	10	26,0%

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

El porcentaje de sustitución de cemento por ceniza volcánica es progresivo como se muestra en la Tabla 26 y la demanda de agua va en consecuente disminución en función al porcentaje de incorporación de ceniza debido a la morfología sus partículas y a la reacción de la hidratación del cemento haciendo que se rellenen los espacios vacíos de forma lenta y con bajo calor de hidratación.

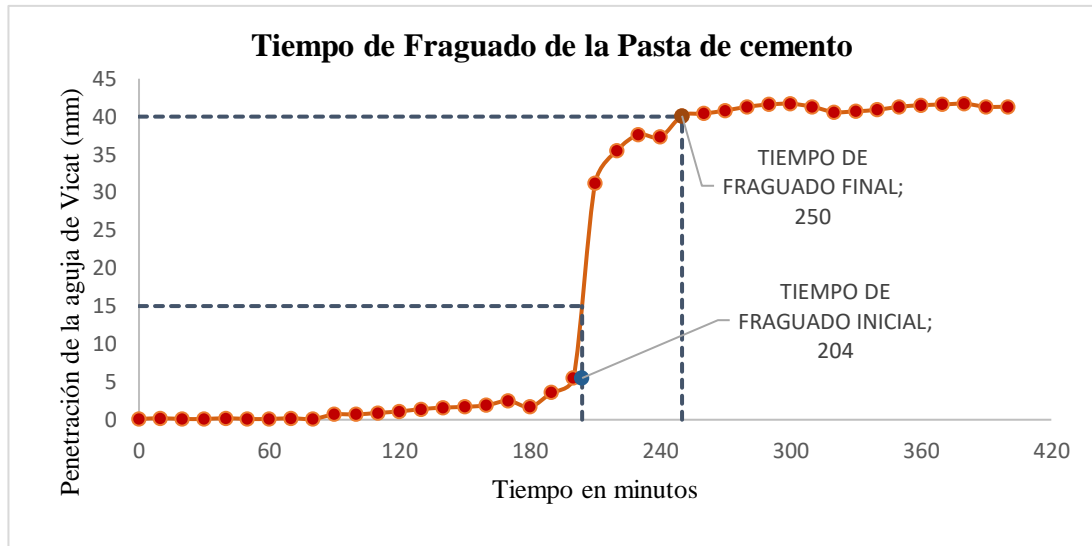
**Tabla 30.-** Ensayo de fraguado de la pasta de cemento (0 % de ceniza volcánica)

DATOS DE ENSAYO DE VICAT CON 0% CENIZA		
Lectura del aparato automático de Vicat para la mezcla de cemento con 0% de ceniza		
Cemento:	650	g
Ceniza Volcánica:	0	%
Agua:	200	g
Consistencia:	30.77	%
Lectura de primera penetración >25mm C	5.5	mm
Tiempo de la primera penetración >25mm E	200	min
Lectura de última penetración <25mm D	31.2	mm
Tiempo de la última penetración <25mm H	210	min
Tiempo de fraguado inicial	204	min
Tiempo de fraguado final	250	min

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez



**Gráfico 8.-** Tiempo de fraguado de la pasta de cemento



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

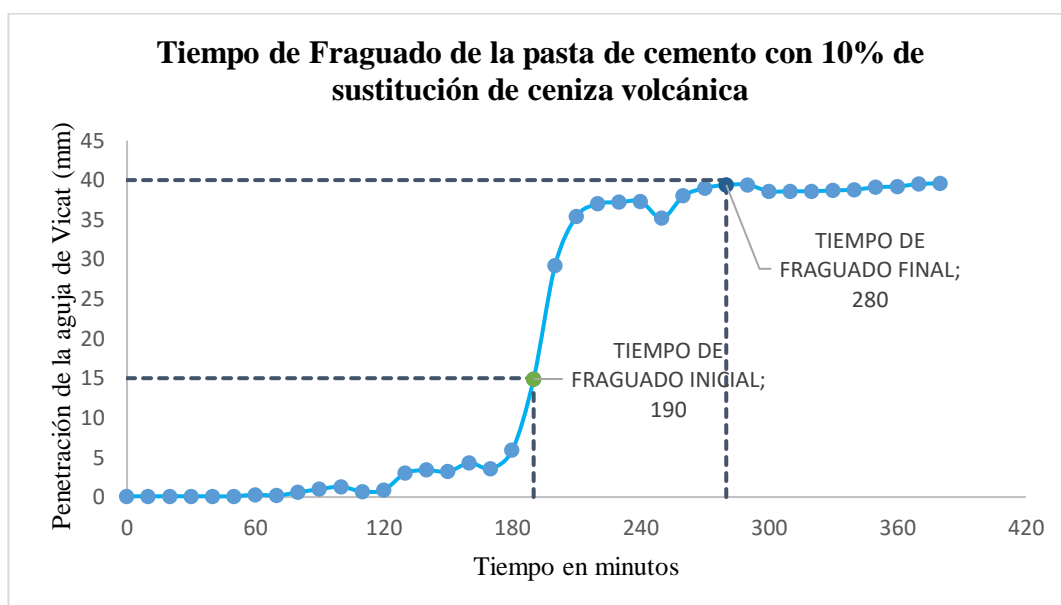
**Análisis.** -Se muestra en el gráfico el registro de penetración de la aguja de Vicat en la pasta de solo cemento, el tiempo de fraguado inicial de 204 minutos equivalente a 3 horas y 24 minutos. El fraguado final de 250 minutos igual a 4 horas y 10 minutos. El registro considerado por el aparato automático de Vicat del fraguado inicial se da cuando la aguja penetra 25 mm desde la superficie libre de la pasta y al fraguado final cuando la aguja del aparato no deja marca sobre el área de la mezcla endurecida. Los tiempos obtenidos se encuentran dentro de los indicadores recomendados de la norma NTE INEN 2380 ya que el tiempo de fraguado inicial es mayor a 45 minutos y el tiempo de fraguado final no es mayor a 420 minutos.

**Tabla 31.-** Ensayo de fraguado de la pasta con 10 % de ceniza volcánica

DATOS DE ENSAYO DE VICAT CON 10% CENIZA		
Lectura del aparato automático de Vicat para la mezcla de cemento con 10% de ceniza		
Cemento:	585	g
Ceniza Volcánica:	65	%
Agua:	180	g
Consistencia:	27.69	%
Lectura de primera penetración >25mm C	14.9	mm
Tiempo de la primera penetración >25mm E	190	min
Lectura de última penetración <25mm D	29.2	mm
Tiempo de la última penetración <25mm H	200	min
Tiempo de fraguado inicial	190	min
Tiempo de fraguado final	280	min

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 9.-** Tiempo de fraguado de la pasta con 10 % de ceniza volcánica



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Análisis.** - Se muestra en el gráfico el registro de la penetración de la aguja del aparato automático de Vicat en la pasta con el 10% de sustitución de cemento por ceniza volcánica, el tiempo de fraguado inicial de 190 minutos equivalente a 3 horas y 10 minutos. El fraguado final de 280 minutos igual a 4 horas y 40 minutos. El registro considerado por el aparato automático de Vicat del fraguado inicial se da cuando la aguja penetra 25 mm desde la superficie libre de la pasta y al fraguado final cuando la aguja del aparato no deja marca sobre el área de la mezcla endurecida. Los tiempos de fraguado obtenidos se ubican dentro de parámetros recomendados que dicta la norma NTE INEN 2380 ya que el fraguado inicial es mayor a 45 minutos y el fraguado final no supera los 420 minutos.

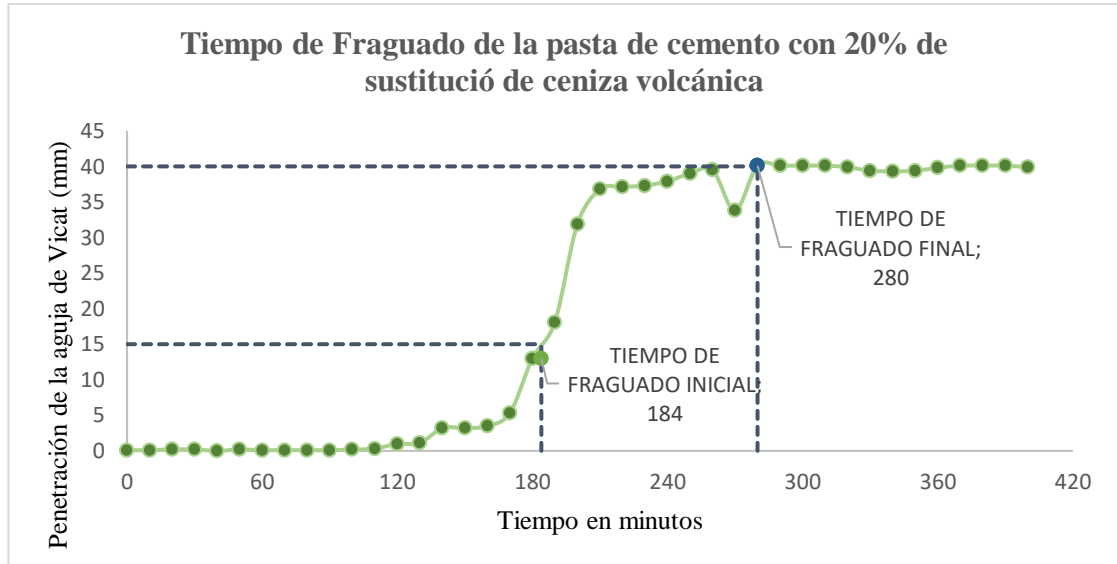
**Tabla 32.-** Ensayo de fraguado de la pasta con 20 % de ceniza volcánica

DATOS DE ENSAYO DE VICAT CON 20% CENIZA		
Lectura del aparato automático de Vicat para la mezcla de cemento con 20% de ceniza		
Cemento:	520	g
Ceniza Volcánica:	130	%
Agua:	177	g
Consistencia:	27.23	%
Lectura de primera penetración >25mm C	13	mm
Tiempo de la primera penetración >25mm E	180	min
Lectura de última penetración <25mm D	18.1	mm

Tiempo de la última penetración <25mm H	190	min
Tiempo de fraguado inicial	184	min
Tiempo de fraguado final	280	min

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 10.-** Tiempo de fraguado de la pasta con 20% de ceniza volcánica



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

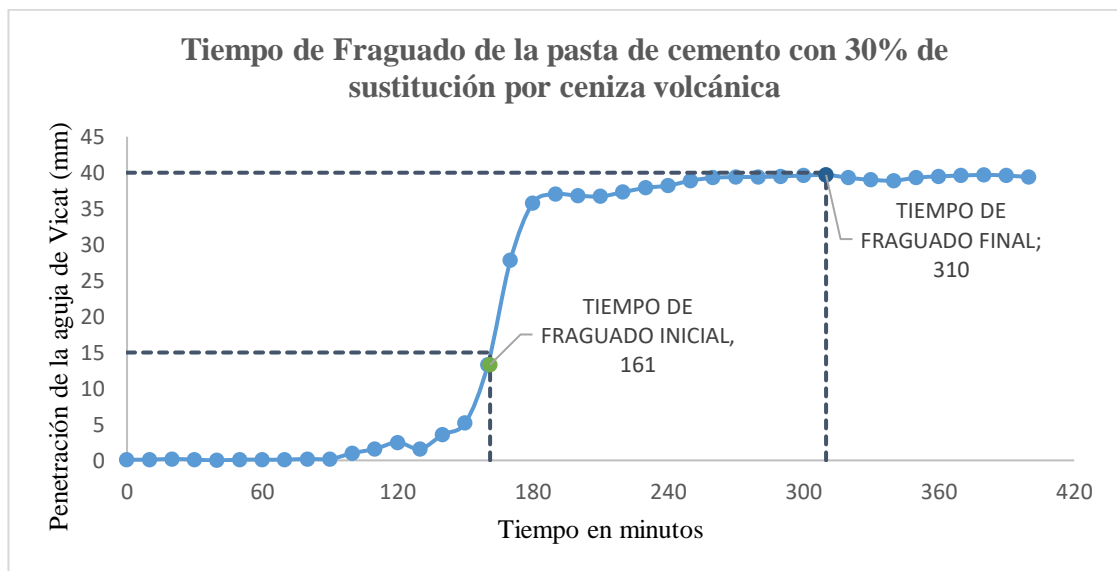
**Análisis.** -Se muestra en el gráfico el registro de la penetración de la aguja del aparato automático de Vicat en la pasta con el 20% de sustitución de cemento por ceniza volcánica, el tiempo de fraguado inicial marca 184 minutos equivalente a 3 horas y 4 minutos. El registro considerado por el aparato automático de Vicat del fraguado inicial se da cuando la aguja penetra 25 mm desde la superficie libre de la pasta y al fraguado final cuando la aguja del aparato no deja marca sobre el área de la mezcla endurecida. Los tiempos obtenidos se ubican dentro de parámetros recomendados que dicta la norma NTE INEN 2380 ya que el tiempo de fraguado inicial es mayor a 45 minutos y el fraguado final menor a 420 minutos.

**Tabla 33.** Ensayo de fraguado de la pasta con 30 % de ceniza volcánica

DATOS DE ENSAYO DE VICAT CON 30% CENIZA		
Lectura del aparato automático de Vicat para la mezcla de cemento con 30% de ceniza		
Cemento:	455	g
Ceniza Volcánica:	195	%
Agua:	169	g
Consistencia:	26	%
Lectura de primera penetración >25mm C	13.3	mm
Tiempo de la primera penetración >25mm E	160	min
Lectura de última penetración <25mm D	27.8	mm
Tiempo de la última penetración <25mm H	170	min
Tiempo de fraguado inicial	161	min
Tiempo de fraguado final	310	min

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 11.-** Tiempo de fraguado de la pasta con 30% de ceniza volcánica



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Análisis.** - Se muestra en el gráfico el registro de la penetración de la aguja del Aparato de Vicat en la pasta con 30% de sustitución de cemento por ceniza volcánica donde el fraguado inicial se da al penetrar 25 mm desde la superficie libre, el tiempo de fraguado inicial marca 161 minutos equivalente a 2 horas y 41 minutos. El fraguado final de 310 minutos igual a 5 horas y 10 minutos. El registro considerado por el aparato automático de Vicat del fraguado inicial se da cuando la aguja penetra 25 mm desde la superficie libre de la pasta y al fraguado final cuando la aguja del aparato no deja marca sobre el

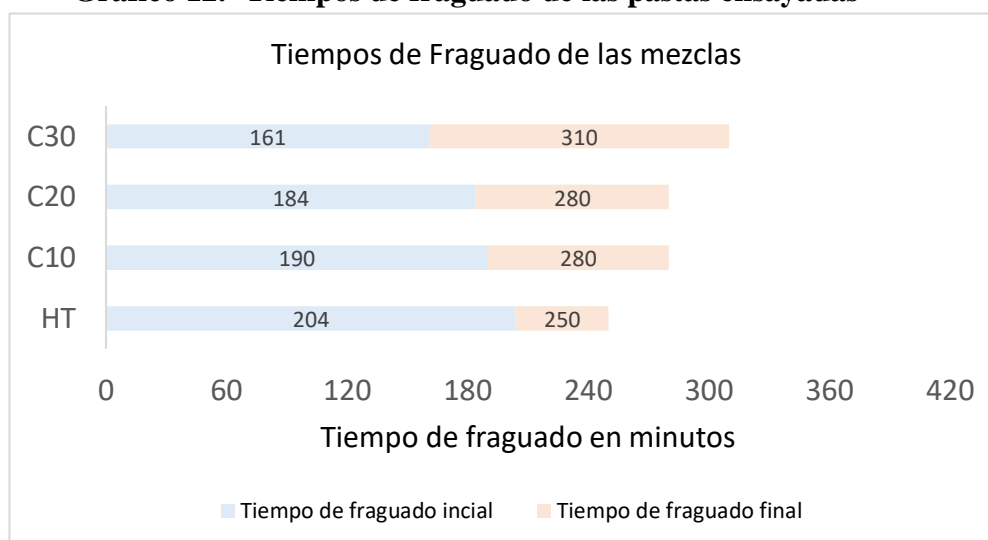
área de la mezcla endurecida. Los tiempos obtenidos se ubican dentro de parámetros recomendados que dicta la norma NTE INEN 2380 ya que el tiempo inicial es mayor a 45 minutos y el tiempo de fraguado final no supera los 420 minutos.

**Tabla 34.-** Tiempos de fraguado de las pastas:

Porcentaje sustitución (%)	Consistencia (%)	Tiempo de Fraguado Inicial (min)	Tiempo de fraguado final (min)
0	30,77	204	250
10	27,69	190	280
20	27,23	184	280
30	26,00	161	310

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 12.-** Tiempos de fraguado de las pastas ensayadas



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Análisis.** - Como se evidencia en el gráfico el tiempo de fraguado inicial que presentó la pasta de cemento sin incorporación de ceniza volcánica fue de 204 minutos y es el tiempo más prolongado de todas las muestras de ensayo, el tiempo de fraguado final de la misma pasta resultó ser el más corto (a los 250 minutos). Se pudo observar que a medida que aumente el porcentaje de incorporación de ceniza se reduce el tiempo de fraguado inicial de las pastas en un promedio aproximado de 15 minutos e incrementa en 30 minutos el tiempo de fraguado final, no obstante, cada una las muestras cumplen con requisitos de la norma NTE INEN 2380.



### **3.1.2. Propiedades del hormigón en estado fresco**

#### **3.1.2.1. Densidad del hormigón en estado fresco**

**Tabla 35.-** Densidad del hormigón tradicional de  $f'c$  240 kg/cm<sup>2</sup> en estado fresco

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
<b>TIPO:</b>			Hormigón Tradicional				<b>FECHA:</b>		12/04/2022		
<b>ENSAYADO POR:</b>			Ángela Sánchez Muñoz				<b>NORMA:</b>		ASTM C 138 - NTE INEN 1578		
DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO											
Edad (días)	Nombre del Molde	Diámetro del Molde (m)	Altura del Molde (m)	Área del Molde (m <sup>2</sup> )	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
7	HT1-0% CE	10	20	0,0079	7,740	11,252	3,512	0,0016	6,0	2235,80	2234,86
	HT2-0% CE	10	20	0,0079	7,713	11,227	3,514	0,0016		2237,08	
	HT3-0% CE	10	20	0,0079	7,726	11,241	3,515	0,0016		2237,71	
14	HT4-0% CE	10	20	0,0079	7,693	11,181	3,488	0,0016		2220,52	
	HT5-0% CE	10	20	0,0079	7,736	11,241	3,505	0,0016		2231,35	
	HT6-0% CE	10	20	0,0079	7,742	11,254	3,512	0,0016		2235,80	
21	HT7-0% CE	10	20	0,0079	7,721	11,218	3,497	0,0016		2226,25	
	HT8-0% CE	10	20	0,0079	7,722	11,211	3,489	0,0016		2221,16	
	HT9-0% CE	0,104	0,203	0,0085	5,036	8,919	3,883	0,0017		2251,72	
28	HT10-0% CE	0,104	0,203	0,0085	4,713	8,577	3,864	0,0017		2240,70	
	HT11-0% CE	0,104	0,203	0,0085	4,717	8,696	3,979	0,0017		2307,39	
	HT12-0% CE	0,104	0,203	0,0085	4,837	8,584	3,747	0,0017		2172,85	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Análisis.** - Para el ensayo de densidad del hormigón tradicional en estado fresco según la norma ASTM C 138 se obtuvo un valor de 2234.86 kg/m<sup>3</sup> que supera los 2160 kg/m<sup>3</sup> especificados en la ACI 318-19 para el mismo tipo de hormigón. En la determinación del asentamiento según la NTE INEN 1578 se obtuvo un revenimiento de 6,0 cm que se encuentra en el rango de diseño de  $8 \pm 2.5$  cm.



