



**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:**

---

**“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL  
HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: MORA UBICADA EN EL  
CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CANTERA  
VOLCÁN UBICADA EN EL CANTÓN BAÑOS PROVINCIA DE  
TUNGURAHUA”**

---

**AUTORA:** Nathaly Michelle Masaquiza Páez

**TUTOR:** Ing. Mg. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla

**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: **“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: MORA UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CANTERA VOLCÁN UBICADA EN EL CANTÓN BAÑOS PROVINCIA DE TUNGURAHUA”** , elaborado por la Srta. **Nathaly Michelle Masaquiza Páez**, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 180459188-9, 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 en cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2022



.....  
**Ing. Mg. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla**

**TUTORA**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Nathaly Michelle Masaquiza Páez**, con C.I. 180459188-9 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: MORA UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CANTERA VOLCÁN UBICADA EN EL CANTÓN BAÑOS PROVINCIA DE TUNGURAHUA”** así como también los análisis estadísticos, gráficos, 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



.....  
**Nathaly Michelle Masaquiza Páez**

**C.I. 180459188-9**

**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 proceso 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 producción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.

Ambato, septiembre 2022



**Nathaly Michelle Masaquiza Páez**

**C.I. 180459188-9**

**AUTORA**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Nathaly Michelle Masaquiza Páez de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: MORA UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CANTERA VOLCÁN UBICADA EN EL CANTÓN BAÑOS PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

Ambato, septiembre 2022

Para constancia firman:



.....  
Ing. Mg. Alex Gustavo López Arboleda

**MIEMBRO CALIFICADOR**



.....  
Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandun

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada primeramente a Dios por que es quien a guiado mis pasos.

A mis padres Julio Cesar y María Elena ya que son un pilar fundamental siempre han estado ahí brindándome su apoyo y consejo incondicional para hacer de mi, una mejor persona, por enseñarme que debo tener sueños y metas, que debo ser perseverante, que no importan los obstáculos que tenga siempre debo mirar el lado positivo de cada obstáculo y no rendirme.

A mi hermana Daysi Alexandra por estar apoyándome y dándome fuerzas para seguir luchando por mis sueños y no rendirme.

A mi ñaño Aníbal que no está físicamente entre nosotros pero que me dio el empujoncito para elegir mi carrera, me hubiera gustado mucho que en este momento estuviera conmigo, sé que se sentiría muy feliz y sería su mayor orgullo como me lo decía, pero Dios tenía preparado algo mejor para usted, sé que desde el cielo me guía y cuida, siempre vela por mis sueños de poder ser una profesional, un día se lo prometí y hoy estoy cumpliendo nuestro sueño.

A mi hija Lía Poleth que es una gran bendición en vida, llegó a llenarme de alegrías cada instante de mi vida, por ser fuente de motivación para poder superarme y ser un ejemplo para ella.

Resulta para mí una gran satisfacción poder dedicarles a ellos este logro, que con mucho esfuerzo, dedicación, esmero y arduo trabajo me lo he ganado. Gracias por ser parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.

Nathaly Masaquiza

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que me abrió sus puertas para permitir formar parte de tan prestigiosa institución y a la vez formarme como profesional para contribuir con el desarrollo de la sociedad.

A mi tutora Ing. Mg. Gabriela Peñafiel por su paciencia, dedicación y su tiempo entregado a lo largo de este proyecto.

A los miembros de los laboratorios de la carrera de Ingeniería Civil por su ayuda y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A todos los docentes por transmitir todo su conocimiento y ser nuestros guías durante toda la carrera universitaria, ya que es nuestro segundo hogar.

A todos mis amigos y a mi mejor amigo, por compartir momentos buenos y malos a lo largo de nuestra formación académica.

Nathaly Masaquiza

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR</b> .....	<b>iv</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Justificación .....	3
1.1.3. Fundamentación teórica.....	4
1.1.3.1. Agregados o áridos .....	4
1.1.3.2. Arena, árido o agregado fino .....	5
1.1.3.3. Ripio, grava, árido o agregado grueso.....	7
1.1.3.4. Propiedades de los agregados .....	10
1.1.3.5. Impurezas orgánicas .....	16
1.1.3.6. El Agua en el hormigón.....	16
1.1.3.7. Cemento Portland .....	17
1.1.3.8. Módulo de elasticidad estático del hormigón .....	18
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>21</b>
2.1. Nivel o tipo de investigación.....	21
2.3. Materiales y Equipos.....	22
2.4. Métodos .....	27

2.4.1.	Plan de recolección de datos .....	27
2.4.2.	Muestreo.....	27
2.4.3.	Ensayos de caracterización de agregados .....	27
2.4.4.	Elaboración de probetas para etapa inicial y final y ensayos en estado fresco y endurecido.....	28
2.4.5.	Procesamiento de datos y análisis de la información.....	28
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>29</b>
	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>29</b>
3.1.	Análisis y discusión de resultados.....	29
3.1.1.	Determinación de la densidad real del cemento.....	29
3.1.2.	Ensayos realizados a los agregados.....	30
3.1.2.1.	Toma de muestras in situ .....	30
3.1.2.2.	Reducción de muestras a tamaño de ensayo.....	30
3.1.2.3.	Determinación del material más fino que pasa el tamiz No. 200 .	31
3.1.2.4.	Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino. ....	32
3.1.2.5.	Granulometría de los agregados .....	33
3.1.2.6.	Determinación de la densidad real de los agregados.....	39
3.1.2.7.	Determinación de la capacidad de absorción de los agregados. ...	43
3.1.2.8.	Determinación de la densidad aparente de los agregados para la condición suelta y compactada.....	47
3.1.3.	Diseño de mezclas con el método de la densidad óptima .....	53
3.1.3.1.	Condiciones de diseño .....	53
3.1.3.2.	Valores obtenidos en laboratorio .....	54
3.1.3.3.	Cantidades para mezclar .....	55
3.1.4.	Elaboración de probetas .....	56
3.1.4.1.	Para fase de prueba .....	56
3.1.4.2.	Para fase definitiva.....	59
3.1.5.	Determinación del módulo de elasticidad del hormigón.....	64
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>70</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
4.1.	Conclusiones específicas .....	70
4.2.	Recomendaciones .....	72
<b>5.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>73</b>

<b>Anexos .....</b>	<b>77</b>
---------------------	-----------

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis granulométrico del árido fino.....	6
Tabla 2. Análisis granulométrico del árido grueso. ....	9
Tabla 3. Ejemplo resultados de un ensayo granulométrico.....	11
Tabla 4. Ejemplo resultados de un ensayo granulométrico.....	12
Tabla 5. Cantidad de probetas a elaborar para fase final. ....	22
Tabla 6. Materiales.....	23
Tabla 7 Equipos.....	24
Tabla 8. Ensayo densidad real del cemento. ....	29
Tabla 9. Parámetros de control.....	29
Tabla 10. material más fino que pasa el tamiz No. 200 .....	31
Tabla 11. material más fino que pasa el tamiz No. 200 .....	31
Tabla 12. Parámetros de control.....	31
Tabla 13. Impurezas orgánicas en el árido fino de cantera Volcán. ....	32
Tabla 14. Impurezas orgánicas en el árido fino de mina Mora.....	32
Tabla 15. Granulometría del agregado fino, para cantera volcán. ....	33
Tabla 16. Granulometría del agregado fino, para cantera Volcán. ....	33
Tabla 17. Granulometría del agregado fino, para mina Mora.....	34
Tabla 18. Granulometría del agregado fino, para mina Mora.....	34
Tabla 19. Granulometría del agregado grueso, para cantera Volcán. ....	36
Tabla 20. Granulometría del agregado grueso, para cantera Volcán. ....	36
Tabla 21. Granulometría del agregado grueso, para mina Mora.....	37
Tabla 22. Granulometría del agregado grueso, para mina Mora.....	38
Tabla 23. Densidad real del agregado fino para mina Mora. ....	39
Tabla 24. Densidad real del agregado fino para mina Mora. ....	39
Tabla 25. Densidad real del agregado fino para cantera Volcán.....	40
Tabla 26. Densidad real del agregado fino para cantera Volcán.....	40
Tabla 27. Parámetros de control.....	41
Tabla 28. Densidad real del agregado grueso para mina Mora.....	41
Tabla 29. Densidad real del agregado grueso para mina Mora.....	41
Tabla 30. Densidad real del agregado grueso para cantera Volcán. ....	42
Tabla 31. Densidad real del agregado grueso para cantera Volcán. ....	42

Tabla 32. Parámetros de control.....	42
Tabla 33. Capacidad de absorción del agregado fino para mina Mora.....	43
Tabla 34. Capacidad de absorción del agregado fino para mina Mora.....	43
Tabla 35. Capacidad de absorción del agregado fino para cantera Volcán. ....	44
Tabla 36. Capacidad de absorción del agregado fino para cantera Volcán. ....	44
Tabla 37. Parámetros de control.....	44
Tabla 38. Capacidad de absorción del agregado grueso para mina Mora.....	45
Tabla 39. Capacidad de absorción del agregado grueso para mina Mora.....	45
Tabla 40. Capacidad de absorción del agregado grueso para cantera Volcán. ....	46
Tabla 41. Capacidad de absorción del agregado grueso para cantera Volcán. ....	46
Tabla 42. Parámetros de control.....	46
Tabla 43. Densidad aparente suelta para mina Mora. ....	47
Tabla 44. Densidad aparente suelta para mina Mora. ....	47
Tabla 45. Densidad aparente suelta para cantera Volcán.....	48
Tabla 46. Densidad aparente suelta para cantera Volcán.....	48
Tabla 47. Densidad aparente compactada para mina Mora .....	49
Tabla 48. Densidad aparente compactada para mina Mora. ....	49
Tabla 49. Densidad aparente compactada para cantera Volcán.....	50
Tabla 50. Densidad aparente compactada para cantera Volcán.....	50
Tabla 51. Parámetros de control para el agregado fino.....	51
Tabla 52. Parámetros de control para el agregado grueso. ....	51
Tabla 53. Densidad aparente compactada de la mezcla.....	51
Tabla 54. Densidad aparente compactada de la mezcla.....	52
Tabla 55. Condiciones de diseño para Mina Mora y Cantera Volcán. ....	53
Tabla 56. Resumen de resultado de ensayos en laboratorio para cantera Volcán.....	54
Tabla 57. Resumen de resultados de ensayos en laboratorio para mina Mora. ....	54
Tabla 58. Cantidades a mezclar para 1m <sup>3</sup> .....	55
Tabla 59. Cantidades a mezclar para 1m <sup>3</sup> .....	55
Tabla 60. Cantidades a mezclar para 1m <sup>3</sup> .....	55
Tabla 61. Cantidades a mezclar para 1m <sup>3</sup> .....	56
Tabla 62. Resultados obtenidos a los 7 y 14 días para mina Mora.....	56
Tabla 63. Resultados obtenidos a los 7 y 14 días para cantera Volcán.....	57
Tabla 64. Ensayos en el hormigón fresco para mina Mora.....	59