**Tabla 36.-** Densidad en estado fresco del hormigón de f'c 240 kg/cm<sup>2</sup> incorporado el 10% de ceniza volcánica

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
<b>TIPO:</b>			Hormigón T. con 10% de Ceniza				<b>FECHA:</b>		12/04/2022		
<b>ENSAYADO POR:</b>			Ángela Sánchez Muñoz				<b>NORMA:</b>		ASTM C 138 - NTE INEN 1578		
DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO											
Edad (días)	Nombre del Molde	Diámetro del Molde (m)	Altura del Molde (m)	Área del Molde (m <sup>2</sup> )	Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
7	HC1-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,735	11,257	3,522	6,5	2242,17	2228,48
	HC2-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,713	11,195	3,482		2216,70	
	HC3-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,715	11,205	3,490		2221,80	
14	HC4-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,714	11,189	3,475		2212,25	
	HC5-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,654	11,183	3,529		2246,63	
	HC6-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,745	11,228	3,483		2217,34	
21	HC7-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,71	11,21	3,500		2228,16	
	HC8-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,726	11,227	3,501		2228,80	
	HC9-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,71	11,222	3,512		2235,80	
28	HC10-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,72	11,219	3,499		2227,53	
	HC11-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,711	11,226	3,515		2237,71	
	HC12-10% CE	10	20	0,0079	0,0016	7,72	11,218	3,498		2226,89	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Para el ensayo de densidad del hormigón tradicional con 10% de ceniza en estado fresco según la norma ASTM C 138 se obtuvo un valor de 2228.48 kg/m<sup>3</sup> que supera los 2160 kg/m<sup>3</sup> especificados en la ACI 318-19 para el mismo tipo de hormigón. En la determinación del asentamiento según la NTE INEN 1578 se obtuvo un revenimiento de 6,5 cm que se encuentra en el rango de diseño de  $8 \pm 2.5$  cm.

**Tabla 37.-** Densidad en estado fresco del hormigón de f'c 240 kg/cm<sup>2</sup> incorporado el 20% de ceniza volcánica

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>											
<b>Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”</b>											
<b>TIPO:</b>			Hormigón T. con 20% de Ceniza				<b>FECHA:</b>		13/04/2022		
<b>ENSAYADO POR:</b>			Ángela Sánchez Muñoz				<b>NORMA:</b>		ASTM C 138 - NTE INEN 1578		
<b>DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</b>											
Edad (días)	Nombre del Molde	Diámetro del Molde (m)	Altura del Molde (m)	Área del Molde (m <sup>2</sup> )	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
7	HC1-20% CE	10	20	0,0079	7,686	11,179	3,493	0,0016	7.0	2223,71	2217,10
	HC2-20% CE	10	20	0,0079	7,728	11,182	3,454	0,0016		2198,88	
	HC3-20% CE	10	20	0,0079	7,712	11,17	3,458	0,0016		2201,43	
14	HC4-20% CE	10	20	0,0079	7,716	11,212	3,496	0,0016		2225,62	
	HC5-20% CE	10	20	0,0079	7,749	11,243	3,494	0,0016		2224,34	
	HC6-20% CE	10	20	0,0079	7,723	11,197	3,474	0,0016		2211,61	
21	HC7-20% CE	10	20	0,0079	7,718	11,211	3,493	0,0016		2223,71	
	HC8-20% CE	10	20	0,0079	7,717	11,187	3,470	0,0016		2209,07	
	HC9-20% CE	10,4	20,3	0,0085	5,119	8,948	3,829	0,0017		2220,40	
28	HC10-20% CE	10,4	20,3	0,0085	4,718	8,558	3,840	0,0017		2226,78	
	HC11-20% CE	10,4	20,3	0,0085	4,678	8,508	3,830	0,0017		2220,98	
	HC12-20% CE	10,4	20,3	0,0085	4,795	8,621	3,826	0,0017		2218,66	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Para el ensayo de densidad del hormigón tradicional con 20% de ceniza en estado fresco según la norma ASTM C 138 se obtuvo un valor de 2217.10 kg/m<sup>3</sup> que supera los 2160 kg/m<sup>3</sup> especificados en la ACI 318-19 para el mismo tipo de hormigón. En la determinación del asentamiento según la NTE INEN 1578 se obtuvo un revenimiento de 6,0 cm que se encuentra en el rango de diseño de 8 ± 2.5 cm.

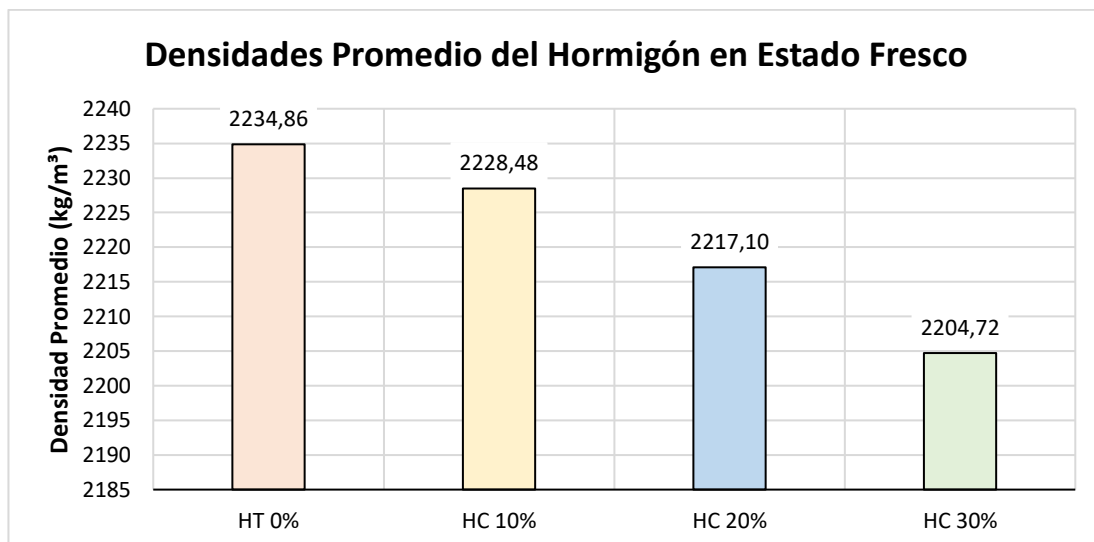
**Tabla 38.-** Densidad en estado fresco del hormigón de f'c 240 kg/cm<sup>2</sup> incorporado el 30% de ceniza volcánica

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>											
<b>Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”</b>											
<b>TIPO:</b>			Hormigón T. con 30% de Ceniza				<b>FECHA:</b>		13/04/2022		
<b>ENSAYADO POR:</b>			Ángela Sánchez Muñoz				<b>NORMA:</b>		ASTM C 138 - NTE INEN 1578		
<b>DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</b>											
Edad (días)	Nombre del Molde	Diámetro del Molde (m)	Altura del Molde (m)	Área del Molde (m <sup>2</sup> )	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
7	HC1-30% CE	10	20	0,0079	7,715	11,201	3,486	0,0016	7,0	2219,25	2204,72
	HC2-30% CE	10	20	0,0079	7,701	11,161	3,46	0,0016		2202,70	
	HC3-30% CE	10	20	0,0079	7,732	11,213	3,481	0,0016		2216,07	
14	HC4-30% CE	10	20	0,0079	7,739	11,203	3,464	0,0016		2205,25	
	HC5-30% CE	10	20	0,0079	7,711	11,193	3,482	0,0016		2216,70	
	HC6-30% CE	10	20	0,0079	7,644	11,107	3,463	0,0016		2204,61	
21	HC7-30% CE	10	20	0,0079	7,728	11,212	3,484	0,0016		2217,98	
	HC8-30% CE	10	20	0,0079	7,749	11,172	3,423	0,0016		2179,14	
	HC9-30% CE	10	20	0,0079	7,739	11,191	3,452	0,0017		2197,61	
28	HC10-30% CE	10	20	0,0079	7,739	11,201	3,462	0,0017		2203,97	
	HC11-30% CE	10	20	0,0079	7,726	11,184	3,458	0,0017		2201,43	
	HC12-30% CE	10	20	0,0079	7,714	11,157	3,443	0,0017		2191,88	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Para el ensayo de densidad del hormigón tradicional con 30% de ceniza en estado fresco según la norma ASTM C 138 se obtuvo un valor de 2204.72 kg/m<sup>3</sup> que supera los 2160 kg/m<sup>3</sup> especificados en la ACI 318-19 para el mismo tipo de hormigón. En la determinación del asentamiento según la NTE INEN 1578 se obtuvo un revenimiento de 7,0 cm que se encuentra en el rango de diseño de 8 ± 2.5 cm.

**Gráfico 13.-** Análisis de las densidades promedio de las mezclas de hormigón en estado fresco



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

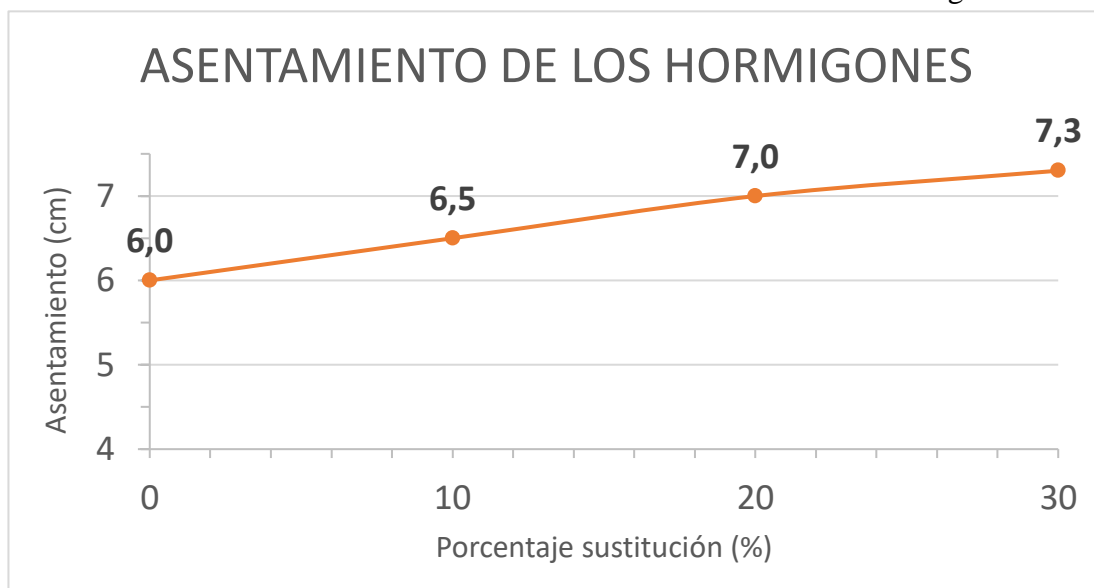
El hormigón tradicional que se utilizó como mezcla de control tuvo una densidad promedio en estado fresco de 2234.86 kg/m<sup>3</sup> mientras que las mezclas con 10%, 20% y 30% obtuvieron valores de 2228.48, 2217.10 y 2204.72 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. La mayor densidad corresponde a la mezcla HT 0% de ceniza volcánica que es superior en un 0,29% que el hormigón HC 10% debido a que la gravedad específica del cemento es mayor que la de la ceniza volcánica.

**Tabla 39.-** Asentamiento, trabajabilidad y consistencia en estado fresco de las mezclas de Hormigón

Nombre de Probeta	Asentamiento (cm)	Consistencia (EHE-08)
HT 0%	6,0	Blanda
HC 10%	6,5	Blanda
HC 20%	7,0	Blanda
HC 30%	7,0	Blanda

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 14.-** Resumen de asentamientos de las mezclas de hormigón



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Análisis.** - De acuerdo a la tabla 36 y gráfico 13, los resultados que se obtuvieron con respecto al asentamiento del hormigón tradicional (6,0 cm) y el hormigón con 10% (6,5 cm), 20% (7,0 cm) y 30% (7,0 cm) de sustitución de Ceniza volcánica, son valores que se encuentran dentro del rango tolerable a los  $8 \pm 2.5$ cm de diseño y de (5 a 10cm) para hormigón estructural sin aditivo según la ACI. El hormigón con 30% de sustitución de ceniza volcánica consiguió el mayor asentamiento siendo 30% menor que el límite máx. de 10cm y 16,67% mayor que el asentamiento del hormigón de control. Por lo que, se observa que a mayor porcentaje de sustitución de la ceniza volcánica aumenta la trabajabilidad del hormigón.

### **3.1.3. Propiedades del hormigón en estado endurecido**

#### **3.1.3.1. Densidad del hormigón en estado endurecido**

**Tabla 40.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 0% de ceniza incorporada, a los 7 días de edad

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>											
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
<b>HORMIGÓN:</b>			Hormigón Tradicional 0% de ceniza				<b>FECHA DE ELABORACIÓN:</b>		12/04/2022		
<b>ENSAYADO POR:</b>			Ángela Sánchez Muñoz				<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		19/04/2022		
							<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573 - ASTM C 39		
<b>ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F´C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON 0% DE CENIZA A LOS 7 DÍAS</b>											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HT1-0% CE	3,498	10	78,540	20,2	0,0016	146	2204,84	2205,68	18,6	189,668	186,61
HT2-0% CE	3,502	10	78,540	20,2	0,0016	143	2207,36		18,2	185,589	
HT3-0% CE	3,498	10	78,540	20,2	0,0016	142	2204,84		18,1	184,569	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla 37 se obtuvo la densidad promedio del hormigón tradicional en estado endurecido a los 7 días de edad de 2205,68 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio según la ASTM C39 fue de 186.61 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose entre el 65 y 75%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 7 días con un valor del 77.75 %.

**Tabla 41.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 10% de ceniza incorporada, a los 7 días de edad

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>											
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
<b>HORMIGÓN:</b>			Hormigón Tradicional 10% de ceniza				<b>FECHA DE ELABORACIÓN:</b>		12/04/2022		
<b>ENSAYADO POR:</b>			Ángela Sánchez Muñoz				<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		19/04/2022		
							<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573 - ASTM C 39		
<b>ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON 10% DE CENIZA A LOS 7 DÍAS</b>											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC1-10% CE	3,506	10	78,540	20,3	0,0016	127	2199,00	2194,58	16,20	165,195	165,20
HC2-10% CE	3,459	10	78,540	20,1	0,0016	126	2191,11		16,00	163,155	
HC3-10% CE	3,463	10	78,540	20,1	0,0016	129	2193,64		16,40	167,234	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con el 10% de incorporación de ceniza en estado endurecido a los 7 días de edad de 2194,58 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio según la ASTM C39 fue de 165.20 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose entre el 65 y 75%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 7 días con un valor del 68.83%.



**Tabla 42.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 20% de ceniza incorporada, a los 7 días de edad

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>											
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
<b>HORMIGÓN:</b>		Hormigón Tradicional 20% de ceniza				<b>FECHA DE ELABORACIÓN:</b>		13/04/2022			
<b>ENSAYADO POR:</b>		Ángela Sánchez Muñoz				<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		20/04/2022			
						<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573 - ASTM C 39			
<b>ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F'c 240 KG/CM<sup>2</sup> CON 20% DE CENIZA A LOS 7 DÍAS</b>											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC1-20% CE	3,475	10	78,540	20,1	0,0016	97,5	2201,24	2190,73	12,4	126,445	127,81
HC2-20% CE	3,443	10	78,540	20	0,0016	101	2191,88		12,9	131,544	
HC3-20% CE	3,44	10	78,540	20,1	0,0016	96,5	2179,07		12,3	125,426	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con el 20% de incorporación de ceniza en estado endurecido a los 7 días de edad de 2190.73 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio según la ASTM C39 fue de 127.81 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose fuera del rango de 65 y 75%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 7 días con un valor del 53.25%.

**Tabla 43.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 30% de ceniza incorporada, a los 7 días de edad

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>											
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
<b>HORMIGÓN:</b>			Hormigón Convencional 30% de ceniza				<b>FECHA DE ELABORACIÓN:</b>		13/04/2022		
<b>ENSAYADO POR:</b>			Ángela Sánchez Muñoz				<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		20/04/2022		
							<b>NORMA:</b>		NTE INEN 1573 - ASTM C 39		
<b>ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM<sup>2</sup> CON 30% DE CENIZA A LOS 7 DÍAS</b>											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC1-30% CE	3,476	10	78,540	20,2	0,0016	66,5	2190,98	2190,02	8,47	86,370	86,44
HC2-30% CE	3,447	10	78,540	20	0,0016	64,5	2194,42		8,21	83,719	
HC3-30% CE	3,466	10	78,540	20,2	0,0016	68,7	2184,67		8,75	89,226	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con el 30% de incorporación de ceniza en estado endurecido a los 7 días de edad de 2190.02 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio según la ASTM C39 fue de 86.44 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose fuera del rango de 65 y 75%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 7 días con un valor del 36.02%.

**Tabla 44.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 0% de ceniza incorporada, a los 14 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:			Hormigón con 0% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		12/04/2022		
ENSAYADO POR:			Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		26/04/2022		
							NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 0% DE CENIZA A LOS 14 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HT4-0% CE	3,473	10	78,540	20	0,0016	151	2210,98	2222,65	19,2	195,786	208,36
HT5-0% CE	3,497	10	78,540	20	0,0016	169	2226,25		21,5	219,240	
HT6-0% CE	3,504	10	78,540	20	0,0016	162	2230,71		20,6	210,062	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón sin incorporación de ceniza en estado endurecido a los 14 días de edad de 2222.65 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 208.36 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose dentro del rango de 80 y 90%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 14 días con un valor del 86.82%.

**Tabla 45.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 10% de ceniza incorporada, a los 14 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:		Hormigón con 10% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		12/04/2022			
ENSAYADO POR:		Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		26/04/2022			
						NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 10% DE CENIZA A LOS 14 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC4-10% CE	3,485	10	78,540	20	0,0016	159	2218,61	2213,31	20,2	205,983	209,38
HC5-10% CE	3,478	10	78,540	20	0,0016	157	2214,16		20	203,944	
HC6-10% CE	3,467	10	78,540	20	0,0016	168	2207,16		21,4	218,220	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con incorporación de ceniza del 10 % en estado endurecido a los 14 días de edad de 2213,31 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 209.38 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose dentro del rango de 80 y 90%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 14 días con un valor del 87.24%.

**Tabla 46.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 20% de ceniza incorporada, a los 14 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:			Hormigón con 20% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		13/04/2022		
ENSAYADO POR:			Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		27/04/2022		
							NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 20% DE CENIZA A LOS 14 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC4-20% CE	3,463	10	78,540	20	0,0016	132	2204,61	2212,89	16,8	171,313	173,01
HC5-20% CE	3,501	10	78,540	20	0,0016	133	2228,80		16,9	172,333	
HC6-20% CE	3,464	10	78,540	20	0,0016	135	2205,25		17,2	175,392	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con el 20% de incorporación de ceniza en estado endurecido a los 14 días de edad de 2212,89 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 173.01 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose fuera del rango de 80 y 90%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 14 días con un valor del 72.09%.

**Tabla 47.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 30% de ceniza incorporada, a los 14 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:		Hormigón con 30% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		13/04/2022			
ENSAYADO POR:		Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		27/04/2022			
						NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F´C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 30% DE CENIZA A LOS 14 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC4-30% CE	3,459	10	78,540	20	0,0016	90,2	2202,06	2201,21	11,5	117,268	118,28
HC5-30% CE	3,467	10	78,540	20	0,0016	88,9	2207,16		11,3	115,228	
HC6-30% CE	3,447	10	78,540	20	0,0016	94	2194,42		12	122,366	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con el 30% de incorporación de ceniza en estado endurecido a los 14 días de edad de 2201,21 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio según la ASTM C39 fue de 118.29 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose fuera del rango de 80 y 90%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 14 días con un valor del 49.28%.

**Tabla 48.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 0% de ceniza incorporada, a los 21 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:		Hormigón con 0% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		12/04/2022			
ENSAYADO POR:		Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		03/05/2022			
						NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 0% DE CENIZA A LOS 21 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HT7-0% CE	3,484	10	78,540	20	0,0016	202	2217,98	2298,19	25,7	262,068	261,73
HT8-0% CE	3,478	10	78,540	20	0,0016	195	2214,16		24,8	252,891	
HT9-0% CE	3,868	10	78,540	20	0,0016	208	2462,44		26,5	270,226	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón sin incorporación de ceniza en estado endurecido a los 21 días de edad de 2298.19 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 261.73 kg/cm<sup>2</sup> siendo superior del rango de 90 y 100%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 21 días con un valor del 109.05%.

**Tabla 49.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 10% de ceniza incorporada, a los 21 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:		Hormigón con 10% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		12/04/2022			
ENSAYADO POR:		Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		03/05/2022			
						NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F´C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 10% DE CENIZA A LOS 21 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC7-10% CE	3,472	10	78,540	20	0,0016	174	2210,34	2252,10	22,2	226,378	244,73
HC8-10% CE	3,462	10	78,540	20	0,0016	186	2203,97		23,7	241,674	
HC9-10% CE	3,734	10	78,540	20,3	0,0016	205	2342,00		26,1	266,147	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con incorporación de 10 % de ceniza en estado endurecido a los 21 días de edad de 2252,10 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 244.73 kg/cm<sup>2</sup> siendo superior al rango del 90 y 100%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 21 días con un valor del 101.97%.



**Tabla 50.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 20% de ceniza incorporada, a los 21 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:			Hormigón con 20% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		13/04/2022		
ENSAYADO POR:			Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		04/05/2022		
							NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F´C 240 KG/CM² CON 20% DE CENIZA A LOS 21 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm²)	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m³)	Carga (KN)	Densidad (Kg/m³)	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm²)
HC7-20% CE	3,483	10	78,540	20	0,0016	150	2217,34	2220,10	19,1	194,767	201,23
HC8-20% CE	3,486	10	78,540	20	0,0016	159	2219,25		20,2	205,983	
HC9-20% CE	3,493	10	78,540	20	0,0016	156	2223,71		19,9	202,924	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con incorporación de 20 % de ceniza en estado endurecido a los 21 días de edad de 2220,10 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 201.23 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose fuera del rango de 90 y 100%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 21 días con un valor del 83.84%.

**Tabla 51.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 30% de ceniza incorporada, a los 21 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:		Hormigón con 30% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		13/04/2022			
ENSAYADO POR:		Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		04/05/2022			
						NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 30% DE CENIZA A LOS 21 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC7-30% CE	3,467	10	78,540	20	0,0016	111	2207,16	2187,63	14,1	143,781	144,46
HC8-30% CE	3,405	10	78,540	20	0,0016	108	2167,69		13,8	140,721	
HC9-30% CE	3,437	10	78,540	20	0,0016	119	2188,06		14,6	148,879	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con incorporación de 30 % de ceniza en estado endurecido a los 21 días de edad de 2187,63 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 114.46 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose fuera del rango de 90 y 100%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 21 días con un valor del 60.19%.

**Tabla 52.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 0% de ceniza incorporada, a los 28 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:			Hormigón con 0% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		12/04/2022		
ENSAYADO POR:			Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		10/05/2022		
							NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 0% DE CENIZA A LOS 28 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HT10-0% CE	3,851	10,3	83,323	20,5	0,0017	207	2254,52	2226,10	26,4	269,206	272,61
HT11-0% CE	3,835	10,4	84,949	20,4	0,0017	203	2212,98		25,9	264,107	
HT12-0% CE	3,85	10,4	84,949	20,5	0,0017	219	2210,80		27,9	284,502	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón sin incorporación de ceniza en estado endurecido a los 28 días de edad de 2226,10 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 272.61 kg/cm<sup>2</sup> siendo superior al rango de 95 y 105%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 28 días con un valor del 113.59%.

**Tabla 53.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 10% de ceniza incorporada, a los 28 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:		Hormigón con 10% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		12/04/2022			
ENSAYADO POR:		Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		10/52022			
						NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 10% DE CENIZA A LOS 28 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC10-10% CE	3,488	10	78,540	20	0,0016	206	2220,52	2221,59	26,2	267,167	257,65
HC11-10% CE	3,495	10	78,540	20	0,0016	190	2224,98		24,2	246,772	
HC12-10% CE	3,486	10	78,540	20	0,0016	200	2219,25		25,4	259,009	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con incorporación de 10% de ceniza en estado endurecido a los 28 días de edad de 2221.59 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 257.65 kg/cm<sup>2</sup> siendo superior al rango de 95 y 105%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 28 días con un valor del 107.35%.

**Tabla 54.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 20% de ceniza incorporada, a los 28 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:		Hormigón con 20% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		13/04/2022			
ENSAYADO POR:		Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		11/05/2022			
						NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F' C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 20% DE CENIZA A LOS 28 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC10-20% CE	3,834	10,5	86,590	20,2	0,0017	160	2191,95	2207,25	20	203,944	204,28
HC11-20% CE	3,821	10,5	86,590	20,3	0,0018	157	2173,76		19,7	200,885	
HC12-20% CE	3,816	10,3	83,323	20,3	0,0017	161	2256,04		20,4	208,023	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con incorporación de 20 % de ceniza en estado endurecido a los 28 días de edad de 2207,25 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 204.28 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose fuera del rango de 95 y 105%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 28 días con un valor del 85.12%.

**Tabla 55.-** Densidad y resistencia a compresión del hormigón en estado endurecido con 30% de ceniza incorporada, a los 28 días de edad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL											
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”											
HORMIGÓN:			Hormigón con 30% de ceniza				FECHA DE ELABORACIÓN:		13/04/2022		
ENSAYADO POR:			Ángela Sánchez Muñoz				FECHA DE ENSAYO:		11/05/2022		
							NORMA:		NTE INEN 1573 - ASTM C 39		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE F´C 240 KG/CM <sup>2</sup> CON 30% DE CENIZA A LOS 28 DÍAS											
Denominación de la probeta	Peso de probeta (Kg)	Diámetro de Probeta (cm)	Área de Probeta (cm <sup>2</sup> )	Altura de Probeta (cm)	Volumen de Probeta (m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio	Resistencia Compresión (MPa)	Resistencia Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
HC10-30% CE	3,459	10,1	80,119	20	0,0016	123	2158,67	2146,91	15,6	159,076	158,74
HC11-30% CE	3,444	10,1	80,119	20,3	0,0016	121	2117,55		15,4	157,037	
HC12-30% CE	3,434	10	78,540	20,2	0,0016	123	2164,50		15,7	160,096	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

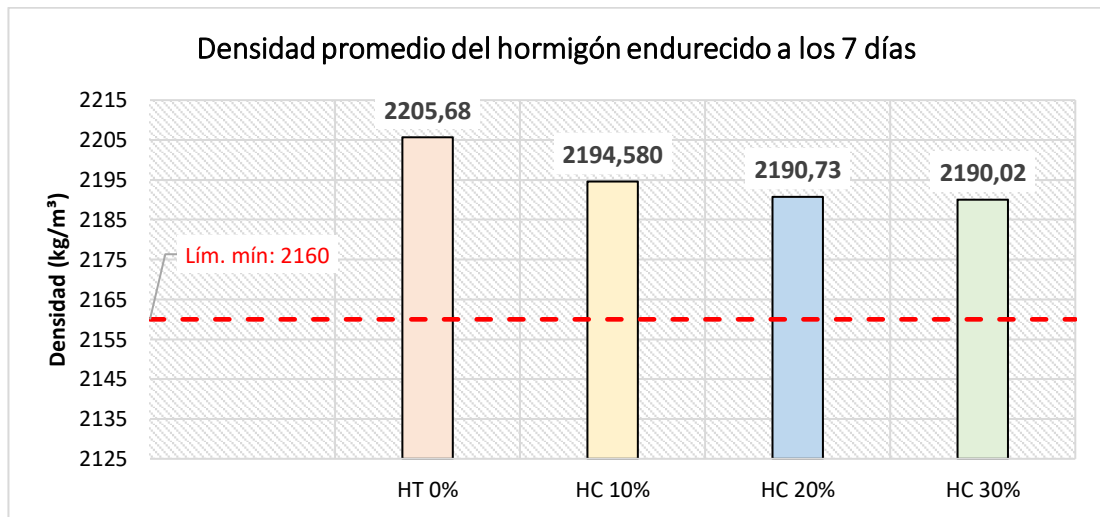
Como se muestra en la tabla se obtuvo la densidad promedio del hormigón con incorporación de 30 % de ceniza en estado endurecido a los 28 días de edad de 2146,91 kg/m<sup>3</sup> superior al valor que indica la ACI 318-19 de 2160 kg/cm<sup>3</sup> para el tipo de hormigón tradicional. Y la resistencia a compresión promedio aplicando la ASTM C39 fue de 158.74 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose fuera del rango de 95 y 105%, de la resistencia de diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, esperada a los 28 días con un valor del 85.12%.

**Tabla 56.-** Resumen de densidades promedio de las probetas de hormigón endurecido

Edad (días)	HT 0% (Kg/m <sup>3</sup> )	HC 10% (Kg/m <sup>3</sup> )	HC 20% (Kg/m <sup>3</sup> )	HC 30% (Kg/m <sup>3</sup> )
7	2205,68	2194,58	2190,73	2190,02
14	2222,65	2213,31	2212,89	2201,21
21	2298,19	2252,10	2220,10	2187,63
28	2226,10	2221,59	2207,25	2146,91

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

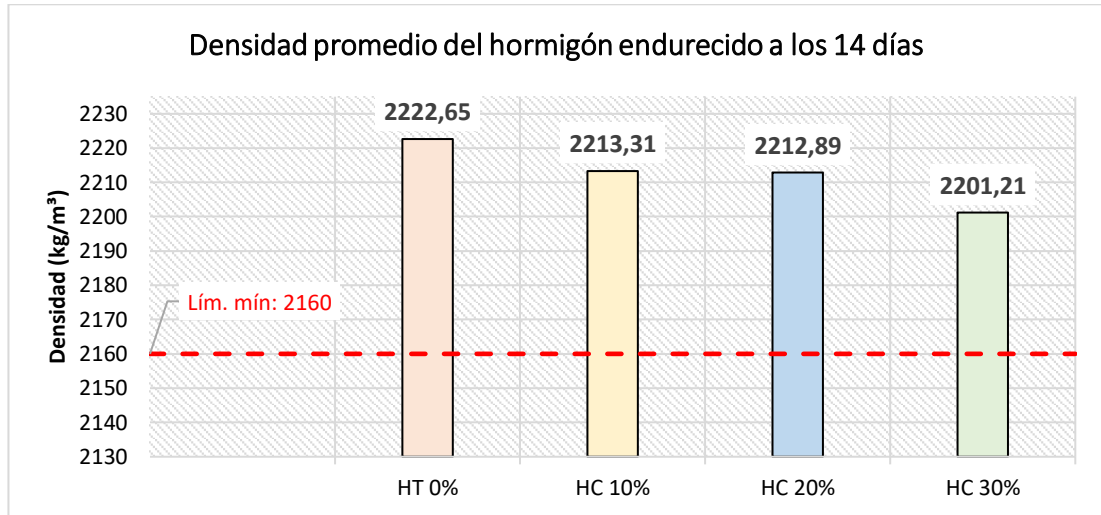
**Gráfico 15.-** Densidades promedio de las mezclas de hormigón endurecido a los 7 días



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la gráfica se determinaron las densidades del hormigón en estado endurecido a los 7 días de 2205,68 kg/m<sup>3</sup>(HT 0%), 2194,58 kg/m<sup>3</sup>(HC 10%), 2190.73 kg/m<sup>3</sup>(HC 20%) y 2190,02 kg/m<sup>3</sup>(HC 30%) cumplen con el límite mínimo de 2160 kg/m<sup>3</sup> especificado en la ACI 318-19. La mayor densidad se obtuvo con el HT 0% de 2205.68 kg/m<sup>3</sup> siendo 2.11% mayor que el límite establecido por la ACI (2160 Kg/m<sup>3</sup>). Por tanto, se puede observar que a mayor porcentaje de sustitución de ceniza volcánica menor densidad del hormigón.

**Gráfico 16.-** Densidades promedio de las mezclas de hormigón a los 14 días

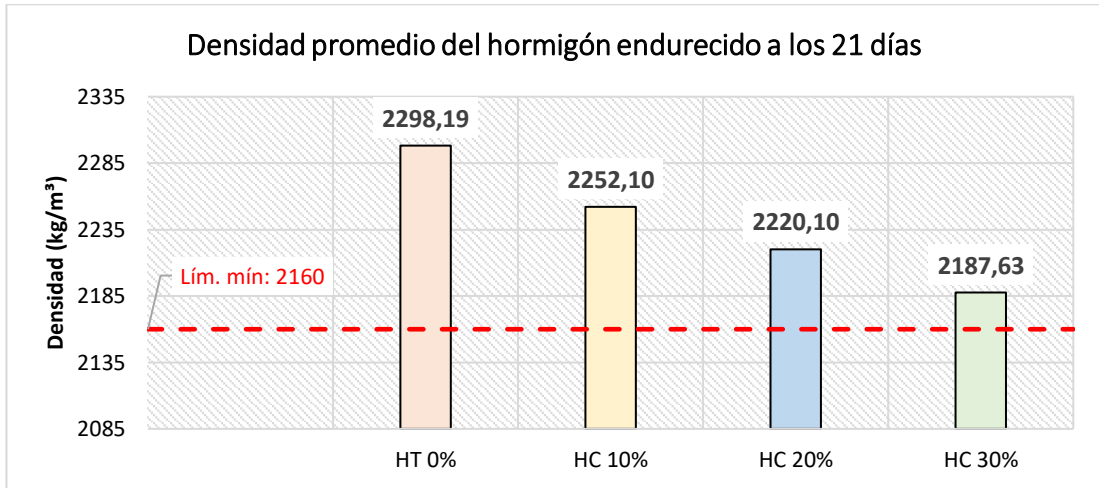


Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la gráfica se determinaron las densidades del hormigón en estado endurecido a los 14 días de 2222,65 kg/m<sup>3</sup>(HT 0%), 2213,31 kg/m<sup>3</sup>(HC 10%), 2212,89 kg/m<sup>3</sup>(HC 20%) y 2201,21 kg/m<sup>3</sup>(HC 30%) cumplen con el límite mínimo de 2160 kg/m<sup>3</sup> especificado en la ACI 318-19. La mayor densidad se obtuvo con el HT 0% de 2213,31 kg/m<sup>3</sup> siendo 2.90% mayor que el límite establecido por la ACI (2160 Kg/m<sup>3</sup>). Por tanto, se puede observar que se mantiene un comportamiento directamente proporcional ya que a mayor porcentaje de sustitución de ceniza volcánica menor densidad del hormigón.



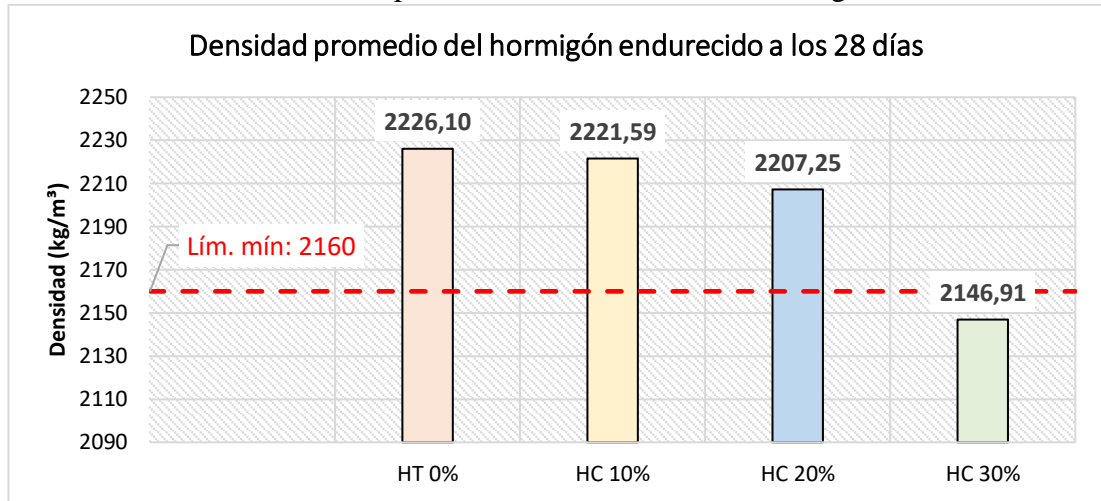
**Gráfico 17.-** Densidades promedio de las mezclas de hormigón a los 21 días



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se muestra en la gráfica se determinaron las densidades del hormigón en estado endurecido a los 21 días de 2298,19 kg/m<sup>3</sup>(HT 0%), 2252,10 kg/m<sup>3</sup>(HC 10%), 2220,10 kg/m<sup>3</sup>(HC 20%) y 2187,63 kg/m<sup>3</sup>(HC 30%) cumplen con el límite mínimo de 2160 kg/m<sup>3</sup> especificado en la ACI 318-19. La mayor densidad se obtuvo con el HT 0% de 2252,10 kg/m<sup>3</sup> siendo 6.40% mayor que el límite establecido por la ACI (2160 Kg/m<sup>3</sup>). Por tanto, se puede observar que se mantiene un comportamiento directamente proporcional ya que a mayor porcentaje de sustitución de ceniza volcánica menor densidad del hormigón.