Tabla 65. Ensayos en el hormigón fresco para cantera Volcán. ....	59
Tabla 66. Resistencia a la compresión obtenida para cantera Volcán. ....	60
Tabla 67. Resistencia a la compresión obtenida para mina Mora. ....	62
Tabla 68. Valores obtenidos del MEE para Mina Mora $f'c= 21\text{Mpa}$ . ....	64
Tabla 69. Valores obtenidos del MEE para Mina Mora $f'c= 28 \text{Mpa}$ . ....	64
Tabla 70. Valores obtenidos del MEE para Mina Mora $f'c= 21 \text{Mpa}$ . ....	65
Tabla 71. Valores obtenidos del MEE para Mina Mora $f'c= 28 \text{Mpa}$ . ....	65
Tabla 72. Factores locales $K_a$ y $k_b$ para Cantera Volcán. ....	68
Tabla 73. Factores locales $K_a$ y $k_b$ para mina Mora. ....	68
Tabla 74. Comparación método teórico vs método experimental. ....	69
Tabla 75. Constante para el cálculo del MEE ....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo curva granulométrica del agregado grueso .....	11
Figura 2 Ejemplo curva granulométrica.....	12
Figura 3 Condición de humedad de los agregados.....	14
Figura 4 Módulo secante del concreto. ....	19
Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino para cantera volcán. ....	34
Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino para mina Mora.....	35
Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso para cantera Volcán. ....	37
Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso para mina Mora.....	38
Figura 9. Curva densidad compactada vs porcentaje de mezcla.....	52
Figura 10. Curva densidad compactada vs porcentaje de mezcla.....	53
Figura 11. Porcentaje de resistencia obtenido a los 7 y 14 días.....	57
Figura 12. Porcentaje de resistencia obtenido a los 7 y 14 días.....	58
Figura 13. Curva edad vs Esfuerzo para cantera Volcán $f'c = 21$ Mpa.....	61
Figura 14. Curva edad vs Esfuerzo para cantera Volcán $f'c = 28$ Mpa.....	61
Figura 15. Curva edad vs Esfuerzo para mina Mora $f'c = 21$ Mpa.....	63
Figura 16. Curva edad vs Esfuerzo para mina Mora $f'c = 28$ Mpa.....	63

## RESUMEN

Es necesario para el calculista poder conocer con certeza el valor del módulo de elasticidad del hormigón que se ha de elaborar con los materiales de la zona, las minas seleccionadas, proporcionan en gran cantidad el agregado pétreo utilizado en la construcción en la provincia de Tungurahua, por lo que definir el módulo de elasticidad de los hormigones elaborados con estos agregados resulta un gran aporte a la sociedad ya que los valores obtenidos representan una fuente confiable y segura.

Se realizaron los ensayos de caracterización de los agregados permitieron adaptar una dosificación apropiada y personalizada mediante el método de la densidad óptima, en la elaboración de probetas cilíndricas de ensayo para resistencias de 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad conforme la normativa ASTM C-469.

En función a los resultados previos, se determinaron los factores  $k_a$  y  $k_b$  para hormigones ligeros y de peso normal respectivamente, valores que varían significativamente de los propuestos por los códigos A.C.I. 318 y A.C.I. 363. Estos valores nuevos servirán para calcular un módulo de elasticidad estático de hormigones real, finalmente se reflejará en la optimización y la reducción de incertidumbres en el diseño de estructuras que vayan a construirse con las dos minas.

**Palabras clave:** Módulo de elasticidad, Agregados, Áridos, Resistencia a la compresión, Mina Mora, Cantera Volcán, Ensayos de Caracterización.

## ABSTRACT

It is necessary for the calculator to be able to know with certainty the value of the modulus of elasticity of the concrete that has to be elaborated with the materials of the area, the selected mines, provide in great quantity the stone aggregate used in the construction in the province of Tungurahua, Therefore, defining the modulus of elasticity of the concrete made with these aggregates is a great contribution to society, since the values obtained represent a reliable and safe source.

The characterization tests of the aggregates allowed to adapt an appropriate and personalized dosage by means of the optimal density method, in the elaboration of cylindrical test specimens for resistances of 210 and 280 kg/square centimeters at 28 days of age according to the ASTM C-469 standard.

Based on the previous results, the  $k_a$  and  $k_b$  factors were determined for light and normal weight concrete, respectively, values that vary significantly from those proposed by the A.C.I. 318 and A.C.I. 363. These new values will be used to calculate a real modulus of static elasticity of concrete, which will ultimately be reflected in the optimization and reduction of uncertainties in the design of structures to be built with the two mines.

**Keywords:** Modulus of elasticity, Aggregates, Aggregates, Compressive strength, Mora Mine, Volcán Quarry, Characterization Tests.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### **1.1. Antecedentes Investigativos**

#### **1.1.1. Antecedentes**

Emplear el hormigón como elemento constructivo ha estado presente en miles de estructuras y edificaciones desde los albores del Imperio Romano hasta nuestros días. Paralelamente han ido evolucionando con él, tanto los elementos básicos de las obras en las que se ha utilizado este material como la propia puesta en obra de este, los ensayos que se realizan sobre este para asegurar su calidad y los aditivos utilizados en la elaboración del propio hormigón. En cuanto a la actualidad son muchos los factores que intervienen en el resultado de la resistencia final del hormigón, de entre los que se van a destacar la temperatura ambiente en el momento de la fundición, los métodos de colado y vibrado, y los aditivos empleados [1].

En la historia el uso del hormigón como elemento constructivo tanto en grandes como en pequeñas estructuras e infraestructuras alcanzó un grado de satisfacción muy alto. Esto se debe principalmente a la habilidad constructiva de los pueblos antiguos y a la facilidad de conseguir cerca arenas volcánicas con propiedades cementicias, con las que preparaban un mortero mezclando dichas arenas con piedras naturales (habitualmente cal y guijarros). Este mortero poseía unas propiedades físicas, químicas y mecánicas prácticamente idénticas a las que posee el hormigón utilizado en las construcciones erigidas en la actualidad, y era utilizado en la construcción de estructuras que han probado ser muy duraderas con el paso del tiempo [1].

En la actualidad el hormigón se constituye como un material con sus propiedades gobernables, puede decirse que programables. Es posible actuar sobre cuatro parámetros que conforman la familia de las propiedades de un hormigón tanto en estado fresco como endurecido: la consistencia y la trabajabilidad, la durabilidad, sus propiedades mecánicas y finalmente su acabado o aspecto exterior. Sobre la consistencia y la trabajabilidad se han conseguido hormigones autocompactables y autonivelantes. La durabilidad del hormigón es hoy en día uno de los factores más

importantes a modificar [2]. La durabilidad es afectada por dos tendencias que trabajan a la par, en primer lugar, la durabilidad respecto al ambiente de trabajo y las agresiones exteriores y en segundo lugar la durabilidad según la evolución interna del propio material. Sobre las propiedades mecánicas que quizás son las que más llaman la atención, no debe olvidarse que en la actualidad se ha llegado a la fabricación de hormigones de hasta 100 MPa. No obstante, en el campo de la construcción y la obra civil, tampoco son necesarias resistencias tan grandes, pero ello abre otros campos de aplicación [3].

Los áridos constituyen del hormigón el mayor porcentaje de su volumen total, por lo general componen más del 70% en un metro cúbico de concreto y son los responsables de que este sea un material de construcción económico. En la elaboración de concreto, usado en la mayoría de las construcciones de la provincia de Tungurahua, los áridos son obtenidos de minas locales [4].

Mucho se habla del hormigón como un material que ya debería ser reemplazado por nuevos materiales como el acero, madera, fibras, o incluso por polímeros producto del reciclaje, pero, lo cierto es que pocos materiales pueden ofrecer las características que este brinda y por supuesto hay que mencionar que su costo de elaboración y mantenimiento es mucho menor que el de otros materiales, por lo que no se lo puede descartar en el futuro, y es por esto que su estudio está aun ampliamente considerado parte fundamental de la ingeniería civil. Al ser un material constituido por varios elementos (cemento, arena, ripio, agua), resulta necesario estudiar a cada componente por separado, y principalmente los áridos, pues representan la mayor incertidumbre en cuanto a sus características físico-mecánicas [5].

Una de las propiedades fundamentales del hormigón es el módulo de elasticidad estático, a la que se la puede interpretar como una medida de resistencia del material a las deformaciones. Para determinar el módulo de elasticidad estático del hormigón se acostumbra utilizar las ecuaciones propuestas por ACI, pero, estos valores han sido obtenidos a través de estudios experimentales realizados en un medio distinto al nuestro, es decir en una zona en donde los agregados presentan propiedades diferentes a las de los agregados utilizados en la Provincia de Tungurahua [4].