**Gráfico 18.-** Densidades promedio de las mezclas de hormigón a los 28 días



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

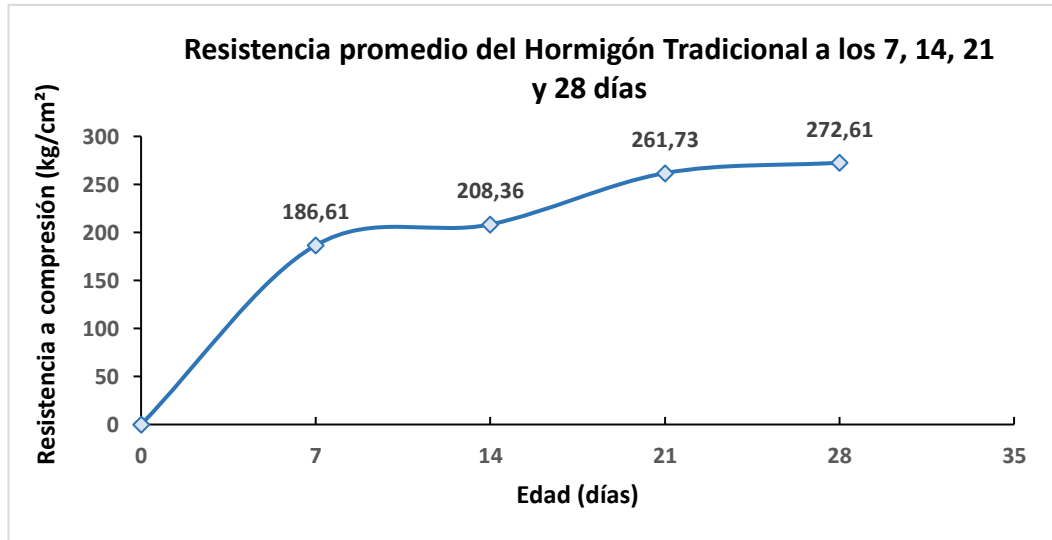
Como se muestra en la gráfica se determinaron las densidades del hormigón en estado endurecido a los 28 días de 2226,10 kg/m<sup>3</sup>(HT 0%), 2221,59 kg/m<sup>3</sup>(HC 10%), 2207,25 kg/m<sup>3</sup>(HC 20%) y 2146,91 kg/m<sup>3</sup>(HC 30%) cumplen con el límite mínimo de 2160 kg/m<sup>3</sup> especificado en la ACI 318-19. La mayor densidad se obtuvo con el HT 0% de 2226.10 kg/m<sup>3</sup> siendo 3.06% mayor que el límite establecido por la ACI (2160 Kg/m<sup>3</sup>). Por tanto, se puede observar que se mantiene un comportamiento directamente proporcional ya que a mayor porcentaje de sustitución de ceniza volcánica menor densidad del hormigón.

**Tabla 57.-** Resistencias promedio del hormigón tradicional

<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia a compresión HT 0% (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
7	186,61
14	208,36
21	261,73
28	272,61

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 19.-** Resistencia promedio a compresión del hormigón tradicional a los 7, 14, 21 y 28 días de edad



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

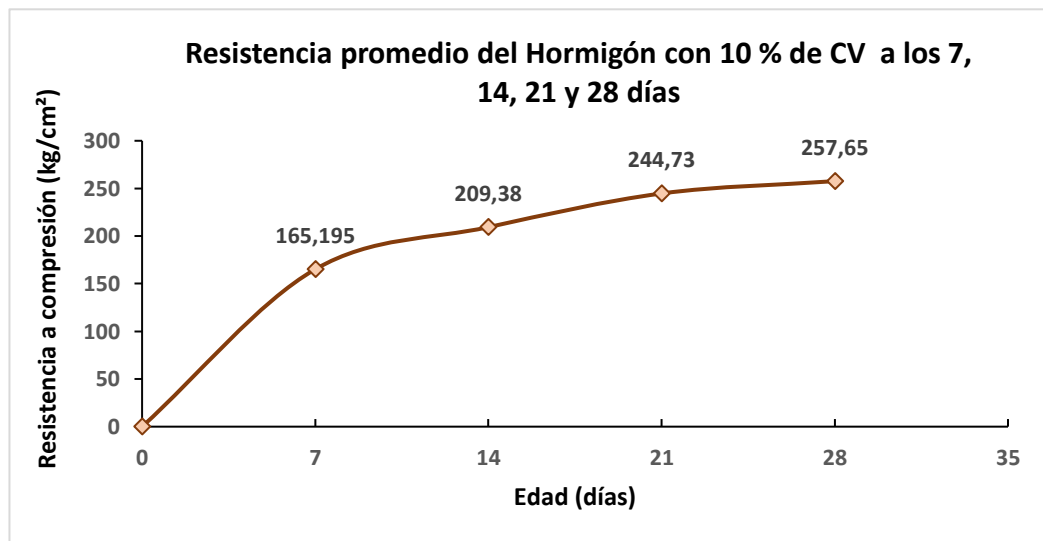
En el gráfico se muestra mediante la aplicación de la norma NTE INEN 1573 el comportamiento de los cilindros de hormigón tradicional (HT0%), bajo el ensayo a compresión, el esfuerzo máximo promedio resulta de la rotura de tres cilindros para edades de 7, 14, 21 y 28 días cada una, los valores obtenidos fueron 186.61, 208.36, 261.73 y 272.61 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Como se puede observar al incrementar la edad del hormigón la resistencia a compresión también aumenta y el hormigón tradicional a los 28 días supera la resistencia de diseño en 13.59 %.

**Tabla 58.-** Resistencias promedio del hormigón con 10% de ceniza

Edad (días)	Resistencia a compresión HC 10% (kg/cm <sup>2</sup> )
7	165,19
14	209,38
21	244,73
28	257,65

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 20.-** Resistencia promedio a compresión del hormigón con sustitución del 10% de cemento por ceniza volcánica a los 7, 14, 21 y 28 días de edad



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

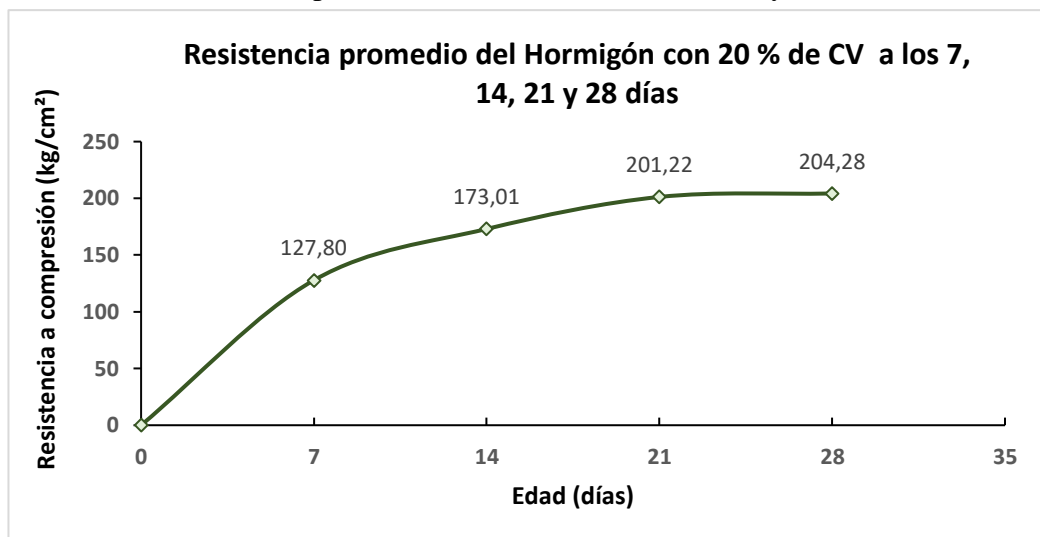
En el gráfico se muestra mediante la aplicación de la norma NTE INEN 1573 el comportamiento de los cilindros de hormigón tradicional (HC 10%), bajo el ensayo a compresión, el esfuerzo máximo promedio resulta de la rotura de tres cilindros para edades de 7, 14, 21 y 28 días cada una, los valores obtenidos fueron 165.20, 209.38, 244.73 y 257.65 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Como se puede observar al incrementar la edad del hormigón la resistencia a compresión también aumenta y el hormigón con 10% de ceniza a los 28 días supera la resistencia de diseño en 7.35 %.

**Tabla 59.-** Resistencias promedio del hormigón con 20% de ceniza

Edad (días)	Resistencia a compresión HC 20% (kg/cm <sup>2</sup> )
7	127,80
14	173,01
21	201,22
28	204,28

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 21.-** Resistencia promedio a compresión del hormigón con sustitución del 20% de cemento por ceniza volcánica a los 7, 14, 21 y 28 días de edad



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

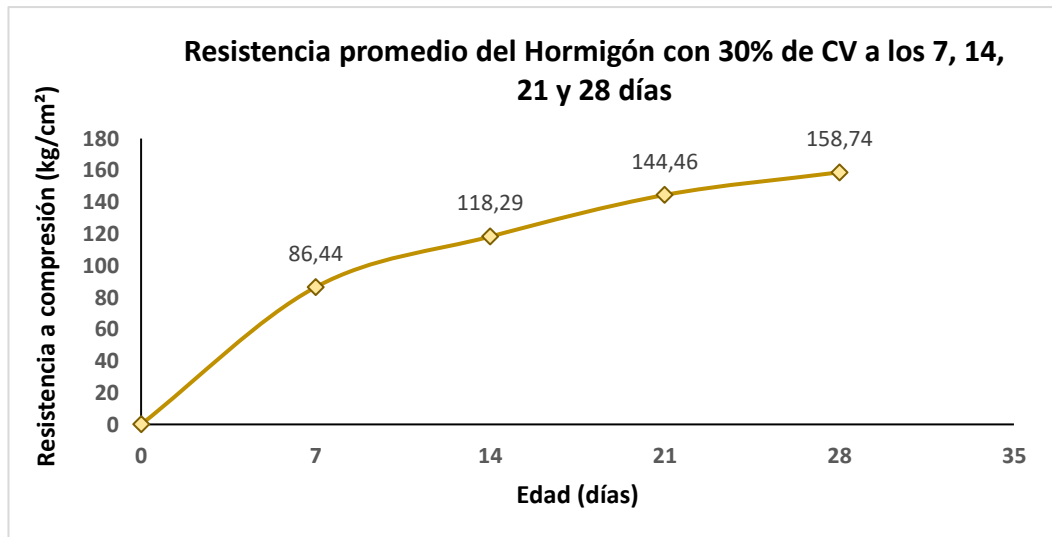
En el gráfico se muestra mediante la aplicación de la norma NTE INEN 1573 el comportamiento de los cilindros de hormigón tradicional (HC 20%), bajo el ensayo a compresión, el esfuerzo máximo promedio resulta de la rotura de tres cilindros para edades de 7, 14, 21 y 28 días cada una, los valores obtenidos fueron 127.80, 173.01, 201.22 y 204.28 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Como se puede observar al incrementar la edad del hormigón la resistencia a compresión también aumenta sin embargo el hormigón con 20% de ceniza a los 28 días no supera la resistencia de diseño siendo menor en 14.88%.

**Tabla 60.-** Resistencias promedio del hormigón con 30% de ceniza

Edad (días)	Resistencia a compresión HC 30% (kg/cm <sup>2</sup> )
7	86,44
14	118,29
21	144,46
28	158,74

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

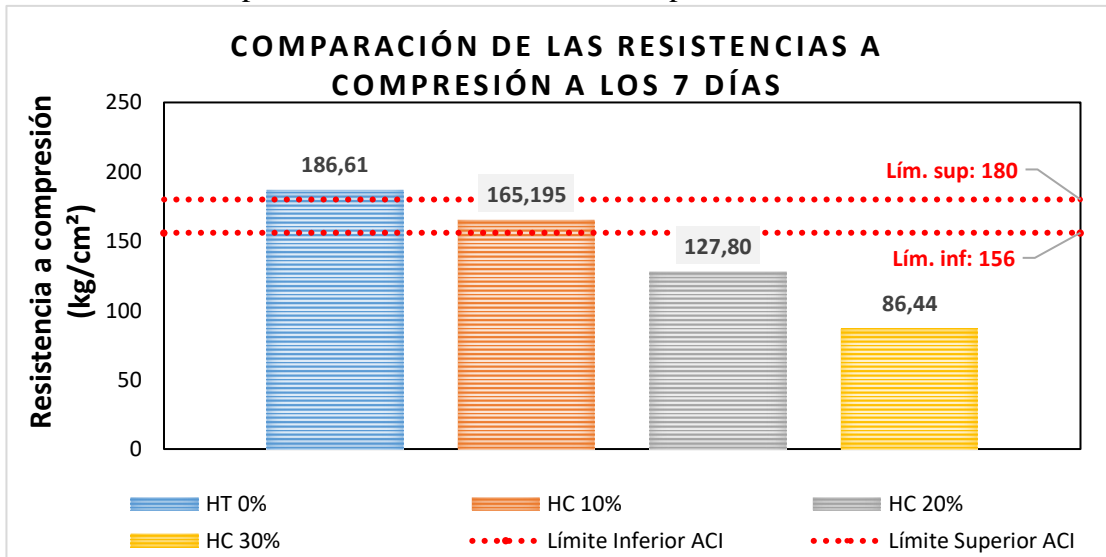
**Gráfico 22.-** Resistencia promedio a compresión del hormigón con sustitución del 30% de cemento por ceniza volcánica a los 7, 14, 21 y 28 días de edad



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

En el gráfico se muestra mediante la aplicación de la norma NTE INEN 1573 el comportamiento de los cilindros de hormigón tradicional (HC 30%), bajo el ensayo a compresión, el esfuerzo máximo promedio resulta de la rotura de tres cilindros para edades de 7, 14, 21 y 28 días cada una, los valores obtenidos fueron 86.44, 118.29, 144.46 y 158.74 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Como se puede observar al incrementar la edad del hormigón la resistencia a compresión también aumenta sin embargo el hormigón tradicional la resistencia a los 28 días no supera la resistencia de diseño siendo menor en 33.86%.

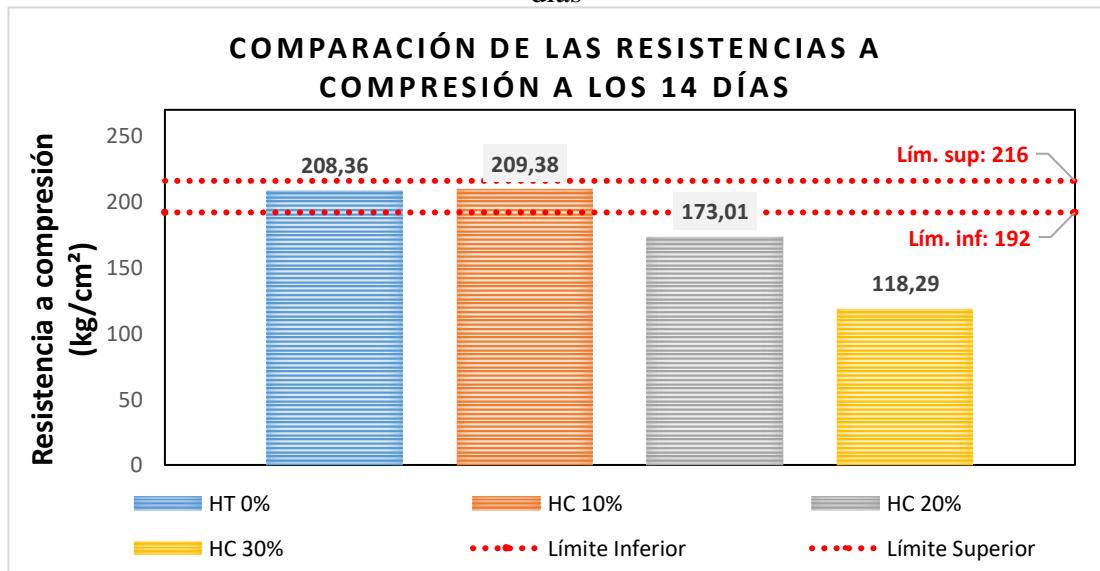
**Gráfico 23.-** Comparativo de las resistencias a compresión de las mezclas a los 7 días



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se observa en la gráfica de resistencias a compresión del hormigón endurecido a los 7 días de edad los resultados obtenidos que se encuentran dentro del rango esperado de 156 y 180 kg/cm<sup>2</sup> son HT 0% (186.61 kg/cm<sup>2</sup>) y HC 10% (165.20 kg/cm<sup>2</sup>) siendo 3.67% (HT 0%) superior al límite máximo y 5.89% (HC 10%) mayor a límite mínimo, mientras que HC 20% (127.80 kg/cm<sup>2</sup>) y HC 30% (86.44 kg/cm<sup>2</sup>) disminuyeron en 18.08% y 44.59% respectivamente del límite inferior esperado para el tipo de hormigón tradicional. Por lo que se pudo comprobar que a mayor porcentaje de incorporación de ceniza volcánica disminuye la resistencia del concreto.

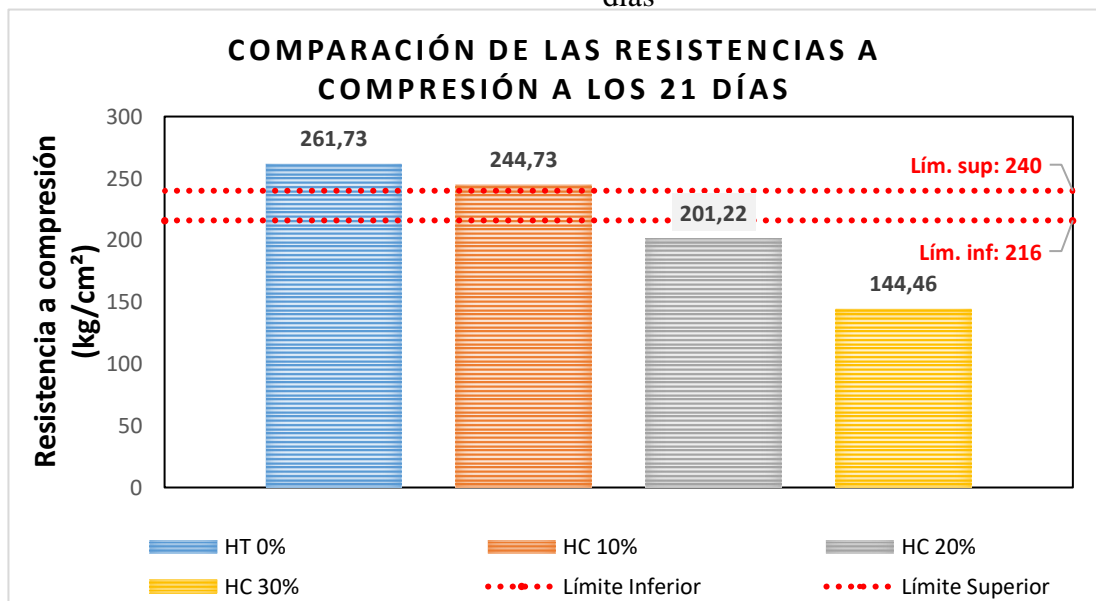
**Gráfico 24.-** Comparativo de las resistencias a compresión de las mezclas a los 14 días



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se puede observar en la gráfica de resistencias a compresión del hormigón endurecido a los 14 días los resultados obtenidos dentro del rango esperado de 192 y 216 kg/cm<sup>2</sup> son HT 0% (208.36 kg/cm<sup>2</sup>) y HC 10% (209.38 kg/cm<sup>2</sup>) siendo 8.52 (HT 0%) y 9.05% (HC 10%) mayores a límite mínimo, mientras que HC 20% (173.01 kg/cm<sup>2</sup>) y HC 30% (118.29 kg/cm<sup>2</sup>) disminuyeron en 9.89% y 38.39% respectivamente del límite inferior esperado para el tipo de hormigón tradicional. Por lo que se puede comprobar que a mayor porcentaje de incorporación de ceniza volcánica disminuye la resistencia del concreto.

**Gráfico 25.-** Comparativo de las resistencias a compresión de las mezclas a los 21 días

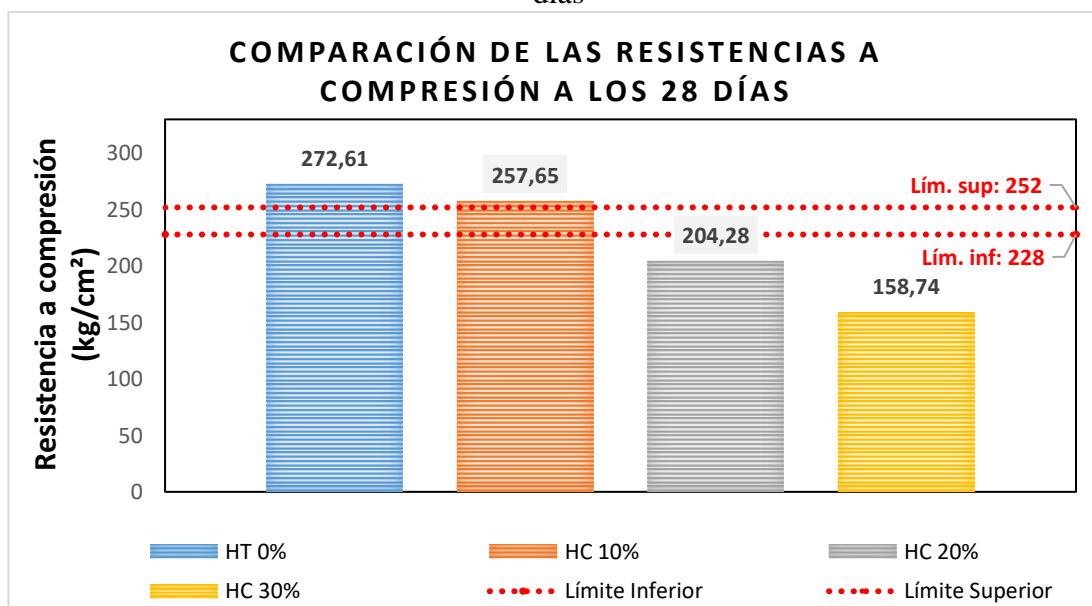


Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se puede observar en la gráfica de resistencias a compresión del hormigón endurecido a los 21 días los resultados obtenidos dentro del rango esperado de 216 y 240 kg/cm<sup>2</sup> son HT 0% (261.73 kg/cm<sup>2</sup>) y HC 10% (244.73 kg/cm<sup>2</sup>) siendo 9.05% (HT 0%) y 1.97% (HC 10%) mayores a límite máximo, mientras que HC 20% (201.22 kg/cm<sup>2</sup>) y HC 30% (144.46 kg/cm<sup>2</sup>) disminuyeron en 6.84 y 33.12% respectivamente del límite inferior esperado para el tipo de hormigón tradicional. Por lo que se puede comprobar que a mayor porcentaje de incorporación de ceniza volcánica disminuye la resistencia del concreto.



**Gráfico 26.-** Comparativo de las resistencias a compresión de las mezclas a los 28 días



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Como se puede observar en la gráfica de resistencias a compresión del hormigón endurecido a los 28 días los resultados obtenidos dentro del rango esperado de 228 y 252 kg/cm<sup>2</sup> son HT 0% (272.61 kg/cm<sup>2</sup>) y HC 10% (257.65 kg/cm<sup>2</sup>) siendo 8.18% (HT 0%) y 2.24% (HC 10%) mayores a límite máximo, mientras que HC 20% (204.28 kg/cm<sup>2</sup>) y HC 30% (158.4 kg/cm<sup>2</sup>) disminuyeron en 10.40% y 30.38% respectivamente del límite inferior esperado para el tipo de hormigón tradicional. Por lo que se puede comprobar que a mayor porcentaje de incorporación de ceniza volcánica disminuye la resistencia del concreto.

**Tabla 61.-** Resumen de resistencias a compresión promedio de las probetas de hormigón endurecido en kg/cm<sup>2</sup>

Edad (días)	HT 0% (Kg/cm <sup>2</sup> )	HC 10% (Kg/cm <sup>2</sup> )	HC 20% (Kg/cm <sup>2</sup> )	HC 30% (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	186,61	165,19	127,80	86,44
14	208,36	209,38	173,01	118,29
21	261,73	244,73	201,22	144,46
28	272,61	257,65	204,28	158,74

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

### 3.1.4. Análisis de precios unitarios

**Tabla 62.- Análisis de precios unitarios del hormigón tradicional**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
INGENIERÍA CIVIL					
Tema: "Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica"					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO	1			UNIDAD	m3
DETALLE	Hormigón tradicional fc 240 Kg/cm2 sin ceniza				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIE NTO (R)	COSTO (D = C*R)
Herramienta menor	0,05	41,33	2,07	1	2,067
Concretera 1 saco.	1	5,00	5,00	1,009	5,045
Vibrador	1	2,50	2,50	1,009	2,523
<b>SUBTOTAL (M)</b>					9,634
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR A (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIE NTO (R)	COSTO (D = C*R)
M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	0,3	4,04	1,212	1,009	1,223
Albañil (Est. Ocup. D2)	3	3,65	10,95	1,009	11,049
Peón (Est. Ocup. E2)	8	3,6	28,8	1,009	29,059
<b>SUBTOTAL (N)</b>					41,331
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C = A*B)	
Cemento Portland Tipo GU	Kg	346	0,17	58,820	
Arena Negra	m3	0,713	17	12,129	
Ripio Triturado (3/4") 19mm	m3	1,016	18,2	18,491	
Agua	m3	0,194	0,92	0,178	
Ceniza Volcánica	Kg	0	0	0,000	
<b>SUBTOTAL (O)</b>					89,618
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	TARIFA (B)	COSTO (C =A*B)	
				0	
<b>SUBTOTAL (P)</b>					0
<b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b>					140,58
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b>					0
<b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>					0
<b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>					140,58
<b>VALOR UNITARIO</b>					<b>140,58</b>
Son ciento cuarenta dólares con cincuenta y ocho centavos.					
<b>Nota:</b> No incluye IVA					
Ángela Geomayra Sánchez Muñoz					
<b>Fecha:</b> Julio 2022					
ELABORADO					

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 63.-** Análisis de precios unitarios del hormigón con 10% de ceniza

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
INGENIERÍA CIVIL					
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>RUBRO</b>	2			<b>UNIDAD</b>	m3
<b>DETALLE</b>	Hormigón con 10% de ceniza volcánica fc 240 Kg/cm2				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D = C*R)
Herramienta menor	0,05	41,33	2,07	1	2,067
Concretera 1 saco.	1	5,00	5,00	1,009	5,045
Vibrador	1	2,50	2,50	1,009	2,523
<b>SUBTOTAL (M)</b>					9,634
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HORA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D = C*R)
M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	0,3	4,04	1,212	1,009	1,223
Albañil (Est. Ocup. D2)	3	3,65	10,95	1,009	11,049
Peón (Est. Ocup. E2)	8	3,6	28,8	1,009	29,059
<b>SUBTOTAL (N)</b>					41,331
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C = A*B)	
Cemento Portland Tipo GU	Kg	311	0,17	52,938	
Arena Negra	m3	0,713	17	12,129	
Ripio Triturado (3/4") 19mm	m3	1,016	18,2	18,491	
Agua	m3	0,194	0,92	0,178	
Ceniza Volcánica	Kg	0,346	0,11	0,038	
<b>SUBTOTAL (O)</b>					83,774
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C = A*B)	
				0	
<b>SUBTOTAL (P)</b>					0
<b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b>				134,739	
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b>				0	
<b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>				0	
<b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>				134,739	
<b>VALOR UNITARIO</b>				<b>134,74</b>	
Son ciento treinta y cuatro dólares con setenta y cuatro centavos					
<b>Nota:</b> No incluye IVA			Ángela Geomayra Sánchez Muñoz		
<b>Fecha:</b> Julio 2022		_____			
ELABORADO					

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 64.-** Análisis de precios unitarios del hormigón con 20% de ceniza

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
INGENIERÍA CIVIL					
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>RUBRO</b>	3			<b>UNIDAD</b>	m3
<b>DETALLE</b>	Hormigón con 20% de ceniza volcánica fc 240 Kg/cm2				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D = C*R)
Herramienta menor	0,05	41,33	2,07	1	2,067
Concretera 1 saco.	1	5,00	5,00	1,009	5,045
Vibrador	1	2,50	2,50	1,009	2,523
<b>SUBTOTAL (M)</b>					9,634
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HORA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D = C*R)
M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	0,3	4,04	1,212	1,009	1,223
Albañil (Est. Ocup. D2)	3	3,65	10,95	1,009	11,049
Peón (Est. Ocup. E2)	8	3,6	28,8	1,009	29,059
<b>SUBTOTAL (N)</b>					41,331
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C = A*B)	
Cemento Portland Tipo GU	Kg	276,8	0,17	47,056	
Arena Negra	m3	0,713	17	12,129	
Ripio Triturado (3/4") 19mm	m3	1,016	18,2	18,491	
Agua	m3	0,194	0,92	0,178	
Ceniza Volcánica	Kg	0,692	0,11	0,076	
<b>SUBTOTAL (O)</b>					77,930
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C =A*B)	
				0	
<b>SUBTOTAL (P)</b>					0
<b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b>					128,895
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b>					0
<b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>					0
<b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>					128,895
<b>VALOR UNITARIO</b>					<b>128,895025</b>
Son ciento veinte y ocho dólares con ochenta y nueve centavos					
<b>Nota:</b> No incluye IVA			Ángela Geomayra Sánchez Muñoz		
<b>Fecha:</b> Julio 2022			_____		
ELABORADO					

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 65-** Análisis de precios unitarios del hormigón con 30% de ceniza

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL					
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>RUBRO</b>	4			<b>UNIDAD</b>	m3
<b>DETALLE</b>	Hormigón con 30% de ceniza volcánica fc 240 Kg/cm2				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D = C*R)
Herramienta menor	0,05	41,33	2,07	1	2,067
Concreteira 1 saco.	1	5,00	5,00	1,009	5,045
Vibrador	1	2,50	2,50	1,009	2,523
<b>SUBTOTAL (M)</b>					9,634
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HORA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D = C*R)
M. mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	0,3	4,04	1,212	1,009	1,223
Albañil (Est. Ocup. D2)	3	3,65	10,95	1,009	11,049
Peón (Est. Ocup. E2)	8	3,6	28,8	1,009	29,059
<b>SUBTOTAL (N)</b>					41,331
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C = A*B)	
Cemento Portland Tipo GU	Kg	242,2	0,17	41,174	
Arena Negra	m3	0,713	17	12,129	
Ripio Triturado (3/4") 19mm	m3	1,016	18,2	18,491	
Agua	m3	0,194	0,92	0,178	
Ceniza Volcánica	Kg	1,030	0,11	0,113	
<b>SUBTOTAL (O)</b>					72,086
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C = A*B)	
				0	
<b>SUBTOTAL (P)</b>					0
<b>COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)</b>					123,050
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%</b>					0
<b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>					0
<b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>					123,050
<b>VALOR UNITARIO</b>					<b>123,05</b>
Son ciento veinte y tres dólares con cinco centavos					
<b>Nota:</b> No incluye IVA			Ángela Geomayra Sánchez Muñoz		
<b>Fecha:</b> Julio 2022			_____		
ELABORADO					

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

### **3.2. Verificación de la Hipótesis**

#### **Hipótesis**

La sustitución parcial de ceniza volcánica por peso de cemento influirá en la resistencia a compresión del hormigón.

#### **Verificación de hipótesis**

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en los ensayos de ejecutados en laboratorio a los cilindros se puede verificar la hipótesis planteada. Determinándose que la resistencia a compresión disminuye significativamente mientras mayor es el porcentaje de sustitución de la ceniza volcánica.

## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- ii. Se determinó mediante la aplicación de la norma NTE INEN 156, la densidad del cemento tipo GU de  $2.870 \text{ g/cm}^3$  y ceniza volcánica de  $2.536 \text{ g/cm}^3$  por el método de Le Chatelier y por el método del Picnómetro  $2.859 \text{ g/cm}^3$  y  $2.529 \text{ g/cm}^3$  respectivamente, valores que cumplen rangos permisibles de uso.
- iii. Se determinó mediante la norma NTE INEN 158 en la elaboración de muestras realizadas que la incorporación de ceniza retarda el tiempo de fraguado haciendo lento el proceso de endurecimiento en relación proporcional al porcentaje de sustitución, los valores obtenidos de tiempos de fraguado final fueron 250 minutos para la pasta sin ceniza, 280 minutos de las pastas de 10 y 20% de incorporación, finalmente se obtuvo para la muestra de 30% de sustitución 310 minutos, por lo que se concluye en base a la norma NTE INEN 2380 que los tiempos de fraguado inicial superan los 45 minutos y los tiempos de fraguado final no son mayores a 420 minutos cumpliendo límites de desempeño especificados en la misma.
- iv. Se determinó que en las pastas de cemento donde existe ceniza volcánica mediante el ensayo de fraguado por Vicat se reduce la demanda de agua mientras mayor sea el porcentaje de sustitución para alcanzar una consistencia normal como apertura de estudio, se obtuvieron variaciones entre 26.0 y 38.8 % entre porcentajes de 0 y 30 de sustitución que es equivalente a una variación de requerimiento de agua entre el 10 y 15.5 % de disminución.
- v. Se obtuvo por el ensayo de permeabilidad al aire con el Aparato de Blaine según la norma NTE INEN 196 la finura del cemento tipo GU y de la ceniza volcánica en términos de superficie específica valores de  $488 \text{ m}^2/\text{kg}$  y  $565.69 \text{ m}^2/\text{kg}$  respectivamente concluyendo que la finura de la ceniza volcánica es cercana a la del cemento tipo GU en  $77.69 \text{ m}^2/\text{kg}$  por lo que cumpliría para uso como material cementante. Además de cumplir con la norma NTE INEN 152 superando el límite mínimo de  $260 \text{ m}^2/\text{kg}$  de finura garantizando fiabilidad de uso.
- vi. Se elaboró mezclas de diseño de concreto tradicional obteniendo una resistencia promedio a la compresión a los 28 días de  $272.60 \text{ kg/cm}^2$  edad y concreto con ceniza

volcánica en porcentajes de 10, 20 y 30 % obteniendo resistencias promedio de 257.65, 204.28 y 158.74 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, superando el hormigón de control la resistencia de diseño mientras que las mezclas con ceniza resultaron menores a las esperadas por lo que se concluye que a medida que incrementa la incorporación de ceniza el hormigón reduce su capacidad de resistencia a compresión.

- vii. Se determinaron valores de densidad promedio a los 28 días de edad en estado endurecido del hormigón tradicional de 2226.10 kg/m<sup>3</sup>, con 10% de ceniza de 2221.59 kg/m<sup>3</sup>, con 20% de ceniza 2207.25 kg/m<sup>3</sup> y con 30% de ceniza 2146.91 kg/m<sup>3</sup> concluyendo que las densidades cumplen con la norma ACI 318-19 ya que superan los 2160 kg/m<sup>3</sup> mínimos que especifica.
- viii. Se determinó que el porcentaje óptimo de sustitución de la ceniza volcánica en el hormigón es del 10% obteniéndose valores densidad y resistencia a compresión a los 28 días de 2221,59 K/m<sup>3</sup> y 257.65 kg/cm<sup>2</sup> resultando en valores menores a los obtenidos con el hormigón tradicional con valores de 2226,10 Kg/m<sup>3</sup> y 272,60 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.
- ix. Se evidenció que a medida que incrementa el porcentaje de sustitución de ceniza volcánica aumenta el asentamiento y mejora la trabajabilidad de la mezcla.
- x. Se determinó mediante la elaboración de un análisis de costo-beneficio, el costo correspondiente a un metro cúbico de hormigón tradicional de \$140.58 dólares y de hormigón con 10% de ceniza volcánica de \$134.74 dólares teniendo una diferencia de \$5.84 dólares de ahorro siendo más favorable el empleo del hormigón con 10% de ceniza en costo y resistencia al cumplir límites determinados a los 28 días de edad.

## **4.2. Recomendaciones**

1. Se recomienda considerar investigaciones relacionadas a la fabricación de concretos elaborados con materiales alternativos amigables con el medio ambiente como lo son cenizas volcánicas de los diferentes yacimientos existentes en Ecuador.
2. Se recomienda ser rigurosos con los ensayos de permeabilidad al aire para la determinación de la finura ya que la actividad errónea durante la operación del ensayo puede alterar drásticamente la veracidad de los resultados principalmente de materiales diferentes al cemento.



3. Se recomienda abarcar estudios a profundidad no solo de análisis físicos y mecánicos sino incluir análisis químicos tanto de los materiales poco convencionales con la interacción del cemento en conjunto para mayor precisión y determinación del comportamiento del hormigón en estado fresco y endurecido.
4. Se recomienda en el ensayo de Vicat considerar las condiciones ambientales a las que se encuentra el área de ensayo ya que inciden de manera directa, el calor y humedad ambiental como la existencia de corrientes de aire que alteren el tiempo de fraguado de las pastas de hormigón elaboradas.
5. Se recomienda precaución con el almacenamiento de cada uno de los materiales componentes del hormigón ya que si se encuentran a la intemperie podrían portar materiales perjudiciales para la calidad del resultante como son la presencia de materia orgánica en los agregados o el humedecimiento del cemento y de la ceniza antes de la elaboración del concreto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Barroilhet, *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile*, Chile: El Melon, 1910.
- [2] M. Á. Sanjuán Barbudo y S. Chinchón Yepes, *Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland*, 1 ed., Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2018, pp. 6-122.
- [3] O. A. Díaz Ponce, «LA EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO CON ÉNFASIS EN LATINOAMÉRICA,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2012.
- [4] E. Vidaud, «De la historia del cemento,» *Construcción y Tecnología en concreto*, pp. 20-26, Noviembre 2013.
- [5] F. Gómez y F. Orrala, *Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de puzolana obtenida de la calcinación de residuos del cultivo de maíz producido en la provincia de Santa Elena*, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015.
- [6] Oficemen, «Historia del Cemento,» Agrupación de fabricantes de cemento de España, 2017. [En línea]. Available: <https://www.oficemen.com/el-cemento/historia-del-cemento/>. [Último acceso: 6 Agosto 2021].
- [7] HOLCIM, «Soluciones Holcim,» 2018. [En línea]. Available: <https://solucionesholcim.com/holcim-fuerte/>. [Último acceso: 6 mayo 2021].
- [8] B. J. Jaigua Romero y S. E. Vázquez Urgilés, *Estudio de hormigones de altas prestaciones utilizando áridos y cemento local, cenizas volcánicas naturales y súper plastificantes*, Cuenca : Universidad de Cuenca, 2010.
- [9] Á. E. Suárez Ávila y M. P. Urgiles Cabrera, *Caracterización de la ceniza volcánica del Tungurahua para la fabricación de un aglomerante Cal-pulzolana*, Cuenca: Univeridad de Cuenca, 2010.
- [10] «Wikipedia,» 3 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>. [Último acceso: 4 mayo 2022].