### 1.1.2. Justificación

El concreto al igual que otros materiales se diseña para utilizarse en elementos estructurales que soportan esfuerzos de carga a la compresión, es quizás el material compuesto más usado para la construcción, puede emplearse de una u otra forma para casi todas las estructuras. [6]

El concreto aprovecha para su elaboración la existencia de agregados pétreos extraídos de minas locales y requiere cantidades relativamente pequeñas de cemento, de aquí la necesidad de estudiar las propiedades de los materiales de las canteras Mora ubicada en el cantón Ambato y Volcán ubicada en el cantón Baños, para de esta forma establecer las cantidades de agregado fino y grueso a ser utilizadas en una mezcla de hormigón y con ello garantizar la resistencia de diseño establecida. [7]

Es necesario para el calculista poder conocer con certeza el valor del módulo de elasticidad del hormigón que se ha de elaborar con los materiales de la zona, comúnmente para determinar el módulo de elasticidad estático se emplean dos métodos, uno teórico que utiliza una ecuación descrita por A.C.I.  $E_c = 15100 * \sqrt{F'c}$  [8], y un método experimental descrito por ASTM C-469 que requiere la ejecución de ensayos de laboratorio y elaboración de probetas para poder obtener un valor del módulo de elasticidad, este último se utilizará en el presente trabajo experimental. [9]

La NEC-SE-HM propone dos ecuaciones para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón, una de ellas integra al módulo de elasticidad del agregado  $E_c = 1.15 * \sqrt[3]{E_a} * \sqrt{F'c}$  [10], esta ecuación brinda una mejor estimación del MEE para los materiales de Ecuador y se deberá usar para la estimación de deflexiones ante cargas estáticas y a niveles de servicio de elementos a flexión de hormigón armado, así también para modelos elásticos de estructuras que se diseñan para soportar acciones sísmicas de acuerdo a los métodos de NEC SE DS se propone la ecuación  $E_c = 4.7 * \sqrt{F'c}$ .

Las minas seleccionadas, proporcionan en gran cantidad el agregado pétreo utilizado en la construcción en la provincia de Tungurahua, por lo que definir el módulo de elasticidad de los hormigones elaborados con estos agregados resulta un gran aporte a la sociedad ya que los valores a obtenerse representarían una fuente confiable y segura

para el ingeniero calculista que requiere de esta información en su trabajo con el fin de garantizar seguridad estructural, economía y durabilidad en sus diseños.

### **1.1.3. Fundamentación teórica**

#### **1.1.3.1. Agregados o áridos**

Los agregados son los elementos que más volumen ocupan en la constitución del hormigón, se puede decir que entre el 70 y 90 por ciento del volumen de una masa de hormigón está formado por arena y ripio, es por eso que surge la necesidad de estudiar a cada elemento de forma individual pues estos presentan una gran variedad en sus propiedades físicas y mecánicas mismas que varían dependiendo de su lugar de origen [4].

Proviene de la explotación de canteras o son producto del arrastre de los ríos. Según la forma de obtenerse los podemos clasificar como Material de cantera o mina y Material de río, en los dos casos se necesita de maquinaria específica para trasladarlos a un centro de distribución. Resulta conveniente hacer la distinción porque el material de río al sufrir los efectos de arrastre adquiere una textura lisa y una forma redondeada, algo que resulta altamente negativo en el árido grueso, pero cuando se trata del agregado fino resulta muy beneficioso ya que el agua se lleva todos los residuos de arcillas y limos presentes; por otra parte, el material de cantera por el proceso de explotación tiene superficie rugosa y forma angulosa. Como veremos más adelante, la forma y la textura les dan ventajas y desventajas al emplearse en como agregados del concreto hidráulico o asfáltico [11].

El agregado grueso que se obtiene como producto de la trituración de las rocas de río adquiere las características físicas del material de cantera por el proceso de trituración, pero conserva las cualidades mecánicas, propias como resistencia al desgaste y al intemperismo que tenía el material de río que le dio origen. El agregado fino que se obtiene de las canteras por lo general presenta un alto contenido de materia orgánica por lo que se recomienda un proceso de lavado para poder eliminar estas impurezas.

También existe un tipo de agregados que se obtienen a partir de productos y procesos industriales, tales como arcillas expandidas, escorias de altos hornos, limaduras de hierro, etc. En muchos de los casos para ciertos tipos de concreto de baja resistencia, se suelen utilizar algunos residuos orgánicos como cascarilla de arroz, de palma, café,

mezclados con los agregados naturales para abaratar los costos del concreto y del mortero.

### **1.1.3.2. Arena, árido o agregado fino**

Se considera así a la cantidad de material que pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y es retenida en el tamiz de 75 $\mu$ m (No. 200). Diversos autores y profesionales en la rama de la construcción sugieren que el árido fino es el más importante de entre los áridos, tan importante que no es posible obtener un hormigón de buena calidad sin una buena arena [12].

Las arenas no deben contener partículas muy finas, tales como limos y arcillas, ni impurezas orgánicas ya que podrían influir sobre el fraguado y endurecimiento del hormigón.

#### **Forma y tamaño de las partículas**

De manera general, en los hormigones estructurales, las arenas constituidas por granos redondeados darán lugar a mezclas más dóciles que las que presentan granos de formas angulares, aunque, esto, solo resulta importante cuando de dar un buen acabado superficial se trata.

La granulometría de una arena es quizás la propiedad más importante en relación con su empleo en el hormigón para elementos estructurales, una distribución adecuada de tamaños de partículas en una masa de hormigón se traduce en una mayor densidad en estado fresco y una mayor resistencia en estado endurecido [13].

#### **Superficie específica**

Hasta hace muy poco tiempo se consideraba que el único aspecto a tomar en cuenta en un árido fino, era su granulometría. Hoy en día se utiliza otro principio, sustentado en la investigación experimental, que es el de la superficie específica total de los granos de un volumen dado, misma que es una característica muy importante debido a que dicha superficie ha de ser cubierta por pasta de cemento y posterior dará lugar a una mezcla con una trabajabilidad muy buena. El hecho es que la superficie específica de una cantidad de material aumenta con la finura de las partículas del agregado, entonces, mientras mayor porcentaje de partículas finas presente un agregado, mayor

será la superficie específica y mayor será la cantidad de pasta de cemento necesaria [13].

### Módulo de finura

El módulo de finura de los agregados finos es parámetro que varía en un rango muy pequeño y que permite identificar a simple vista si se trata de una arena fina o una arena gruesa y de esto dependerá el uso que se le pueda dar.

Técnicamente, es la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices normalizados #100, #50, #30, #16, #8, #4, #3/8", dividido entre 100, cabe recalcar que este es un valor adimensional.

De acuerdo con la norma NTE INEN 872: 2011, los valores adecuados para el módulo de finura están en un rango entre 2.3 y 3.1. valores superiores a 3.1 constituyen arenas muy gruesas y por otra parte valores inferiores a 2.3 implican arenas muy finas [14]. Una consideración importante en el caso que las arenas sean muy finas es que se deberá cubrir una mayor superficie específica, variando así las cantidades de agregados en las mezclas para la fabricación del concreto. La porción de arena que atraviesa los tamices No. 50 y No. 100 influirá en la trabajabilidad, textura y sangrado del hormigón. Generalmente las especificaciones estiman que por el tamiz No. 50 deberán atravesar entre un 10% y 30% de las partículas [15].

*Tabla 1. Análisis granulométrico del árido fino*

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
No. 4	4.76	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
No. 8	2.38	32.00	32.00	4.59%	4.59%	95.41%	80%	100%
No. 16	1.19	203.70	235.70	29.19%	33.78%	66.22%	50%	85%
No. 30	0.59	148.70	384.40	21.31%	55.09%	44.91%	25%	60%
No. 50	0.30	115.60	500.00	16.57%	71.65%	28.35%	10%	30%
No. 100	0.15	84.20	584.20	12.07%	83.72%	16.28%	2%	10%
No. 200	0.08	74.90	659.10	10.73%	94.45%	5.55%	-	
Bandeja		38.70	697.80	5.55%	100.00%		-	
<b>Módulo de Finura</b>							2.5	

Fuente: Oscar Andachi, tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato, 2019 [4]. La tabla 1 muestra los resultados del análisis granulométrico en el árido fino, así como también el valor obtenido para el módulo de finura que se obtuvo de acuerdo con lo explicado anteriormente.

Garzón [16] Respecto a la selección visual y calidad de la arena con la que se va a preparar hormigón, recomienda que debemos tener en cuenta lo siguiente:

- Las mejores Arenas son las de río, ya que salvo algunas excepciones son cuarzo puro.
- Las Arenas de minas suelen tener arcilla en exceso, por lo que deben lavarse.
- Las Arenas que proviene de la trituración de granitos, basaltos y rocas análogas, son también excelentes.
- Las Arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable.
- La arena no debe contener sustancias perjudiciales para el hormigón.
- Una buena arena tiene una densidad real mayor a 2.6 gr/cm<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión mayor a 1000 kilogramos por cada centímetro cuadrado.
- Una arena no admisible tiene una densidad real menor a 2.3 gr/cm<sup>3</sup>, y una resistencia a la compresión menor a 500 Kg/cm<sup>2</sup>.
- La humedad de la arena es de gran importancia en la dosificación de hormigones, sobre todo cuando se dosifica al volumen [15].

### **1.1.3.3. Ripio, grava, árido o agregado grueso.**

Es uno de los principales componentes del hormigón o concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar la resistencia a la compresión. Estos áridos son partículas granulares de material pétreo que en su mayoría quedan retenidas en el tamiz de 4,75mm (No. 4) [15], es decir, piedras de tamaño variable, ya sea en estado natural o después de su procesamiento en la planta de trituración.

No obstante, la grava que se utiliza para la construcción pudo haber pasado por un proceso de trituración, mediante el uso de máquinas especializadas. Precisamente el proceso de trituración al que sea sometida la grava permitirá al constructor obtener la granulometría deseada para el proyecto en desarrollo.

Existen algunas recomendaciones para tener en cuenta [5]:

- Una buena grava tiene una densidad real mayor a 2.6 gr/cm<sup>3</sup>, y una resistencia a la compresión mayor a 1000 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Una grava no admisible tiene una densidad real menor a 2.3 gr/cm<sup>3</sup>, y una de una resistencia a la compresión menor a 500 Kg/cm<sup>2</sup>.
- La grava o ripio debe estar libre de partículas orgánicas como limos y arcillas.
- Las gravas producto de la trituración de rocas suelen brindar mayores ventajas por su forma y superficie específica.
- No son recomendables las gravas demasiadas lisas y livianas pues brindan poca adherencia y resistencia.

Una de las recomendaciones que ACI 318 [8] indica es que el tamaño nominal máximo no debe exceder al menor de:

- $\frac{3}{4}$  del espaciamiento mínimo libre entre armaduras.
- $\frac{1}{5}$  de la menor separación entre los lados del encofrado
- $\frac{1}{3}$  del espesor de la losa.

Adicionalmente a estos requisitos la NEC-SE-HM [17] señala que el TNM no debe ser mayor que el recubrimiento de las barras de acero de refuerzo.

El agregado grueso al igual que el fino debe estar limpio, sin adherencias de limos o arcillas y no debe tener partículas livianas como la pómez o terrones.

Una de las consideraciones que se debe tener en cuenta es que la cantidad de agregado grueso en una mezcla de hormigón influye en las propiedades del hormigón en estado fresco, como por ejemplo en la trabajabilidad, una cantidad baja de agregado grueso en una mezcla mejorará la trabajabilidad, mientras que una cantidad alta de agregado grueso dificultará la misma, en ambos casos la resistencia a la compresión se verá afectada.

### Tamaño nominal máximo del agregado grueso (TNM)

Se define técnicamente al tamaño nominal máximo, como el tamaño de malla anterior a la primera malla en el que hubo un porcentaje retenido acumulado de al menos el 15%, este proceso se ilustra de mejor forma en la tabla 2, en la cual se muestran los resultados de un análisis granulométrico en laboratorio y resaltado en color amarillo el tamaño nominal máximo de las partículas.

Tabla 2. Análisis granulométrico del árido grueso.

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1 "	25.00	20.50	20.50	0.34%	0.34%	99.66%	95%	100%
3/4 "	19.00	313.20	333.70	5.22%	5.56%	94.44%	-	-
1/2 "	12.50	3038.60	3372.30	50.66%	56.22%	43.78%	25%	60%
3/8 "	9.50	2442.30	5814.60	40.72%	96.94%	3.06%	-	-
No. 4	4.75	179.30	5993.90	2.99%	99.93%	0.07%	0%	10%
No. 8	2.36	2.18	5996.08	0.04%	99.97%	0.03%	0%	5%
Fuente		1.82	5997.90	0.03%	100.00%			
Tamaño Nominal máximo:							3/4"	

Fuente: Oscar Andachi, tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato, 2019 [4].

Las experiencias en nuestro medio determinan que para concretos convencionales, un agregado grueso de tamaño nominal máximo de entre 3/4" y 1 1/2" es el recomendable. En el hormigón endurecido, la consideración principal a tener en cuenta será la resistencia final de éste, así, mientras menor sea el TNM de la grava, mayor será la

resistencia a la compresión del concreto pues requerirá una mayor cantidad de cemento y una menor cantidad de agua [18].

### **Texturas y formas**

La textura de las partículas de agregado grueso tiene relación con la compactación y con la adherencia. Una textura rugosa aumenta la fricción entre partículas y mejora la adherencia del ripio y el aglomerante; por otro lado, generalmente son más difíciles compactar que las partículas lisas [4].

En la elaboración de hormigón, es preferible usar partículas angulares y rugosas que redondeadas y lisas, puesto que estas tienen un mejor comportamiento al adherirse a otros componentes, brindando mayor resistencia y estabilidad de la mezcla, pero sacrificando trabajabilidad.

#### **1.1.3.4. Propiedades de los agregados**

Las propiedades de los áridos se pueden tomar como un indicio de la calidad final del hormigón, pero esto no quiere decir que se garantiza al 100% la resistencia a la compresión, ya que la calidad de un buen hormigón depende de varios factores que involucran la fase constructiva, métodos de colado y un curado adecuado [19].

### **Granulometría**

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico mediante el cual se pueda separar las partículas del agregado por tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño de partículas existentes en una muestra de agregado. Para separar por tamaños se utilizan las mallas estandarizadas de distintas aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado que puede quedar retenido en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra [20].

### **Granulometría del agregado grueso**

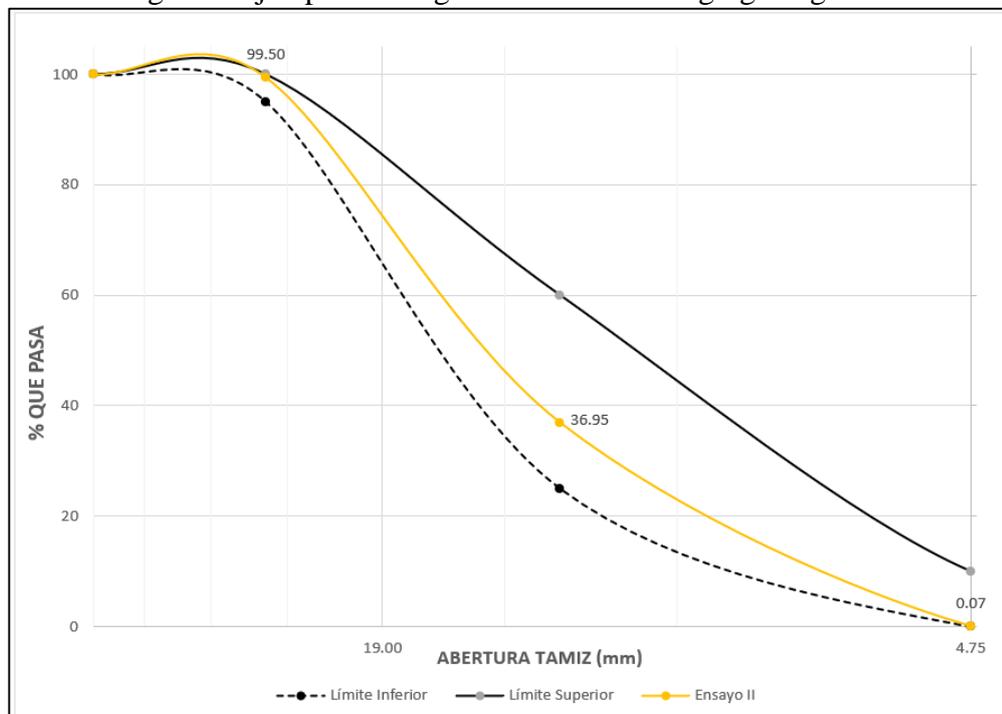
Es aceptado que la variación de los tamaños de las partículas respecto a los límites que indica la norma NTE INEN 696, no influye considerablemente en las características y propiedades del concreto en sus estados fresco y endurecido. Sin embargo, siempre se pretende que en las mezclas de concreto convencional la curva granulométrica sea moderadamente continua, es decir, que aunque dicha curva exhiba desviaciones, no se manifieste ausencia total de partículas en ningún intervalo [4] [21].

Tabla 3. Ejemplo resultados de un ensayo granulométrico

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1 "	25.00	30.00	30.00	0.50%	0.50%	99.50%	95%	100%
3/4 "	19.00	677.00	707.00	11.28%	11.78%	88.22%	-	-
1/2 "	12.50	3075.90	3782.90	51.27%	63.05%	36.95%	25%	60%
3/8 "	9.50	2090.70	5873.60	34.85%	97.90%	2.10%	-	-
No. 4	4.75	122.00	5995.60	2.03%	99.93%	0.07%	0%	10%
No. 8	2.36	1.98	5997.58	0.03%	99.97%	0.03%	0%	5%
Fuente		2.00	5999.58	0.03%	100.00%	0.00%		
Tamaño Nominal máximo:						3/4"		

Fuente: Oscar Andachi, tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato, 2019 [4].

Figura 1 Ejemplo curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Oscar Andachi, tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato, 2019 [4].

### Granulometría del agregado fino

La composición granulométrica de la arena se determina pasándola por las distintas mallas estandarizadas según NTE INEN 154:2013 (#100, #50, #30, #16, #8, #4 y 3/8”) [14] con lo cual se obtienen grupos de partículas y para hacer la evaluación de las proporciones en que resultan estos grupos, se utilizan los siguientes medios [4]:

- Se compara el porcentaje que representa cada grupo con respecto a determinados límites establecidos empíricamente.
- Se calcula el llamado módulo de finura.

Para la aplicación del primer medio, es común considerar un límite superior y uno inferior de acuerdo con lo establecido en la norma INEN 872:2011 [14]

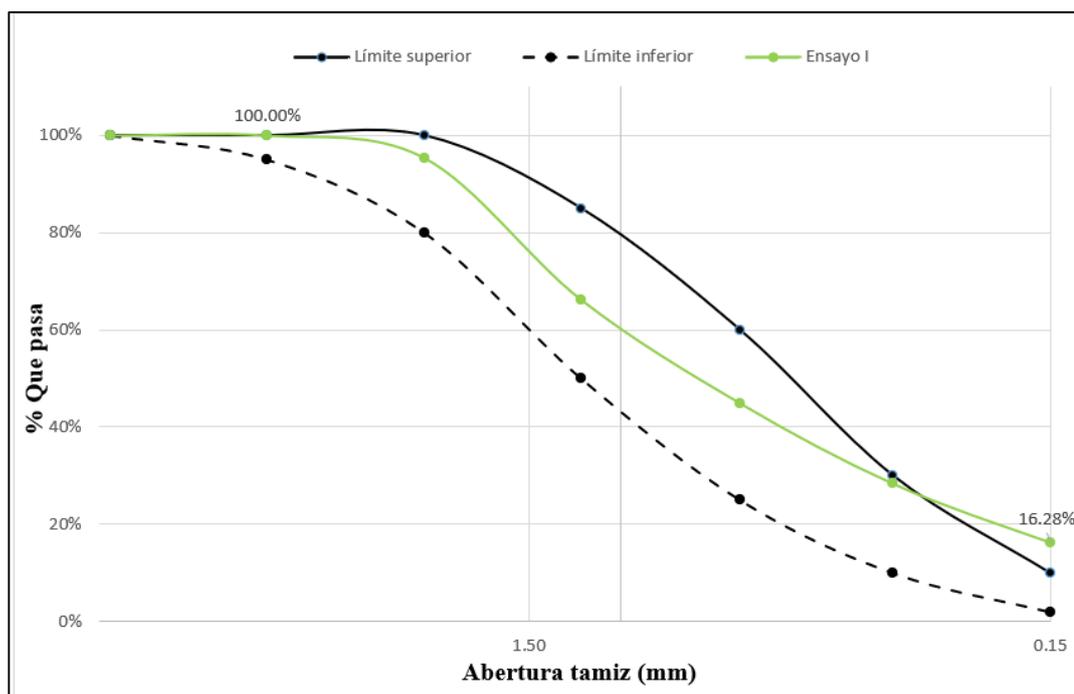
La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva, donde el porcentaje que pasa es graficado en las ordenadas y el diámetro de las partículas en las abscisas tanto para un agregado fino como para un agregado grueso.