- [11] R. Z. R. HEHAB O. ABDEL RAHMAN, «Cements: Portland Cement,» de *Cementitious Materials for Nuclear Waste Immobilization*, United Kingdom, John Wiley & Sons, Ltd, 2015, p. 27.
- [12] 3. Concreto, «360 en Concreto,» [En línea]. Available: [https://360enconcreto.com/blog/detalle/cual-es-la-composicion-quimica-del-cemento-y-como-afecta-sus-propiedades/#:~:text=Estos%20se%20encuentran%20en%20forma,\(Fe2O3\)..](https://360enconcreto.com/blog/detalle/cual-es-la-composicion-quimica-del-cemento-y-como-afecta-sus-propiedades/#:~:text=Estos%20se%20encuentran%20en%20forma,(Fe2O3)..) [Último acceso: 7 mayo 2022].
- [13] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INE 2380:2011, Quito: INEN, 2011.
- [14] M. C. M. B. E. H. a. M. B. Z Makhloufi, de *Effect of quaternary cementitious systems containing limestone, blast furnace slag and natural pozzolan on mechanical behavior of limestone mortars*, 2015, pp. 647-657.
- [15] F. A. G. C. Erik David Galeas Arias, «Ceniza Volcánica,» de "*PROPUESTA DE DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN REEMPLAZANDO EL CEMENTO EN DIFERENTES PORCENTAJES DE PESO, CON CENIZA VOLCÁNICA DEL TUNGURAHUA; IDENTIFICANDO LA INFLUENCIA DE UTILIZAR LA FRACCIÓN FINA, GRUESA Y COMPLETA*", Quito, 2019, p. 7.
- [16] E. Sánchez, Análisis mineralógico y multielemental de la ceniza volcánica, producto de la erupción del Cotopaxi en 2015, por difracción de rayos X (XRD) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y sus posibles aplicaciones e impactos, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2018.
- [17] A. S. f. T. a. Materials, «Requisitos Físicos,» de *Especificación estándar para cenizas volantes de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en el hormigón*, ASTM C 618-12a, 2012, p. 2.
- [18] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 694: Hormigón y áridos para elaborar hormigón, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010.
- [19] J. T. C. Mauricio López, «Efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad de poros del hormigón con el tiempo,» *Revista ingeniería de construcción*, vol. 25, nº 3, pp. 419-431, 2010.

- [20] I. A. d. Concreto, «Concreto estructural,» de *Especificaciones para Concreto Estructural*, U.S.A, ACI 301S-10, 2010, p. 6.
- [21] Holcim Ecuador S.A, Ficha técnica: Soluciones en cemento, Guayaquil: Holcim Ecuador S.A, 2014.
- [22] B. K. W. C. P. y. J. T. Steven H. Kosmatka, «Agregados para Concreto,» de *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, Illinois, EEUU, 2004, p. 103.
- [23] S. A. p. P. y. Materiales, «AGREGADO FINO. Características Generales,» de *Especificación estándar para agregados de concreto*, ASTM C 33, 2018, pp. 3-6.
- [24] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Árido fino.,» de *DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA*, Quito, INEN 1762, 2015, p. 2.
- [25] S. A. p. P. y. Materiales, «AGREGADO GRUESO. Especificaciones Generales,» de *Especificación estándar para áridos de hormigón*, ASTM C33, 2018, pp. 3-6.
- [26] S. E. d. Normalización, «Agregado grueso,» de *HORMIGÓN. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA*, Quito, NTE INEN 1762, 2015.
- [27] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «5.1.1 Requisitos para el uso,» de *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. AGUA PARA MEZCLA. REQUISITOS.*, Quito, NTE INEN 2617, 2012, p. 2.
- [28] I. N. d. N. Ecuatoriana, «Requisitos Específicos,» de *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. AGUA PAR MEZCLA. REQUISITOS.*, Quito, 2012, pp. 2-3.
- [29] A. Romero y J. Hernández, Diseño de mezclas de hormigón por el método A.C.i y los efectos de la adición de cenizas voantes de termotasajero en la resistencia a la compresión, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2014.
- [30] D. Sánchez, Tecnología del concreto y del cemento, México: Shandar Editores, 2001.
- [31] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «4. MÉTODO DE ENSAYO,» de *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO.*, Quito, NTE INEN 1578, 2010, pp. 1-4.

- [32] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «4. MÉTODO DE ENSAYO,» de *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.*, Quito, NTE INEN 1573:2010, 2010, p. 2.
- [33] R. G. P. Panimbosa, «EQUIPOS,» de “*EFECTOS DE LA ZEOLITA COMO MATERIAL SUPLEMENTARIO DEL CEMENTO PORTLAND EN LA RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA DEL CONCRETO ESTRUCTURAL*”, Ambato, 2022, pp. 44 - 48.
- [34] Norma Técnica Ecuatoriana, «Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad. NTE INEN 156:2009,» Quito - Ecuador, 2009.
- [35] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 196:2009 Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de permeabilidad de aire, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009.
- [36] Norma Técnica Ecuatoriana, «Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat. NTE INEN 158:2009,» Quito - Ecuador, 2009.
- [37] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 696:2011 Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso., Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011.
- [38] I. E. d. Normalización, «Granulometría del Agregado Grueso,» de *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.*, Quito, NTE INEN 696, 2011, pp. 2-3.
- [39] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS,» de *NORMA TÉCNICA ECUATORIA*, Quito, NTE INEN 858, 2010, pp. 1-2.
- [40] A. S. f. T. a. Materials, «Alcances,» de *Método de Ensayo Normalizado para Determinar Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y la Absorción de los Áridos Finos*, ASTM C 128, p. 1.
- [41] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «Áridos de densidad normal,» de *HORMIGÓN Y ÁRIDOS PARA ELABORAR HORMIGÓN. TERMINOLOGÍA.*, NTE INEN 694:2010, 2010, p. 2.

- [42] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «5. MÉTODO DE ENSAYO,» de *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO*, Quito, NTE INEN 857:2010, 2010, p. 3.
- [43] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «5. MÉTODO DE ENSAYO,» de *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD*, Quito, NTE INEN 862:2011, 2011, p. 1.
- [44] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «5.5 Cálculos,» de *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD*, Quito, NTE INEN 862:2011, 2011, p. 3.
- [45] S. E. d. Normalización, «8. Resistencia,» de *HORMIGONES. HORMIGÓN PREPARADO EN OBRA. REQUISITOS*, Quito, NTE INEN 1855-2, 2015, p. 13.
- [46] M. C. S. S. Á. G. P. G. G. M. Cruz Sánchez, «Caracterización de cenizas volcánicas depositadas en la ciudad de Puebla,» *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, vol. 8, n° 8, pp. 65-76, 2021.
- [47] INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A.C., *Cementos hidráulicos: Especificaciones y metodos de prueba*, Mexico: Instituto mexicano del cemento y del concreto A.C., 2009, p. 69.
- [48] Norma Técnica Guatemalteca, *Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño NTG 41095*, Guatemala: COGUANOR NTG 41095, 2018.
- [49] CEMEX, *Ficha técnica: Cemento de uso general*, Nicaragua: CEMEX, 2018.
- [50] J. Mindiola , *Cemento Portland puzolánico- influencia del tipo de cemento en la cantidad de agua de mezclado*, Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2011.
- [51] J. Rezola , *Características y correcta aplicación de los diversos tipos de cemento: Portland, siderúrgicos, puzoánicos, aluminosos, compuestos y naturales*, Barcelona: editores técnicos asociados s.a., 1976.
- [52] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 160*, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015.

- [53] Servicio Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 196 Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de permeabilidad al aire, Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016.
- [54] Instituto Ecuatoriano de normalización, NTE INEN 200: Cemento hidráulico. Determinación de la expansión en autoclave, Quito: Instituto Ecuatoriano de normalización, 2009.
- [55] Instituto Nacional de Normalización , NTE INEN 158: Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método Vicat, Quito: Instituto Nacional de Normalización , 2009.
- [56] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 488: Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009.
- [57] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN: Cemento hidráulico. Expansión de barras de mortero de cemento hidráulico almacenadas en agua, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010.
- [58] F. Molina, Modelo para la determinación de actividad puzolánica por correlación entre: difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X, Y método del cemento, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2014.
- [59] J. Dopico, F. Hernandez, R. Day, B. Middendorf, M. Gehrke y L. Martinez, «Desarrollo de hormigones con aglomerantes cal-puzolana fina como material cementicio suplementario,» *Revista de Ingeniería de Construcción*, vol. 23, n° 3, pp. 171-187, 2008.
- [60] Statista Research Department, «Statista,» Países líderes en producción de cemento a nivel mundial 2019, 7 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/600158/paises-lideres-en-produccion-de-cemento-a-nivel-mundial-2010/>. [Último acceso: 24 Octubre 2021].
- [61] ASOCEM, «Panorama Mundial de la Industria del Cemento,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Vision%20General%20de%20la%20Industria%20del%20Cemento%20y%20sus%20Principales%20Actores.pdf>. [Último acceso: 22 Octubre 2021].

- [62] Instituto Ecuatoriano de Normalización , «NTE INEN 152:2012Cemento Portland. Requisitos.» Quito-Ecuador, 2012.
- [63] Norma Técnica Ecuatoriana, «NTE INEN 156:2009 Cemento hidráulico. Determinación de la Densidad,» Quito - Ecuador, 2009.
- [64] Norma Técnica Ecuatoriana, «NTE INEN 159. Cemento hidráulica. Determinación del tiempo de fraguado de pasta de cemento hidráulico. Método de las agujas de Gillmore,» Quito - Ecuador, 2016.
- [65] Norma Técnica Ecuatoriana, «Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de permeabilidad al aire. NTE INEN 196:2016,» Quito - Ecuador, 2016.
- [66] Norma Técnica Ecuatoriana, «Árido. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. NTE INEN 857:2010,» Quito - Ecuador, 2010.
- [67] Norma Técnica Ecuatoriana, «Áridos. Determinación de la masa unitarioa (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. NTE INEN 858:2010,» Quito - Ecuador, 2010.
- [68] Norma Técnica Ecuatoriana, «Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. NTE INEN 696:2011,» Quito - Ecuador, 2011.
- [69] K. Caiza , Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ( $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ ), hormigón con adición de microsílce y hormigón con adición de ceniza de cáscaras de trigo utilizando agregados pertenecientes a la plata de trituración Jaime Vaca, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [70] Instituto Ecuatoriana de Normalización, NTE INEN: 858:2010 Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos, Quito: Instituto Ecuatoriana de Normalización, 2010.
- [71] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 865 Determinación del contenido de humedad, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011.
- [72] Instituto Ecuatoriano de normalización, NTE INEN 585:2010, Quito: Instituto Ecuatoriano de normalización, 2010.



- [73] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 856:2010 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010.
- [74] W. G. A. I. A. R. H. B. S. M. Chiara F. Ferraris, «Cemento SRM 114q,» de *Certification of SRM 114q: Part I*, WASHINGTON, U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE, 2005, p. 1.
- [75] I. E. d. Normalización, «Granulometría del agregado fino,» de *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.*, Quito, NTE INEN 696, 2011, pp. 5-6.
- [76] C. M. T. Equipment, «HUMBOLDT,» [En línea]. Available: <https://www.humboldtmg.com/specific-gravity-flask-le-chatelier.html>. [Último acceso: 7 julio 2022].
- [77] I. G. M. MATEST, «MATEST,» [En línea]. Available: <https://www.matest.com/es/producto/e009-kit-blaine-air-permeability-apparatus>. [Último acceso: 7 julio 2022].
- [78] PINZUAR, «issuu,» 12 junio 2013. [En línea]. Available: <https://issuu.com/pinzuar/docs/manualaparatodevicatmanual>. [Último acceso: 7 julio 2022].
- [79] I. G. M. MATEST, «MATEST,» [En línea]. Available: <https://www.matest.com/es/producto/e044n-vicatronic-automatic-computerized-tropicalized-vicat-recording-apparatus>. [Último acceso: 7 julio 2022].
- [80] S. Jiménez, «Hidráulica Fácil,» 20 junio 2016. [En línea]. Available: <https://www.hidraulicafacil.com/2016/06/granulometria-metodo-del-hidrometro.html>. [Último acceso: 7 julio 2022].
- [81] T. E. f. C. M. HUMBOLDT, «Water Baths with Microprocessor-based Temperature Contr,» de *Humboldt Water Baths H-1390, H1392, H-1394*, Illinois, HUMBOLDT, pp. 1-2.

## ANEXOS

### A1. Granulometría del Agregado Fino

#### Granulometría del Agregado Fino (1er Ensayo)

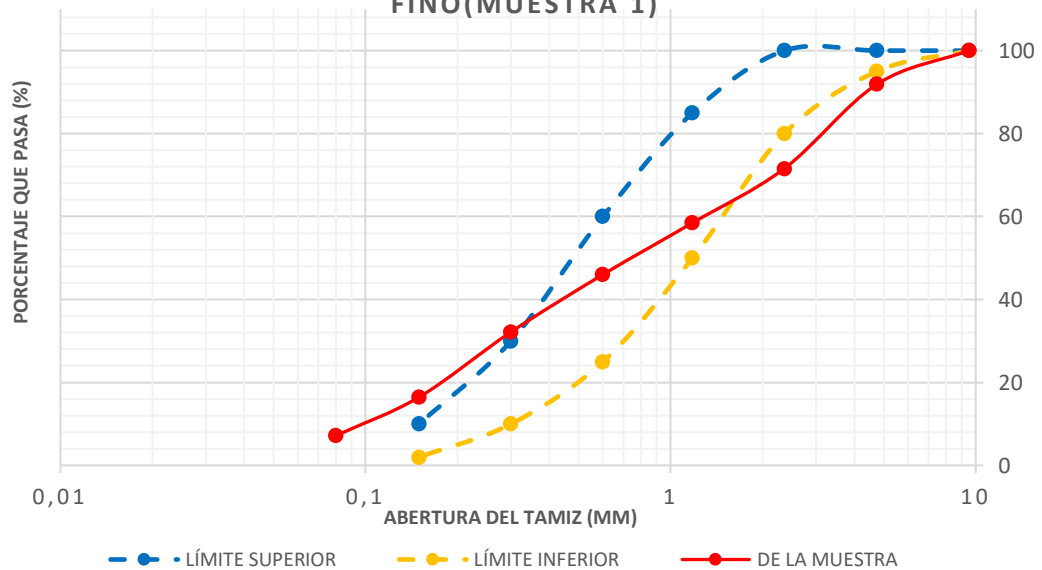
**Tabla 66.-** Granulometría del agregado fino ensayo 1

<b>ORIGEN:</b>			Cantera de Salcedo			
<b>ENSAYADO POR:</b>			Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	09/12/2022	
<b>NORMA:</b>			NTE INEN 696			
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>		700	<b>PÉRDIDA DE LA MUESTRA:</b>		0,04%	
<b>TAMIZ (plg)</b>	<b>TAMIZ (mm)</b>	<b>RETENIDO PARCIAL (gr)</b>	<b>RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>% QUE PASA ASTM</b>
3/8"	9,5	0	0	0,00	100,00	100
#4	4,75	56,6	56,6	8,09	91,91	95-100
#8	2,36	142,4	199	28,43	71,57	80-100
#16	1,18	91,6	290,6	41,51	58,49	50-85
#30	0,6	87,3	377,9	53,99	46,01	25-60
#50	0,3	96,8	474,7	67,81	32,19	10-30
#100	0,15	109,9	584,6	83,51	16,49	2-10
#200	0,08	65,2	649,8	92,83	7,17	-
<b>FUENTE</b>		49,8	699,6	99,94	0,06	-
<b>MÓDULO DE FINURA</b>				<b>2,83</b>		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 27.-** Granulometría del agregado fino ensayo 1

**CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO (MUESTRA 1)**



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

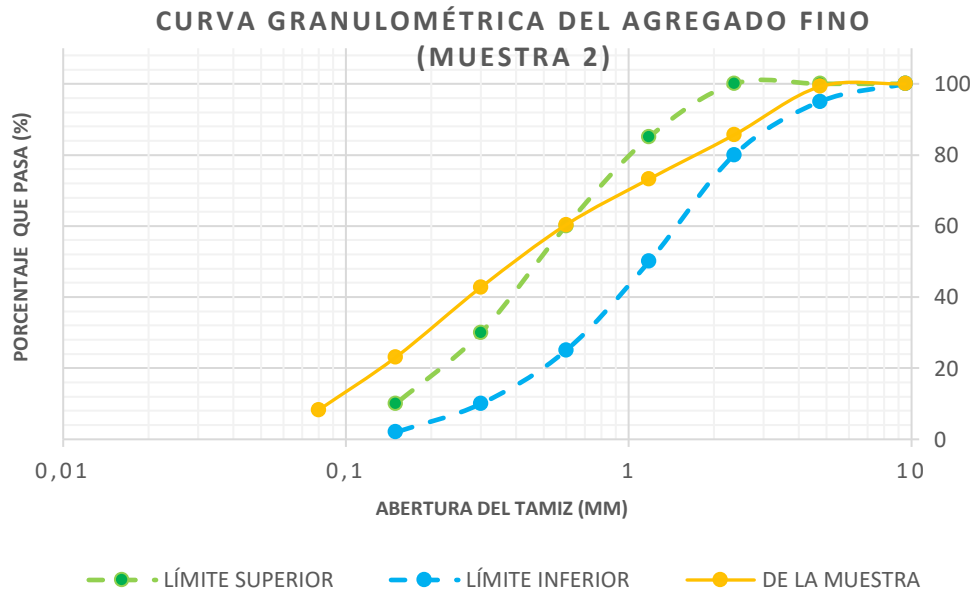
## Granulometría del Agregado Fino (2do Ensayo)

**Tabla 67.-** Granulometría del agregado fino ensayo 2

<b>ORIGEN:</b>		Cantera de Salcedo				
<b>ENSAYADO POR:</b>		Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	09/12/2022		
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 696				
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>		700	<b>PÉRDIDA DE LA MUESTRA:</b>		0,04%	
<b>TAMIZ (plg)</b>	<b>TAMIZ (mm)</b>	<b>RETENIDO PARCIAL (gr)</b>	<b>RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>% QUE PASA ASTM</b>
3/8"	9,5	0	0	0,00	100,00	100
#4	4,75	5,42	5,42	0,77	99,23	95-100
#8	2,36	95,05	100,47	14,35	85,65	80-100
#16	1,18	87,08	187,55	26,79	73,21	50-85
#30	0,6	90,18	277,73	39,68	60,32	25-60
#50	0,3	122,89	400,62	57,23	42,77	10-30
#100	0,15	137,79	538,41	76,92	23,08	2-10
#200	0,08	103,94	642,35	91,76	8,24	-
FUENTE		55,68	698,03	99,72	0,28	-
<b>MÓDULO DE FINURA</b>				<b>2.16</b>		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 28.-** Granulometría del agregado fino ensayo 2