Tabla 4. Ejemplo resultados de un ensayo granulométrico

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
No. 4	4.76	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
No. 8	2.38	32.00	32.00	4.59%	4.59%	95.41%	80%	100%
No. 16	1.19	203.70	235.70	29.19%	33.78%	66.22%	50%	85%
No. 30	0.59	148.70	384.40	21.31%	55.09%	44.91%	25%	60%
No. 50	0.30	115.60	500.00	16.57%	71.65%	28.35%	10%	30%
No. 100	0.15	84.20	584.20	12.07%	83.72%	16.28%	2%	10%
No. 200	0.08	74.90	659.10	10.73%	94.45%	5.55%	-	
Bandeja		38.70	697.80	5.55%	100.00%		-	
<b>Módulo de Finura</b>							2.5	

Fuente: Oscar Andachi, tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato, 2019 [4].

Figura 2 Ejemplo curva granulométrica.



Fuente: Oscar Andachi, tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato, 2019 [4].

### Densidad real o gravedad específica.

La Densidad de un material se define como la masa por unidad de volumen de un material, expresada en  $\text{gr/cm}^3$ . Para el caso de los agregados pueden obtenerse distintos valores, en función de la condición en que la masa se esté considerando en el cálculo, para este caso vamos a considerar que el agregado se encuentra en la condición saturado superficialmente seco SSS.

Cuando se examina la aptitud física de los agregados, es conveniente conocer y valorar las características propias de cada material, entre las cuales podemos nombrar la densidad y la absorción.

La gravedad específica de los áridos se determina de acuerdo con la especificación NTE INEN 856:2010 para el árido fino [22] y la NTE INEN 857:2010 para el árido grueso [23]. En este proceso se sumerge una muestra representativa del árido durante  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ , una muestra de árido previamente secada hasta conseguir una masa constante, con el objetivo de llenar completamente sus poros [18]. Seguidamente se retira del agua, se procede a secar el agua superficial de las partículas hasta lograr la

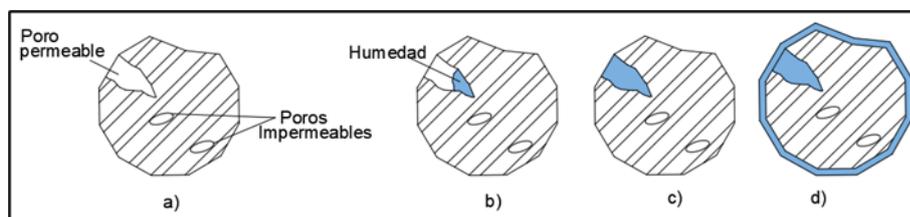
condición SSS y determinamos su masa. Luego, se coloca parte de la muestra en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico o volumétrico [5]. Para poder medir las características anteriores es importante entender que todos los agregados son porosos hasta cierto punto, lo que posibilita la entrada de agua en los espacios de los poros.

### Capacidad de absorción.

Se conoce como absorción al incremento en la masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un período de tiempo prescrito, sin incluir el agua adherida en la superficie de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca. La cantidad de agua que absorbe el árido es importante en el diseño de mezclas de hormigón, ya que la humedad almacenada en los poros del no estará disponible para mejorar la trabajabilidad de la mezcla y para reaccionar con el cemento, es por ello que un agregado con una capacidad de absorción alta resulta un agregado de mala calidad puesto que se entiende que es un material muy poroso. El valor de capacidad de absorción recomendable para agregados de nuestra región oscila entre el 0.2% al 2% para el agregado fino mientras que para el agregado grueso el rango va desde 0.2% al 4%

En el árido tanto fino como en el grueso se pueden presentar 4 condiciones de humidificación, como lo muestra la figura 3.

Figura 3 Condición de humedad de los agregados.



Fuente: Oscar Andachi, tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato, 2019 [4].

a) Totalmente seco (SH): Quiere decir que el árido no contiene humedad, para esto se requiere secar el árido en un horno hasta que se recupere su masa original.

**b)** Humedad natural o secado al aire (SA): Cuando el árido está secado al aire los poros del agregado pueden contener algo de humedad, se da a temperatura y humedad ambiente.

**c)** Saturado superficie seca (SSS): En una condición de saturado superficie seca, los poros del árido están llenos de humedad, pero el área superficial principal de las partículas de este está seca. Por lo general es en esta condición en la cual se utiliza el agregado como índice estándar para la dosificación del hormigón.

**d)** Saturada superficie húmeda (SSH): Los poros del agregado se presentan totalmente llenos de agua mientras que la superficie del árido se muestra con una película de agua. Hay que tomar en consideración que al estar en esta condición el agregado transfiere agua a la mezcla de hormigón [5].

#### **Masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos.**

Los métodos de dosificación para mezclas de hormigón utilizan como uno de los datos el peso unitario de los agregados de acuerdo con el procedimiento de NTE INEN 858:2010 [24], un contenedor rígido se rellena de árido en condición seca, utilizando una pala, a continuación, se procede a compactar el material utilizando una varilla de apisonamiento o una máquina de sacudidas, dependiendo de la condición a determinar (compactada o suelta).

El término porcentaje de vacíos se refiere a la cantidad de espacios existentes entre partículas de agregado, el porcentaje de vacíos puede ser medido directamente utilizando el peso unitario y la gravedad específica del material, o también en algunos casos midiendo la cantidad de agua necesaria para inundar una muestra de agregado que ha sido compactada en un contenedor. El cálculo del porcentaje de vacíos entre las partículas del árido, basado en la masa unitaria (peso volumétrico) se incluye en el procedimiento de NTE INEN 858:2010 [24].

En un mismo agregado, la diferencia de porcentaje de vacíos entre el estado compacto y el estado suelto son de aproximadamente 5% hasta 7% para la arena y para el ripio entre un 3% y 4%.

Existe un estado existente únicamente en el agregado fino, llamado hinchamiento, el cual se da lugar cuando existe agua libre presente en el agregado. A mayor cantidad de agua libre, mucho mayor va a ser el hinchamiento, dicha característica es importante pues incrementa el tamaño de las partículas de agregado y por ende, incrementa el porcentaje de vacíos existentes, por lo general el contenido de agua libre en los agregados varían del 0.5% al 2% en el agregado grueso y del 2% al 6% cuando se trata del agregado fino.

#### **1.1.3.5. Impurezas orgánicas**

Es común encontrar impurezas orgánicas en el agregado fino, sobre todo si se trata de un agregado procedente de canteras, las impurezas orgánicas presentes en el agregado pueden retrasar el tiempo de fraguado debido a que reaccionan con el cemento, disminuyen el desarrollo de la resistencia a la compresión en algunos casos. Las impurezas orgánicas como los limos, las turbas y el humus pueden no resultar perjudiciales, pero claro que se las debe evitar. Se recomienda el uso de arenas de río ya que estas en su gran mayoría son lavadas y la probabilidad de encontrar impurezas es mucho menor.

La detección de impurezas orgánicas en el árido fino se lleva a cabo con facilidad mediante la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio al 3%, este proceso se detalla la norma NTE INEN 855-2010. Algunas impurezas en el árido fino pueden dar indicación de un inapropiado contenido orgánico, pero en realidad no ser dañino [25].

#### **1.1.3.6. El Agua en el hormigón.**

El agua constituye un componente esencial en las mezclas de hormigón y mortero de cemento hidráulico, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante.

El agua empleada en el concreto debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

En caso de tener que usar en la dosificación del concreto agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella probetas cilíndricas de prueba, que deberán

alcanzar a los 7 y a los 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.

### **Características químicas y físicas del agua de mezclado**

Por lo general, el agua que sea potable y que no tenga un pronunciado olor o sabor puede usarse para mezclas de concreto. De todos modos, esto no es del todo cierto, debido a que dentro del agua potable se pueden encontrar disueltas en altas concentraciones sales, cítricos o azúcares, entre otros, que pueden ser perjudiciales para el concreto [4].

### **Agua de curado**

Una vez que la partícula de cemento ha fraguado, es prioritario el suministro de agua para garantizar la completa hidratación del grano de cemento, esta agua adicionada depende de la temperatura y humedad del ambiente donde se encuentre el concreto, ya que, a menor humedad relativa la evaporación es mayor, entonces el curado debe ser mucho más continuo. El objetivo del curado es mantener el concreto saturado, o lo más próximo posible a la saturación, hasta que los espacios que inicialmente estaban saturados de agua se llenen hasta un nivel deseado con los productos de hidratación del cemento [5].

#### **1.1.3.7. Cemento Portland**

Son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta endurecida de aspecto similar a una roca [26].

Al mezclar el cemento con el agua, se forma una pasta en estado plástico, en el cual la pasta es trabajable y moldeable, después de un tiempo que depende de la composición química del cemento, la pasta adquiere rigidez; es conveniente distinguir entre el fraguado y el endurecimiento, pues este último se refiere a resistencia de una pasta fraguada. El tiempo que transcurre desde el momento que se agrega el agua, hasta que

la pasta pierde viscosidad y eleva su temperatura se denomina “tiempo de fraguado inicial”, e indica que la pasta está semidura y parcialmente hidratada [7]. Posteriormente la pasta sigue endureciendo hasta que deja de ser deformable con cargas relativamente pequeñas, se vuelve rígida y llega al mínimo de temperatura; el tiempo transcurrido desde que se echa el agua hasta que llega al estado descrito anteriormente se denomina “tiempo de fraguado final”, e indica que el cemento se encuentra aún más hidratado (no totalmente) y la pasta ya está dura. A partir de este momento empieza el proceso de endurecimiento y la pasta ya fraguada va adquiriendo resistencia [15].

### **Densidad real del cemento**

Es necesaria para el cálculo de las proporciones en las mezclas de hormigón. La gravedad específica del cemento Portland sin tener en cuenta los poros existentes entre las partículas es de aproximadamente  $3.15 \text{ gr/cm}^3$ , puede variar dependiendo de la empresa que lo fabrique y puede determinarse de acuerdo con NTE INEN 156:2009 [4], [27] como se lo ha de realizar en el presente estudio. La densidad del cemento incluyendo los poros entre las partículas varían considerablemente, dependiendo de cómo se maneje y almacene el cemento. Por ejemplo, la vibración durante el transporte del cemento hace que el cemento se consolide e incremente su densidad [18].

### **1.1.3.8. Módulo de elasticidad estático del hormigón**

El módulo tangente se define como la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo-deformación en un punto de ella. En particular, el módulo tangente que corresponde al esfuerzo nulo se denomina módulo tangente inicial. La determinación de este parámetro es difícil pues la recta tangente en el origen no está bien definida. Por su parte, el módulo secante es la pendiente de una recta secante a la curva, que une el punto de esfuerzo cero, con otro cualquiera de la curva. El módulo secante es más fácil determinar que el módulo tangente, por ello el más utilizado [4].

De acuerdo con ASTM C-469 la recta secante se traza dentro de la región en la que el material se comporta de forma elástica en la curva esfuerzo deformación, desde un

punto con una deformación de 0.00005 mm/mm al que le corresponde un esfuerzo S1 que se debe determinar, hasta otro punto en donde en cambio se conoce el esfuerzo cuyo valor es igual al 40% de la resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días de edad, con el que se ha de determinar el valor de la deformación correspondiente  $\epsilon_2$ , todo esto se ilustra en la figura 4 [4].

Para definir el módulo de elasticidad del concreto, el ACI propone:

$$E_c = 0.14 * w^{1.5} * \sqrt{f'_c} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

Dónde:

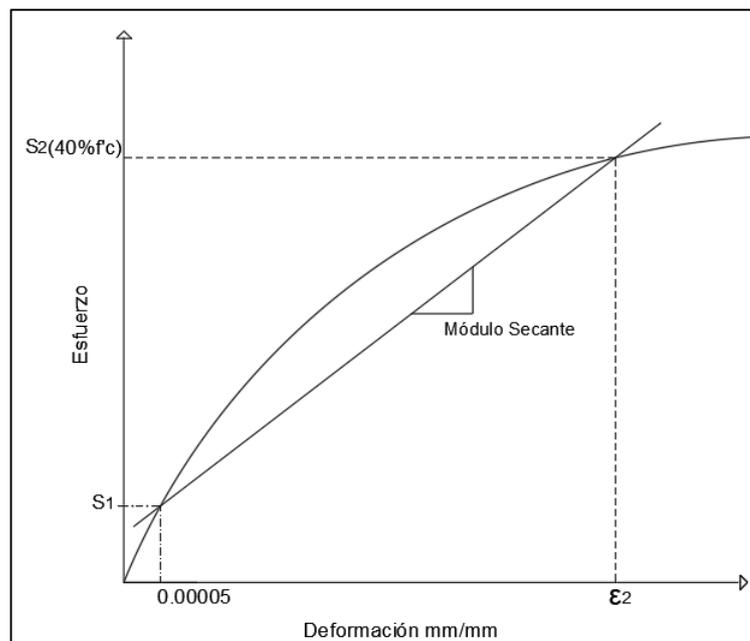
w = Peso unitario del concreto. La expresión es válida si se trata de valores entre 1440 y 2560 Kg/m<sup>3</sup>.

f'c = Resistencia a la compresión del concreto.

Para concretos normales, con pesos unitarios de aproximadamente 2300 Kg/m<sup>3</sup> se usa también la expresión.

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'_c} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

Figura 4 Módulo secante del concreto.



Fuente: Oscar Andachi, tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato, 2019 [4].

#### 1.1.4. Hipótesis

La variación en el valor del módulo de elasticidad estático del hormigón obtenido tanto experimentalmente de acuerdo con ASTM C469, así como de forma teórica de acuerdo con ACI 318, será del 20%, cuando se utilicen los agregados de Mina Mora y Cantera Volcán.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar el módulo de elasticidad estático del hormigón, con base en la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas elaboradas con materiales de las minas Volcán y Mora, ubicadas respectivamente en los cantones de Baños y Ambato de la provincia de Tungurahua.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características físicas y mecánicas de los áridos de las canteras Volcán y Mora ubicadas respectivamente en los cantones de Baños y Ambato de la provincia de Tungurahua.
- Establecer la dosificación a utilizar en mezclas de hormigón para resistencias a la compresión a los 28 días de edad de 21 y 28 Mpa.
- Proponer una constante para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón.
- Comparar los resultados obtenidos para la mina Volcán con los de la mina Mora.

## CAPITULO II METODOLOGÍA

### 2.1. Nivel o tipo de investigación.

La investigación se basa en un trabajo creativo y original desarrollado por un profesional o en vías de serlo quien emplea bases sistemáticas, métodos de investigación e información cuantitativa y cualitativa para llegar a una hipótesis o conclusión, reafirmar o refutar otros trabajos, apoyar teorías, reformularlas o crear otras. [28].

Existen 4 tipos o niveles de investigación científica con distintas características para poder abordar un problema siendo este el objeto de estudio científico.

- Tipo exploratorio: El presente estudio busca analizar en campo y en laboratorio las propiedades de los agregados de las minas seleccionadas para con ello posteriormente elaborar probetas de hormigón, que permitan determinar el módulo de elasticidad estático.
- Tipo descriptivo: Consiste en elaborar un estudio concreto sobre el módulo de elasticidad estático del hormigón elaborado con agregados de las minas seleccionadas.
- Nivel explicativo: Se describe cómo las propiedades de los áridos en estudio influyen en el valor del módulo de elasticidad estático del hormigón.
- Nivel experimental: A partir de los áridos utilizados, su peso unitario y la resistencia a la compresión del hormigón, se sugiere un constante propia, que, como alternativa a las propuestas por la normativa ACI 318, permita determinar un módulo de elasticidad estático del hormigón, realista y aplicable a las minas en estudio.

## 2.2. Población y muestra

### 2.2.1. Población.

Una vez conocidas las cantidades a mezclar se elaborarán 3 probetas cilíndricas para cada una de las resistencias para cada mina, que se ensayarán a compresión a las edades de 7 y 14 días de edad. En el caso que las probetas ensayadas no cumplan con los requerimientos mínimos para resistencia a la compresión, se deberán realizar los ajustes necesarios en la dosificación y la fabricación, y se elaborarán las probetas nuevamente hasta que las resistencias obtenidas cumplan al menos con los requisitos mínimos, luego se precederá a la elaboración de probetas para fase final, es decir, se elaborarán probetas para ser ensayadas a los 7, 14, 21 y 28 días de edad.

### 2.2.2. Muestra

La tabla 5 detalla el número de probetas a elaborar en el presente trabajo experimental para la fase final.

*Tabla 5. Cantidad de probetas a elaborar para fase final.*

Mina	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	Número de probetas a ensayar				Probetas para el MEE	Total
		7 días	14 días	21 días	28 días		
Mora	210	3	3	3	3	9	21
	280	3	3	3	3	9	21
Volcán	210	3	3	3	3	9	21
	280	3	3	3	3	9	21
<b>Total</b>		12	12	12	12	36	84

*Fuente: Elaboración propia.*

## 2.3. Materiales y Equipos.

Durante el desarrollo del presente trabajo experimental se emplearán diversos materiales y equipos útiles y necesarios para llevar a cabo los ensayos en laboratorio competentemente. Las normativas ASTM e INEN especifican ciertas características estándar que deben cumplir los distintos equipos de laboratorio.

### 2.3.1. Materiales

Tabla 6. Materiales

<ul style="list-style-type: none"><li>• Agregados fino y grueso de las minas Mora y Volcán</li></ul>	
	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Cemento Portland</li></ul>	
	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Agua potable</li></ul>	
	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Gasolina</li></ul>	
	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Compuesto de hidróxido de sodio al 3%</li></ul>	
	

Fuente: elaboración propia

### 2.3.2. Equipos

Tabla 7 Equipos.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamices cuadrados metálicos (2", 1½", 1", ¾", ⅜", ½", #4)</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamices redondos (#4, #8, #12, #16, #30, #100 y #200)</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamizadora</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina de los ángeles</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horno</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza granataria manual</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza de 30kg, precisión de 1g</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza de 6kg, precisión de 1g</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analógica de 100kg de capacidad</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesas</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moldes cilíndricos 10x20</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparador de colores</li> </ul> 

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termómetro de mercurio</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molde metálico de 22lt</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Picnómetro</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipeta</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teléfono con cámara</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Martillo de goma 300 gramos</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cono truncado metálico</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculadora científica</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipiente cilíndrico metálico</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probetas de 1 litro</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varilla de compactación punta redonda 16mm</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cono de Abrams</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina de compresión</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexómetro 3m</li> </ul> 

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Palustre</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cepillo de acero</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Brochas</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Embudo</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Canastilla metálica</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Recipientes</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cámara de curado</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Carretilla</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bandejas metálicas</li> </ul> 

*Fuente: elaboración propia*

## **2.4. Métodos**

### **2.4.1. Plan de recolección de datos**

Previa a la fase de toma de muestras, ensayos de caracterización y elaboración de cilindros de hormigón, se deberán recopilar y revisar toda la información necesaria en diversas fuentes bibliográficas, así como también en las respectivas normativas vigentes.