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

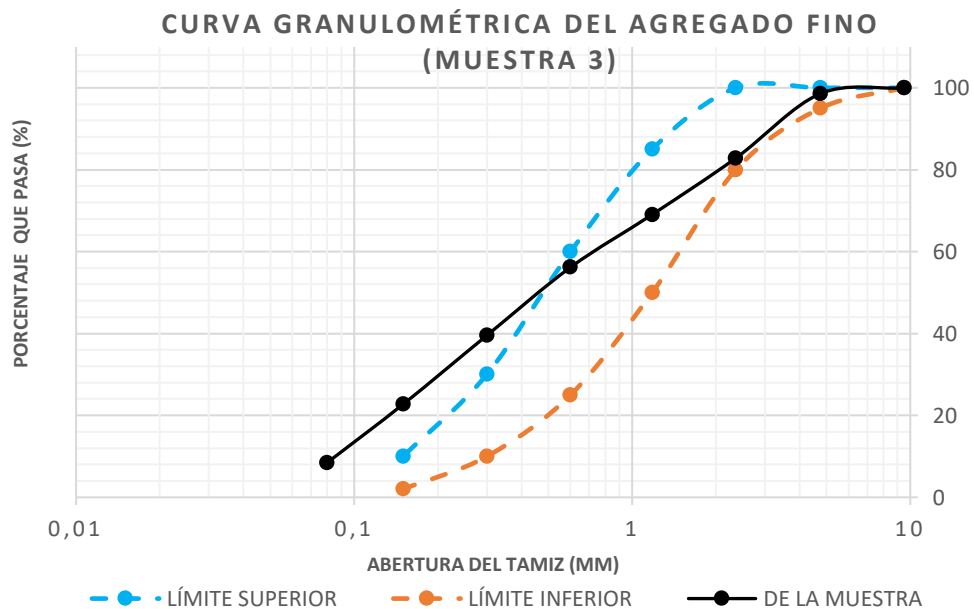
## Granulometría del Agregado Fino (3er Ensayo)

**Tabla 68.-** Granulometría del agregado fino ensayo 3

<b>ORIGEN:</b>		Cantera de Salcedo				
<b>ENSAYADO POR:</b>		Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	09/12/2022		
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 696				
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr):</b>		700	<b>PÉRDIDA DE LA MUESTRA:</b>		0,04%	
<b>TAMIZ (plg)</b>	<b>TAMIZ (mm)</b>	<b>RETENIDO PARCIAL (gr)</b>	<b>RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>% QUE PASA ASTM</b>
3/8"	9,5	0	0	0,00	100,00	100
#4	4,75	9,99	9,99	1,43	98,57	95-100
#8	2,36	110,1	120,09	17,16	82,84	80-100
#16	1,18	96,53	216,62	30,95	69,05	50-85
#30	0,6	90,14	306,76	43,82	56,18	25-60
#50	0,3	116,54	423,3	60,47	39,53	10-30
#100	0,15	117,63	540,93	77,28	22,72	2-10
#200	0,08	99,78	640,71	91,53	8,47	-
FUENTE		57,54	698,25	99,75	0,25	-
<b>MÓDULO DE FINURA</b>				<b>2.31</b>		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 29.-** Granulometría agregado fino ensayo 3



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

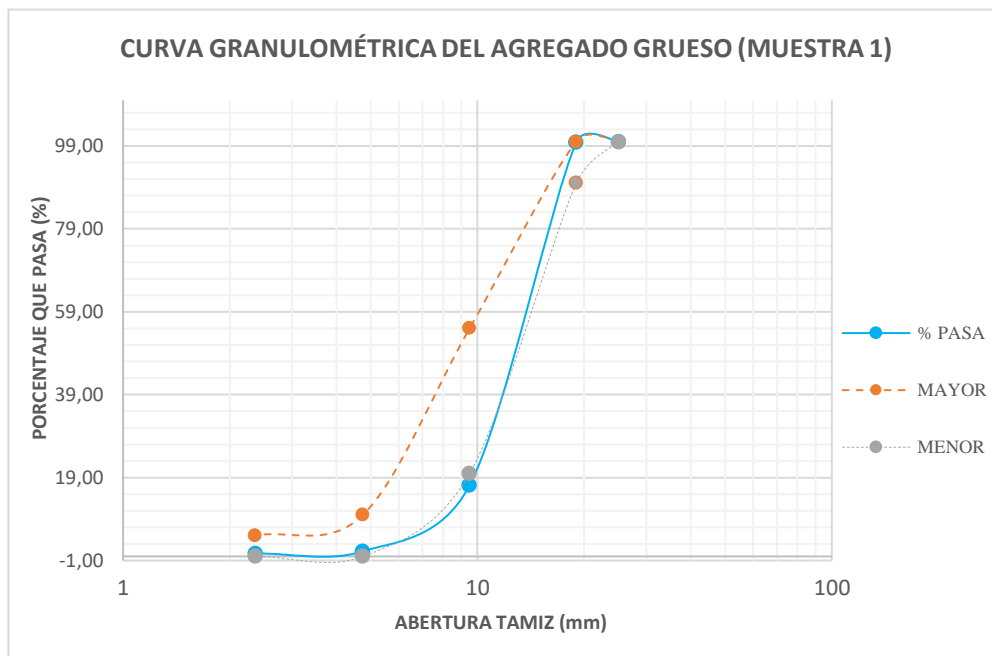
## A2. Granulometría del Agregado Grueso (1er Ensayo)

Tabla 69.- Granulometría del agregado grueso ensayo 1

<b>ORIGEN:</b>		Cantera de Salcedo				
<b>ENSAYADO POR:</b>		Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>		09/12/2022	
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 696				
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr)</b>		8000		<b>PÉRDIDA DE LA MUESTRA:</b>		0,01%
<b>TAMIZ (plg)</b>	<b>TAMIZ (mm)</b>	<b>RETENIDO PARCIAL (gr)</b>	<b>RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>% QUE PASA ASTM</b>
1"	25	0	0	0,00	100,00	100
3/4"	19	9,7	9,7	0,12	99,88	90-100
1/2"	12,5	1100	1109,7	13,87	86,13	-
3/8"	9,5	5521	6630,7	82,88	17,12	20-55
#4	4,75	1270,5	7901,2	98,77	1,24	0 - 10
#8	2,36	43,4	7944,6	99,31	0,69	0 - 5
FUENTE		54	7998,6	99,98	0,02	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO				3/4"		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

Gráfico 30.- Granulometría del agregado grueso ensayo 1



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

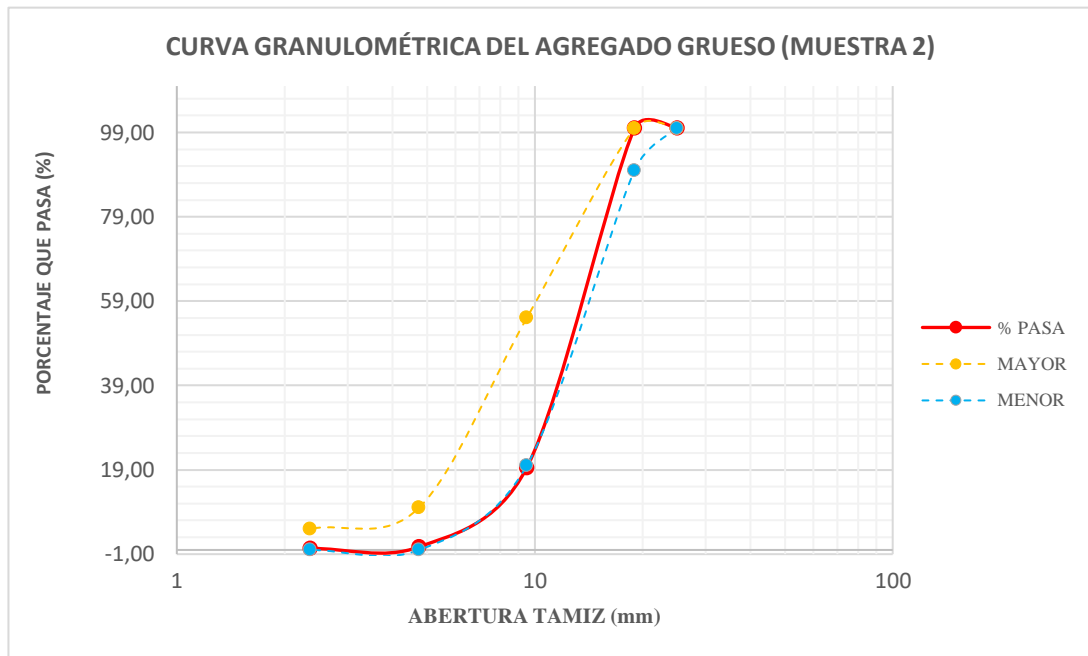
## Granulometría del Agregado Grueso (2do Ensayo)

**Tabla 70.-** Granulometría del agregado fino ensayo 2

<b>ORIGEN:</b>			Cantera de Salcedo			
<b>ENSAYADO POR:</b>			Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	09/12/2022	
<b>NORMA:</b>			NTE INEN 696			
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr)</b>			8000	<b>PÉRDIDA DE LA MUESTRA:</b>		0,01%
<b>TAMIZ (plg)</b>	<b>TAMIZ (mm)</b>	<b>RETENIDO PARCIAL (gr)</b>	<b>RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>% QUE PASA ASTM</b>
1"	25	0	0	0,00	100,00	100
3/4"	19	0	0	0,00	100,00	90-100
1/2"	12,5	1971	1971	24,64	75,36	-
3/8"	9,5	4469	6440	80,50	19,50	20-55
#4	4,75	1502	7942	99,28	0,73	0 - 10
#8	2,36	30	7972	99,65	0,35	0 - 5
FUENTE		22	7994	99,93	0,08	-
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO</b>				3/4"		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 31.-** Granulometría del agregado fino ensayo 2



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

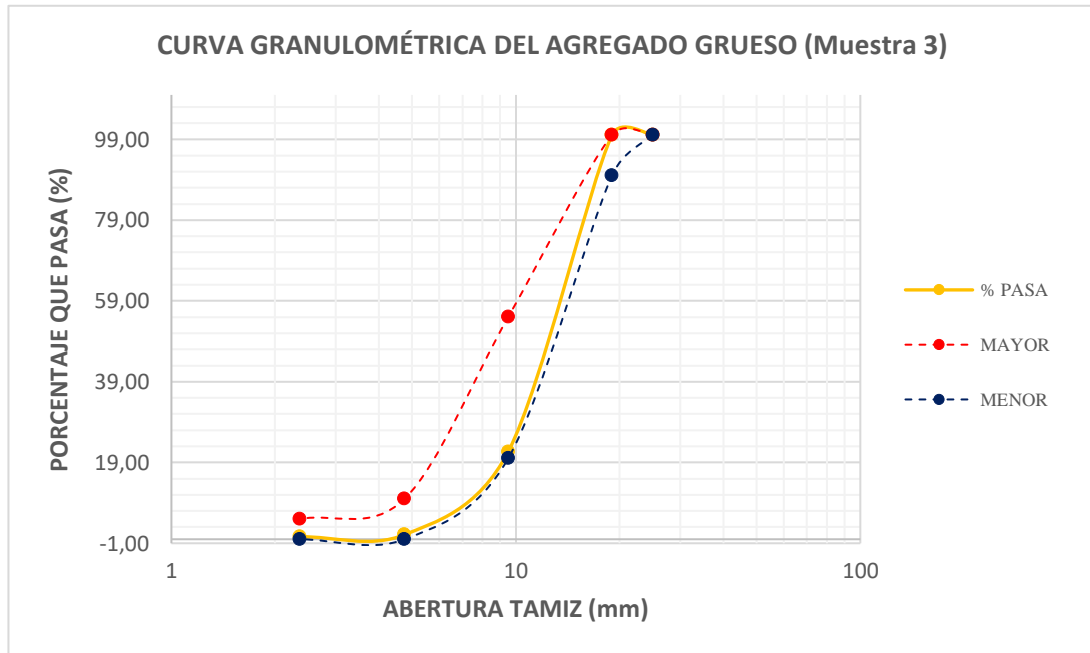
## Granulometría del Agregado Grueso (3er Ensayo)

**Tabla 71.-** Granulometría del agregado fino ensayo 3

<b>ORIGEN:</b>		Cantera de Salcedo				
<b>ENSAYADO POR:</b>		Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	09/12/2022		
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 696				
<b>PESO DE LA MUESTRA (gr)</b>		8000		<b>PÉRDIDA DE LA MUESTRA:</b>		0,01%
<b>TAMIZ (plg)</b>	<b>TAMIZ (mm)</b>	<b>RETENIDO PARCIAL (gr)</b>	<b>RETENIDO ACUMULADO (gr)</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>% QUE PASA ASTM</b>
1"	25	0	0	0,00	100,00	100
3/4"	19	0	0	0,00	100,00	90-100
1/2"	12,5	1647	1647	20,59	79,41	-
3/8"	9,5	4620	6267	78,34	21,66	20-55
#4	4,75	1642	7909	98,86	1,14	0 - 10
#8	2,36	42	7951	99,39	0,61	0 - 5
FUENTE		22	7973	99,66	0,34	-
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO</b>				<b>3/4"</b>		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 32.-** Granulometría del agregado fino ensayo 3



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

### A3. Densidad aparente suelta y compactada de los agregados

**Tabla 72.-** Densidad aparente y suelta de la arena

<b>ORIGEN:</b>		Cantera de Salcedo		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	06/12/2022	
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>MASA DEL RECIPIENTE:</b>		9.8 Kg		
<b>VOLUMEN DEL RECIPIENTE:</b>		20.22 dm <sup>3</sup>		
<b>DENSIDAD APARENTE</b>	<b>AGREGADO+RECIPIENTE (GK)</b>	<b>AGREGADO (GK)</b>	<b>DENSIDAD APARENTE (KG/DM<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD APARENTE PROMEDIO (KG/DM<sup>3</sup>)</b>
SUELTA	39,40	29,60	1,46	1,491
	39,45	29,65	1,47	
	41,00	31,20	1,54	
COMPACTADA	41,60	31,80	1,57	1,612
	42,40	32,60	1,61	
	43,18	33,38	1,65	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 73.-** Densidad aparente y suelta de la grava

<b>ORIGEN:</b>		Cantera de Salcedo		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	06/12/2022	
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>MASA DEL RECIPIENTE:</b>		9.8 Kg		
<b>VOLUMEN DEL RECIPIENTE:</b>		20.22 dm <sup>3</sup>		
<b>DENSIDAD APARENTE</b>	<b>AGREGADO + RECIPIENTE (GK)</b>	<b>AGREGADO (GK)</b>	<b>DENSIDAD APARENTE (KG/DM<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD APARENTE PROMEDIO (KG/DM<sup>3</sup>)</b>
SUELTA	37,20	27,40	1,36	1,367
	37,50	27,70	1,37	
	37,60	27,80	1,37	
COMPACTADA	39,70	29,90	1,48	1,488
	39,60	29,80	1,47	
	40,39	30,59	1,51	

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez



#### A4. Densidad real del agregado fino

**Tabla 74.-** Densidad real del agregado fino

<b>ORIGEN:</b>		Cantera de Salcedo			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Ángela Sánchez	<b>FECHA:</b>	07/12/2022		
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 856				
<b>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO</b>					
<b>DATOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>		
			<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
m1	Masa del picnómetro	gr	162,52	145,56	165,14
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	226,45	209,35	228,93
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	698,60	681,77	701,33
m4 = m3 - m2	Masa agua añadida	gr	472,15	472,42	472,40
m5	Masa picnómetro + 500 cc agua	gr	661,19	644,23	663,68
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cc agua	gr	498,67	498,67	498,54
da = m6/500cc	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00
m7 = m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	26,52	26,25	26,14
Msss = m2 - m1	Masa del agregado	gr	63,93	63,79	63,79
Vsss = m7/da	Volumen de agua desalojada	cm <sup>3</sup>	26,59	26,32	26,22
DRA = Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	2,40	2,42	2,43
DRPA	Densidad real de la arena promedio	gr/cm <sup>3</sup>	2,420		
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>					
<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>		
			<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
m8	Masa del recipiente	gr	33,40	32,50	30,32
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	178,30	144,00	150,16
m10 = m9 - m8	Masa de la Muestra SSS	gr	144,90	111,50	119,84

m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	175,00	142,00	149,29
m12 = m11 - m8	Masa de la muestra seca	gr	141,60	109,50	118,97
$CA = ((m10 - m12)/m12)*100$	Capacidad de absorción	%	2,33	1,83	0,73
$CA = (CA1+CA2)/2$	Capacidad de absorción promedio	%	1,63		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

## A5. Densidad real del agregado grueso

**Tabla 75.-** Densidad real del agregado grueso

<b>ORIGEN:</b>		Cantera de Salcedo			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Ángela Sánchez	<b>FECHA:</b>	07/12/2022		
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 857				
<b>DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO</b>					
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR		
			MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1181,00	1178,00	1180,00
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1027,00	1019,00	1027,00
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6842,00	6589,00	6292,00
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	4531,00	4357,00	4147,00
da	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,00
m5 = m3-m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	5661,00	5411,00	5112,00
m6 = m4-m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3504,00	3338,00	3120,00
$V_{sss} = (m6 - m5)/da$	Volumen del agregado	cm <sup>3</sup>	2157,00	2073,00	1992,00
$DRR = m5/V_{sss}$	Densidad real del ripio	gr/cm <sup>3</sup>	2,62	2,61	2,57
DRPR	Densidad real del ripio promedio	gr/cm <sup>3</sup>	2,600		
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>					
DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR		
			MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
m7	Masa del recipiente	gr	30,30	30,60	31,87
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	252,70	251,90	213,12
m9 = m8-m7	Masa de la Muestra SSS	gr	222,40	221,30	181,25
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	246,00	245,00	207,34
m11 = m10-m7	Masa de la muestra seca	gr	215,70	214,40	175,47
$CA = ((m9 - m11)/m11)*100$	Capacidad de absorción	%	3,11	3,22	3,29
$CA = (CA1+CA2)/2$	Capacidad de absorción promedio	%	3,21		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**A6. Densidad aparente suelta y compactada de la mezcla**

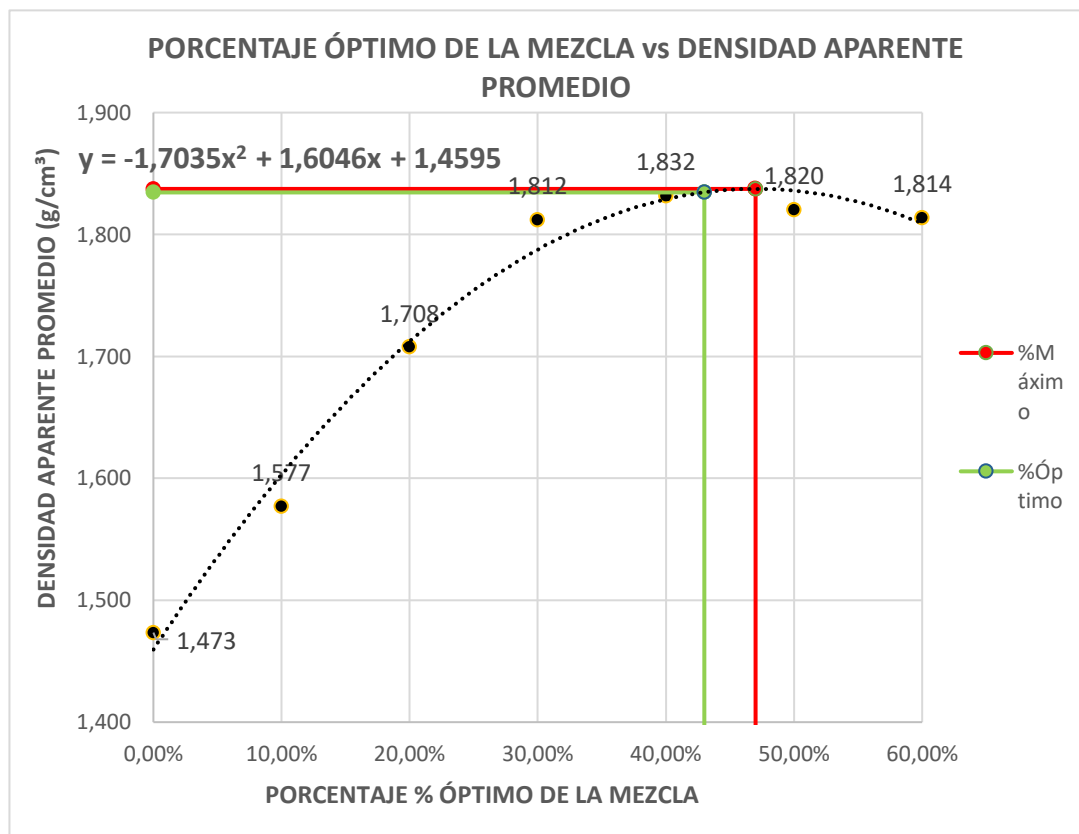
**Tabla 76.- Densidad Aparente Compactada de la Mezcla**