### **2.4.2. Muestreo**

1. La norma NTE INEN 695, muestra cómo realizar el muestreo de agregados fino y grueso en las distintas minas.
2. Transporte hacia la ciudad de Ambato en sacos de yute protegidos de la lluvia y otros contaminantes que pudieran alterar las propiedades originales de los agregados.
3. Almacenamiento en un lugar cerrado y fresco.
4. Reducción de muestras a tamaño de ensayo en conformidad con la normativa NTE INEN 2566.
5. Codificación y etiquetado de muestras.
6. Traslado a laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la UTA.

### **2.4.3. Ensayos de caracterización de agregados**

7. Secado al aire libre de los áridos.
8. Detección de las impurezas en el agregado fino, NTE INEN 855.
9. Análisis granulométrico, norma NTE INEN 696.
10. Determinación del material más fino que atraviesan el tamiz #200, norma NTE INEN 697.
11. Determinación de la absorción y densidad relativa del agregado fino, según NTE INEN 856.
12. Determinación de la absorción y densidad relativa del agregado grueso, según NTE INEN 857.
13. Determinación de la masa unitaria para el estado suelto y compactado, acorde a NTE INEN 858.
14. Determinación de la densidad real del cemento NTE INEN 156.

15. Diseño de mezclas mediante el método de la densidad máxima, para resistencias a la compresión a los 28 días de edad de 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **2.4.4. Elaboración de probetas para etapa inicial y final y ensayos en estado fresco y endurecido.**

16. Elaboración de cilindros de prueba
17. Toma de muestras de hormigón fresco, norma NTE INEN 1763.
18. Ensayo de asentamiento del hormigón, norma NTE INEN 1578.
19. Determinación de la densidad, contenido de aire y rendimiento, norma NTE INEN 1579.
20. Ensayo de resistencia a la compresión para probetas, NTE INEN 1573.
21. Fabricación y curado de probetas finales, normativa NTE INEN 3124.
22. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas de hormigón a edades de 7, 14, 21 y 28 días de edad, norma NTE INEN 1573.
23. Cálculo del módulo de elasticidad estático, norma ASTM C469.
24. Proponer la nueva constante para el cálculo del módulo de elasticidad en función de la resistencia a la compresión y del peso unitario del hormigón.

#### **2.4.5. Procesamiento de datos y análisis de la información.**

##### Muestreo

Se establece una codificación para poder identificar los materiales y las probetas de cada mina, para Cantera Volcán se utilizará “Vo” mientras que para la mina Mora se utilizará la etiqueta “Mor”

##### Tabulación de datos

Se utilizará una hoja electrónica para el procesamiento y análisis de los datos que se han de obtener en los ensayos de laboratorio, así como también permitirá controlar rangos tolerables a través de parámetros estadísticos como la varianza y desviación estándar.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

##### 3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento.

*Tabla 8. Ensayo densidad real del cemento.*

<b>Origen :</b>	Cemento Portland			
<b>Ensayado por :</b>	Nathaly Masaquiza	<b>Fecha :</b>	10/2/2022	10/2/2022
<b>Norma :</b>	NTE INEN 156:2009	<b>Ensayo No:</b>	I	II
<b>Propiedad</b>		<b>Nomenclatura</b>	<b>Masa(gr)</b>	<b>Masa(gr)</b>
Masa del frasco		a1	164.97	164.97
Masa del frasco + cemento		a2	237.29	238.67
Masa del frasco + cemento + Gasolina		a3	584.53	586.29
Masa de la gasolina añadida (a3 -a2)		a4	347.24	347.62
Masa del frasco + 500 cc de gasolina		a5	530.11	530.93
Masa de 500cc de gasolina (a5- a1)		a6	365.14	365.96
Densidad de la gasolina (a6/500cc)		dg(gr/cc)	0.730	0.732
Masa de la gasolina desalojada por el cemento (a6 - a4)		a7	17.90	18.34
Masa del cemento (a2 - a1)		ac	72.32	73.70
Volumen del cemento (a7/dg)		vc	24.51	25.06
Densidad del cemento (ac/vc)		dc(gr/cc)	2.950	2.941

*Realizado por: Nathaly Masaquiza*

*Tabla 9. Parámetros de control.*

Parámetros de control		
Parámetro	Valor	Precisión 1 Op INEN 156
Rango	0.009	< 0.03
Desviación estándar	0.007	< 0.012
Coefficiente de variación (%)	0.002	< 1%
Densidad del cemento (gr/cm <sup>3</sup> )	2.946	

*Realizado por: Nathaly Masaquiza*

### **3.1.2. Ensayos realizados a los agregados.**

#### **3.1.2.1. Toma de muestras in situ**

La toma de muestras se la efectuó para cada una de las minas seleccionadas del producto terminado, de acuerdo con lo indicado en NTE INEN 695. Para Mina Mora como para Cantera Volcán la toma se la hizo directo del lugar de almacenamiento del producto final.

La norma recomienda que la cantidad o número de muestras in situ a obtener deberá ser suficiente de tal forma que garantice la fidelidad de los resultados al realizar ensayos en laboratorio.

#### **3.1.2.2. Reducción de muestras a tamaño de ensayo.**

Con la reducción a tamaño de ensayo se pretende obtener una muestra conveniente para la realización de los ensayos para describir las propiedades y determinar su calidad, se utilizó el método B que es el cuarteo con lo cual se garantiza que la muestra será representativa se la muestra grande y por lo tanto del suministro original.

### 3.1.2.3. Determinación del material más fino que pasa el tamiz No. 200

Tabla 10. material más fino que pasa el tamiz No. 200

<b>Origen</b>	Mina Mora			
<b>Peso de la muestra(gr)</b>	1000			
<b>Ensayado por</b>	Nathaly Masaquiza	Fecha Muestreo:	7/12/2021	
<b>Norma</b>	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	7/12/2021	
<b>Descripción</b>	<b>Ensayo</b>			<b>Unidad</b>
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	
Masa seca original de la muestra	1500	1500	1500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	1462	1456	1461	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	2.5	2.9	2.6	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	2.69			%

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 11. material más fino que pasa el tamiz No. 200

<b>Origen</b>	Cantera Volcán			
<b>Peso de la muestra(gr)</b>	1000			
<b>Ensayado por</b>	Nathaly Masaquiza	Fecha Muestreo:	7/12/2021	
<b>Norma</b>	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	7/12/2021	
<b>Descripción</b>	<b>Ensayo</b>			<b>Unidad</b>
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	
Masa seca original de la muestra	1500	1500	1500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	1468	1471	1469	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	2.1	1.9	2.1	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	2.04			%

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 12. Parámetros de control.

<b>Parámetros de control</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Mina Mora</b>	<b>Cantera Volcán</b>	<b>Precisión 1 Op INEN 697</b>
Rango	0.33	0.13	<0.43
Desviación estándar	0.21	0.10	<0.15
Coefficiente de variación(%)	7.97	4.98	--
<b>Resultado(%)</b>	2.69	2.04	<3%

Realizado por: Nathaly Masaquiza

### 3.1.2.4. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino.

Tabla 13. Impurezas orgánicas en el árido fino de cantera Volcán.

<b>Origen</b>	Cantera Volcán		
<b>No. comparador</b>	3	Escala Gardner	11
<b>Ensayado por</b>	Nathaly Masaquiza	Fecha Muestreo:	15-Mar-22
<b>Norma</b>	NTE INEN 855:2010	Fecha Ensayo:	15-Mar-22
Paca No.	Muestra #1	Muestra# 2	
			
Color	Ambar		
Contenido orgánico aceptable	Si		
<b>Propiedad ASTM C-40:</b> Agregado fino de muy buena calidad al no contener materia orgánica, limoso arcillas.			

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 14. Impurezas orgánicas en el árido fino de mina Mora.

<b>Origen</b>	Mina Mora		
<b>No. comparador</b>	2	Escala Gardner	8
<b>Ensayado por</b>	Nathaly Masaquiza	Fecha Muestreo:	15-Mar-22
<b>Norma</b>	NTE INEN 855:2010	Fecha Ensayo:	15-Mar-22
Paca No.	Muestra #1	Muestra# 2	
			
Color	Gris Claro.		
Contenido orgánico aceptable	Si		
<b>Propiedad ASTM C-40:</b> Agregado fino aceptable para su uso en la elaboración de hormigón.			

Realizado por: Nathaly Masaquiza

### 3.1.2.5. Granulometría de los agregados

Análisis granulométrico en el agregado fino.

Cantera Volcán

Tabla 15. Granulometría del agregado fino, para cantera volcán.