<b>ORIGEN:</b>				Cantera de Salcedo				
<b>ENSAYADO POR:</b>				Ángela Sánchez Muñoz		<b>FECHA:</b>	6/12/2022	
<b>NORMA:</b>				NTE INEN 858:2010				
<b>MASA DEL RECIPIENTE:</b>				10 Kg				
<b>VOLUMEN DEL RECIPIENTE:</b>				20.29 dm <sup>3</sup>				
% MEZCLA		CANTIDAD (KG)		FINO AÑADIDO (KG)	AGREGADO+ RECIPIENTE (KG)	AGREGADO (KG)	D.A. MEZCLA (KG/DM <sup>3</sup> )	D.A.PROMEDIO (KG/DM <sup>3</sup> )
A.GRUESO	A.FINO	A.GRUESO	A.FINO	A.FINO	AGREGADO FINO + AGREGADO GRUESO			
100%	0%	40	0	0,00	39,70	29,70	1,46	1,473
					39,60	29,60	1,46	
					40,39	30,39	1,50	
90%	10%	40	4,44	4,44	42,00	32,00	1,58	1,577
					42,20	32,20	1,59	
					41,80	31,80	1,57	
80%	20%	40	10,00	5,56	44,45	34,45	1,70	1,708
					44,60	34,60	1,71	
					44,90	34,90	1,72	
70%	30%	40	17,14	7,14	46,60	36,60	1,80	1,812
					46,20	36,20	1,78	
					47,50	37,50	1,85	
60%	40%	40	26,67	9,52	47,05	37,05	1,83	1,832
					46,25	36,25	1,79	
					48,20	38,20	1,88	
50%	50%	40	40,00	13,33	46,00	36,00	1,77	1,820
					46,60	36,60	1,80	
					48,20	38,20	1,88	
40%	60%	40	60,00	20,00	46,10	36,10	1,78	1,814
					46,40	36,40	1,79	
					47,90	37,90	1,87	
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO FINO						47	%	
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO						53	%	
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO						43	%	
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO						57	%	
DENSIDAD APARENTE MÁXIMA DE LA MEZCLA						1,837	Kg/dm <sup>3</sup>	

DENSIDAD APARENTE ÓPTIMA DE LA MEZCLA	1,835	Kg/dm <sup>3</sup>
---------------------------------------	-------	--------------------

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Gráfico 33.- Densidad Aparente Compactada de la Mezcla**



Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

## A7. Contenido de Humedad de los agregados

**Tabla 77.-** Contenido de humedad del agregado fino

<b>ORIGEN:</b>	Cantera de Salcedo			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	06/12/2022	
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 856			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>ENSAYO 1</b>	<b>ENSAYO 2</b>	<b>ENSAYO 3</b>
Recipiente vacío	gr	30	31	30
Recipiente + agregado (húmedo natural)	gr	116	137	122
Recipiente + agregado (seco al horno)	gr	112	132	118
Masa agregado (húmedo natural)	gr	86	106	92
Masa agregado (seco al horno)	gr	82	101	88
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4,878	4,950	4,545
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	%	4,791		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 78.-** Contenido de humedad del agregado grueso

<b>ORIGEN:</b>	Cantera de Salcedo			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Ángela Sánchez Muñoz	<b>FECHA:</b>	06/12/2022	
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 856			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>ENSAYO 1</b>	<b>ENSAYO 2</b>	<b>ENSAYO 3</b>
Recipiente vacío	gr	119,4	109,9	30
Recipiente + agregado (húmedo natural)	gr	844,7	894,9	177
Recipiente + agregado (seco al horno)	gr	828,4	876,7	175,42
Masa agregado (húmedo natural)	gr	725,3	785	147
Masa agregado (seco al horno)	gr	709	766,8	145,42
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2,299	2,374	1,087
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	%	1,920		

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

## A8. Ensayo de fraguado con el aparato automático de Vicat

**Tabla 79.-** Registro del Aparato Automático de Vicat de la pasta de cemento

ID.	Penetración (mm)	Tiempo (m.s)
1	0.1	0
2	0.2	10
3	0.1	20
4	0.1	30
5	0.2	40
6	0.1	50
7	0.1	60
8	0.2	70
9	0.1	80
10	0.7	90
11	0.7	100
12	0.9	110
13	1.1	120
14	1.4	130
15	1.6	140
16	1.7	150
17	1.9	160
18	2.5	170
19	1.7	180
20	3.6	190
21	5.5	200
22	31.2	210
23	35.5	220
24	37.6	230
25	37.3	240
26	40.1	250
27	40.4	260
28	40.8	270
29	41.3	280
30	41.6	290
31	41.7	300
32	41.3	310
33	40.6	320
34	40.7	330
35	40.9	340
36	41.3	350
37	41.5	360
38	41.6	370
39	41.7	380

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 80.-** Registro del Aparato Automático de Vicat de la pasta con 10% de ceniza

ID.	Penetración (mm)	Tiempo (m.s)
1	0.1	0
2	0.1	10
3	0.1	20
4	0.1	30
5	0.1	40
6	0.1	50
7	0.3	60
8	0.2	70
9	0.6	80
10	1	90
11	1.3	100
12	0.7	110
13	0.9	120
14	3	130
15	3.4	140
16	3.2	150
17	4.3	160
18	3.6	170
19	5.9	180
20	14.9	190
21	29.2	200
22	35.4	210
23	37	220
24	37.2	230
25	37.3	240
26	35.2	250
27	38	260
28	39	270
29	39.4	280
30	39.4	290
31	38.6	300
32	38.6	310
33	38.6	320
34	38.7	330
35	38.8	340
36	39.1	350
37	39.2	360
38	39.5	370
39	39.6	380

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez



**Tabla 81.-** Registro del Aparato Automático de Vicat de la pasta con 20% de ceniza

<b>ID.</b>	<b>Penetración (mm)</b>	<b>Tiempo (m.s)</b>
1	0.1	0
2	0.1	10
3	0.2	20
4	0.2	30
5	0	40
6	0.2	50
7	0.1	60
8	0.1	70
9	0.1	80
10	0.1	90
11	0.2	100
12	0.3	110
13	1	120
14	1.1	130
15	3.2	140
16	3.2	150
17	3.5	160
18	5.3	170
19	13	180
20	18.1	190
21	31.9	200
22	36.8	210
23	37.1	220
24	37.3	230
25	37.9	240
26	39	250
27	39.5	260
28	33.8	270
29	40.1	280
30	40.1	290
31	40.1	300
32	40.1	310
33	39.9	320
34	39.4	330
35	39.3	340
36	39.4	350
37	39.8	360
38	40.1	370
39	40.1	380

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 82.-** Registro del Aparato Automático de Vicat de la pasta con 30% de ceniza

<b>ID.</b>	<b>Penetración (mm)</b>	<b>Tiempo (m.s)</b>
1	0.1	0
2	0.1	10
3	0.2	20
4	0.1	30
5	0	40
6	0.1	50
7	0.1	60
8	0.1	70
9	0.2	80
10	0.2	90
11	1	100
12	1.6	110
13	2.5	120
14	1.6	130
15	3.6	140
16	5.2	150
17	13.3	160
18	27.8	170
19	35.8	180
20	37	190
21	36.8	200
22	36.7	210
23	37.3	220
24	37.9	230
25	38.2	240
26	38.9	250
27	39.3	260
28	39.4	270
29	39.4	280
30	39.5	290
31	39.6	300
32	39.7	310
33	39.3	320
34	39	330
35	38.9	340
36	39.3	350
37	39.5	360
38	39.6	370
39	39.7	380

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**A9. Dosificación correspondiente al porcentaje de incorporación de ceniza volcánica**

**Tabla 83.-** Requerimiento para la dosificación por el método de la densidad óptima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Tema:</b> “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”					
Realizado por:	Ángela Sánchez	Fecha:	12/4/2022		
DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA					
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
DATOS	VALOR	UNIDAD			
f 'c	240.000	Kg/cm <sup>2</sup>	W/C	0.56	
Asentamiento	6 a 9	cm	CP (%)	POV + 2% +8%(POV)	
DRC	2.870	gr/cm <sup>3</sup>	CÁLCULOS		
DRA	2.420	gr/cm <sup>3</sup>	DRM	2.523	Kg/dm <sup>3</sup>
DRR	2.600	gr/cm <sup>3</sup>	POV	27.258	%
DSA	1.491	gr/cm <sup>3</sup>	CP	314.382	dm <sup>3</sup>
DSR	1.367	gr/cm <sup>3</sup>	C	346.071	Kg
POA	43.000	%	W	193.800	Its
POR	57.000	%	A	713.454	Kg
DOM	1.835	gr/cm <sup>3</sup>	R	1016.086	Kg
DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg /c m <sup>3</sup> de HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO		
W	193.800		0.56		
C	346.071		1.00		
A	713.454		2.06		
R	1016.086		2.94		
TOTAL	2269.411		Kg/m <sup>3</sup> del Hormigón		
NOMENCLATURA:					
DRC	Densidad Real del Cemento	CP (%)	Cantidad de Pasta en %		
DRA	Densidad Real de la A rena	DRM	Densidad real de la Mezcla		
DRR	Densidad Real del Ripio	POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos		
DSA	Densidad Suelta de la Arena	CP	Cantidad de Pasta		
DSR	Densidad Suelta del Ripio	C	Cantidad de Cemento		
POA	Porcentaje Óptimo de Arena	W	Cantidad de Agua		
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio	A	Cantidad de Arena		
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla	R	Cantidad de Ripio		
W/C	Relación Agua Cemento				

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 84.-** Dosificación del hormigón convencional  $f'c$  240 kg/cm<sup>2</sup>

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Tema: “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”						
Realizado por:	Ángela Sánchez			Fecha:	12/4/2022	
<b>DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN F' C 240</b>						
<b>VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA</b>						
Volumen por cilindro (m <sup>3</sup> )			0.0016			
Días de curado		7	14	21	28	
Número de cilindros		3	3	3	3	
Total de cilindros por parada			15			
Volumen de Hormigón por parada (m <sup>3</sup> )			0.0328			
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA</b>						
Materiales		Cantidad necesaria por parada		Unidad		
Agua		6.36		Kg		
Cemento		11.36		Kg		
Arena		23.41		Kg		
Ripio		33.34		Kg		
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO DEL HORMIGÓN</b>						
Materiales	Capacidad de absorción (CA %)	Contenido de Humedad (CH %)	Corrección de Humedad		Cantidad corregida por parada	Unidad
			%	Kg		
Agua	-	-	-	-0.31	6.05	Lt
Cemento	-	-	-		11.36	Kg
Arena	1.63	4.791	-3.161	-0.74	24.15	Kg
Ripio	3.21	1.92	1.29	0.43	32.91	Kg

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

**Tabla 85.-** Cuadro resumen de la dosificación final para cada porcentaje de sustitución

Nominación	Sustitución (%)	Agua (lt)	Cemento (kg)	Ceniza (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)
HT 0%	0	7,24	13,60	0	24,15	32,91
HC 10%	10	7,24	12,24	1,36	24,15	32,91
HC 20%	20	7,24	10,88	2,72	24,15	32,91
HC 30%	30	7,24	9,52	4,08	24,15	32,91

Fuente: Trabajo Experimental – Ángela Sánchez

HT 0%	Hormigón Tradicional, 0% de sustitución del cemento por ceniza
HC 10%	Hormigón con 10% de sustitución del cemento por ceniza
HC 20%	Hormigón con 20% de sustitución del cemento por ceniza
HC 30%	Hormigón con 30% de sustitución del cemento por ceniza

**A10. Anexos Fotográficos**



**Fotografía 1.-** Grava de tamaño nominal máximo 19 mm de Salcedo.



**Fotografía 2.-** Arena fina para hormigón de Salcedo.



**Fotografía 3.-** Cemento Hidráulico Holcim Tipo GU.



**Fotografía 4.-** Granulometría del agregado grueso.



**Fotografía 5.-** Granulometría del agregado fino (arena).



**Fotografía 6.-** Contenido de Humedad del agregado fino.



**Fotografía 7.-** Contenido de Humedad del agregado grueso.



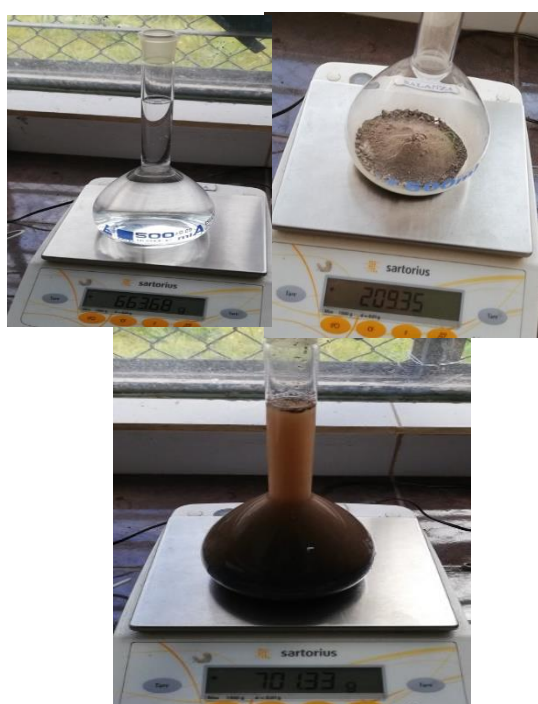
**Fotografía 8.-** Capacidad de absorción del agregado grueso.



**Fotografía 9.-** Capacidad de absorción del agregado fino.



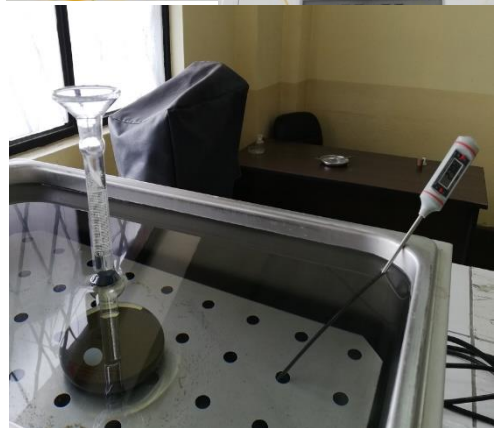
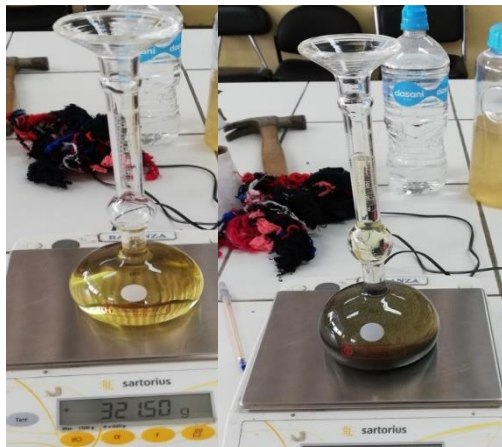
**Fotografía 10.-** Densidad real del agregado grueso.



**Fotografía 11.-** Densidad real del agregado fino. Método del picnómetro.



**Fotografía 12.-** Densidad real del cemento. Método del picnómetro.



**Fotografía 13.-** Densidad real del cemento. Método Le Chatelier.



**Fotografía 14.-** Densidad real de la ceniza. Método Le Chatelier.



**Fotografía 15.-** Obtención de la consistencia normal de la pasta de cemento para tiempo de fraguado.



**Fotografía 16.-** Ensayo de tiempo de fraguado de la pasta de cemento en el Aparato automático de Vicat.





**Fotografía 17.-** Preparación del equipo de Blaine para el ensayo de finura del cemento y la ceniza.



**Fotografía 18.-** Colocación de la cápsula de permeabilidad para calibración del equipo de Blaine.



**Fotografía 19.-** Pesaje de la capsula de permeabilidad con mercurio.



**Fotografía 20.-** Registro del peso de la capsula de permeabilidad más cemento.



**Fotografía 21.-** Densidad aparente suelta del agregado grueso.



**Fotografía 22.-** Densidad aparente suelta del agregado fino.



**Fotografía 23.-** Densidad aparente compactada del agregado grueso.



**Fotografía 24.-** Densidad aparente compactada de la mezcla.



**Fotografía 25.-** Cilindros metálicos de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.

**Fotografía 26.-** Denominación de cilindros.



**Fotografía 27.-** Pesaje y registro de los cilindros metálicos para hormigón con 20% de ceniza.

**Fotografía 28.-** Pesaje y registro de los cilindros metálicos para hormigón con 30% de ceniza.



**Fotografía 29.-** Preparación de cada uno de los materiales y equipos para la elaboración del hormigón.



**Fotografía 30.-** Colocación del agregado grueso en la mezcla de concreto.



**Fotografía 31.-** Colocación del cemento en la mezcla de concreto.



**Fotografía 32.-** Colocación del agua de amasado.



**Fotografía 33.-** Colocación de la arena para el concreto.



**Fotografía 34.-** Colocación de la ceniza volcánica.



**Fotografía 35.-** Ensayo de asentamiento del hormigón con el cono de Abrams, vertido de hormigón.



**Fotografía 36.-** Ensayo de asentamiento del hormigón con el cono de Abrams, levantamiento del molde.



**Fotografía 37.-** Ensayo de asentamiento del hormigón con el cono de Abrams, medición y registro del asentamiento.



**Fotografía 38.-** Registro de pesos de cilindros de hormigón fresco.



**Fotografía 39.-** Registro de pesos de cilindros de hormigón fresco.



**Fotografía 40.-** Desencofrado de los cilindros de hormigón.



**Fotografía 41.-** Retiro de los cilindros de hormigón de la cámara de curado.



**Fotografía 42.-** Medición y registro de dimensiones de cilindros de hormigón endurecido.



**Fotografía 43.-** Pesaje de cilindros de hormigón en estado endurecido.



**Fotografía 44.-** Preparación de los cilindros de hormigón, para el ensayo a compresión.



**Fotografía 45.-** Ensayo a compresión del hormigón.



**Fotografía 46.-** Esquema de falla del hormigón.



**Fotografía 47.-** Cilindros ensayados.