Origen		Cantera Volcán			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		500			Pérdida de muestra		0.23%	
Ensayado por		Nathaly Masaquiza			Fecha Muestreo:		10/02/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		11/02/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
No. 4	4.76	0.37	0.37	0.07%	0.07%	99.93%	95%	100%
No. 8	2.38	14.16	14.53	2.84%	2.91%	97.09%	80%	100%
No. 16	1.19	36.17	50.70	7.25%	10.16%	89.84%	50%	85%
No. 30	0.59	218.86	269.56	43.87%	54.04%	45.96%	25%	60%
No. 50	0.30	1.42	270.98	0.28%	54.32%	45.68%	10%	30%
No. 100	0.15	175.73	446.71	35.23%	89.55%	10.45%	2%	10%
No. 200	0.08	40.37	487.08	8.09%	97.64%	2.36%	-	-
Bandeja		11.76	498.84	2.36%	100.00%		-	-
<b>Módulo de Finura</b>							2.11	

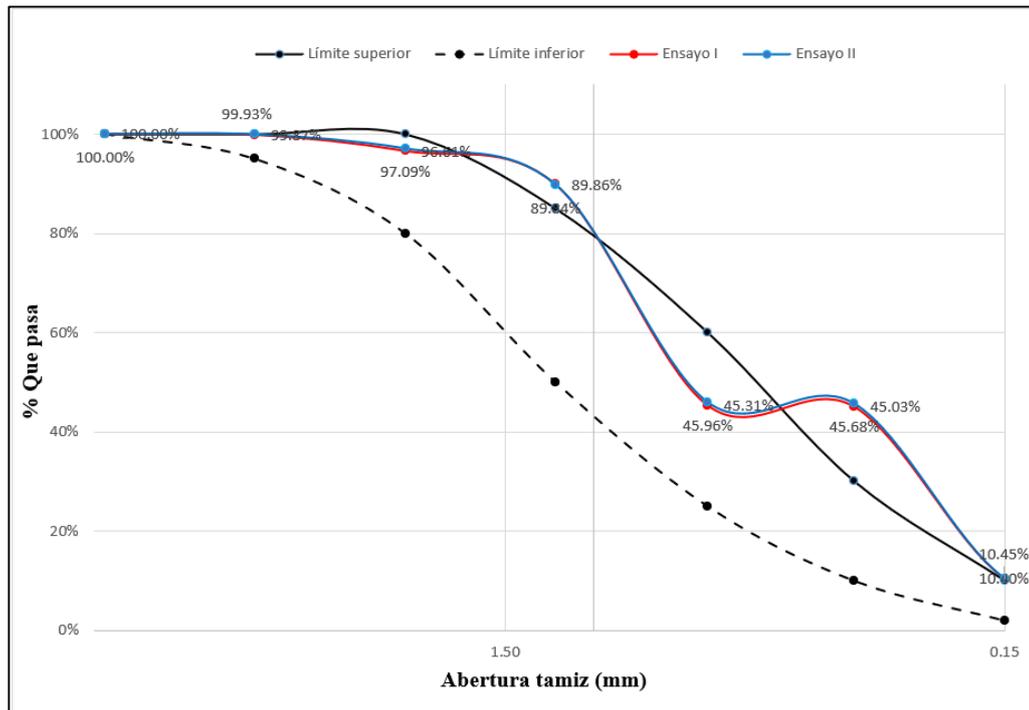
Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 16. Granulometría del agregado fino, para cantera Volcán.

Origen		Cantera Volcán			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		500			Pérdida de muestra		0.47%	
Ensayado por		Nathaly Masaquiza			Fecha Muestreo:		10/02/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		11/02/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
No. 4	4.76	0.64	0.64	0.13%	0.13%	99.87%	95%	100%
No. 8	2.38	16.25	16.89	3.27%	3.39%	96.61%	80%	100%
No. 16	1.19	33.56	50.45	6.74%	10.14%	89.86%	50%	85%
No. 30	0.59	221.71	272.16	44.55%	54.69%	45.31%	25%	60%
No. 50	0.30	1.39	273.55	0.28%	54.97%	45.03%	10%	30%
No. 100	0.15	172.37	445.92	34.64%	89.60%	10.40%	2%	10%
No. 200	0.08	42.29	488.21	8.50%	98.10%	1.90%	-	-
Bandeja		9.45	497.66	1.90%	100.00%		-	-
<b>Módulo de Finura</b>							2.13	

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino para cantera volcán.



Realizado por: Nathaly Masaquiza

Mina Mora

Tabla 17. Granulometría del agregado fino, para mina Mora.

Origen		Mina Mora				Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		500				Pérdida de muestra		0.33%	
Ensayado por		Nathaly Masaquiza				Fecha Muestreo:		10/02/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		11/02/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
3/8 "	9.50	5.47	5.47	1.10%	1.10%	98.90%	100%	100%	
No. 4	4.76	46.42	51.89	9.32%	10.41%	89.59%	95%	100%	
No. 8	2.38	64.76	116.65	13.00%	23.41%	76.59%	80%	100%	
No. 16	1.19	56.17	172.82	11.27%	34.68%	65.32%	50%	85%	
No. 30	0.59	155.95	328.77	31.29%	65.97%	34.03%	25%	60%	
No. 50	0.30	2.66	331.43	0.53%	66.51%	33.49%	10%	30%	
No. 100	0.15	74.94	406.37	15.04%	81.55%	18.45%	2%	10%	
No. 200	0.08	49.83	456.20	10.00%	91.55%	8.45%	-		
Bandeja		42.13	498.33	8.45%	100.00%		-		
<b>Módulo de finura</b>							2.84		

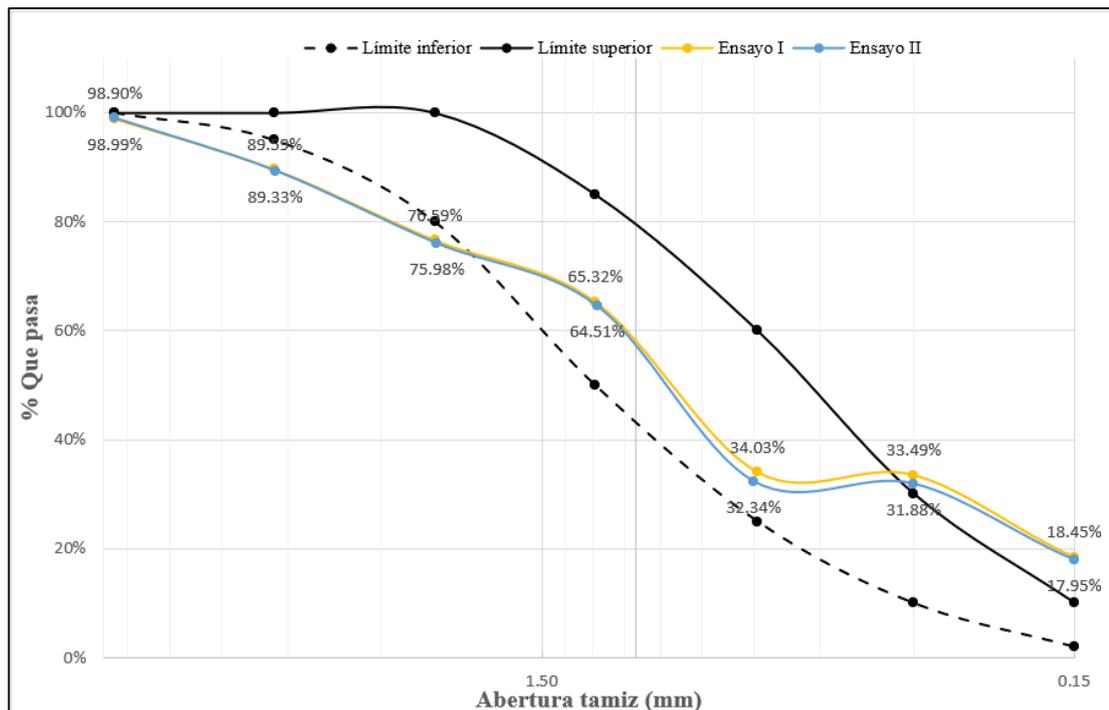
Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 18. Granulometría del agregado fino, para mina Mora.

<b>Origen</b>		Mina Mora			<b>Ensayo No.</b>		II	
<b>Peso de la muestra(gr)</b>		500			<b>Pérdida de muestra</b>		0.07%	
<b>Ensayado por</b>		Nathaly Masaquiza			<b>Fecha Muestreo:</b>		10/02/2022	
<b>Norma</b>		NTE INEN 696:2011			<b>Fecha Ensayo:</b>		11/02/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	5.07	5.07	1.01%	1.01%	98.99%	100%	100%
No. 4	4.75	48.23	53.30	9.65%	10.67%	89.33%	95%	100%
No. 8	2.36	66.71	120.01	13.35%	24.02%	75.98%	80%	100%
No. 16	1.18	57.32	177.33	11.47%	35.49%	64.51%	50%	85%
No. 30	0.60	160.73	338.06	32.17%	67.66%	32.34%	25%	60%
No. 50	0.30	2.31	340.37	0.46%	68.12%	31.88%	10%	30%
No. 100	0.15	69.58	409.95	13.93%	82.05%	17.95%	2%	10%
No. 200	0.075	48.67	458.62	9.74%	91.79%	8.21%	-	-
Bandeja		41.03	499.65	8.21%	100.00%		-	-
<b>Módulo de finura</b>							2.89	

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino para mina Mora.



Realizado por: Nathaly Masaquiza

Análisis granulométrico en el agregado grueso.

Cantera Volcán

Tabla 19. Granulometría del agregado grueso, para cantera Volcán.

Origen		Cantera Volcán				Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000				Pérdida de muestra		0.06%	
Ensayado por		Nathaly Masaquiza				Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
2 1/2"	63	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
2"	50	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%	
1 1/2"	37.50	2052.31	2052.31	20.54%	20.54%	79.46%	-	-	
1 "	25.00	2847.14	4899.45	28.49%	49.02%	50.98%	35%	70%	
3/4 "	19.00	1721.21	6620.66	17.22%	66.25%	33.75%	-	-	
1/2 "	12.50	1678.96	8299.62	16.80%	83.05%	16.95%	10%	30%	
3/8 "	9.50	1464.52	9764.14	14.65%	97.70%	2.30%	-	-	
No. 4	4.75	82.86	9847.00	0.83%	98.53%	1.47%	0%	5%	
Fuente		147.00	9994.00	1.47%	100.00%	0.00%			
Tamaño Nominal máximo:							2"		

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 20. Granulometría del agregado grueso, para cantera Volcán.

Origen		Cantera Volcán				Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000				Pérdida de muestra		0.02%	
Ensayado por		Nathaly Masaquiza				Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
2 1/2"	63	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
2"	50	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%	
1 1/2"	37.50	2049.64	2049.64	20.50%	20.50%	79.50%	-	-	
1 "	25.00	2846.13	4895.77	28.47%	48.97%	51.03%	35%	70%	
3/4 "	19.00	1729.21	6624.98	17.29%	66.26%	33.74%	-	-	
1/2 "	12.50	1676.86	8301.84	16.77%	83.03%	16.97%	10%	30%	
3/8 "	9.50	1463.51	9765.35	14.64%	97.67%	2.33%	-	-	
No. 4	4.75	85.64	9850.99	0.86%	98.52%	1.48%	0%	5%	
Fuente		147.49	9998.48	1.48%	100.00%				
Tamaño Nominal máximo:							2"		

Realizado por: Nathaly Masaquiza

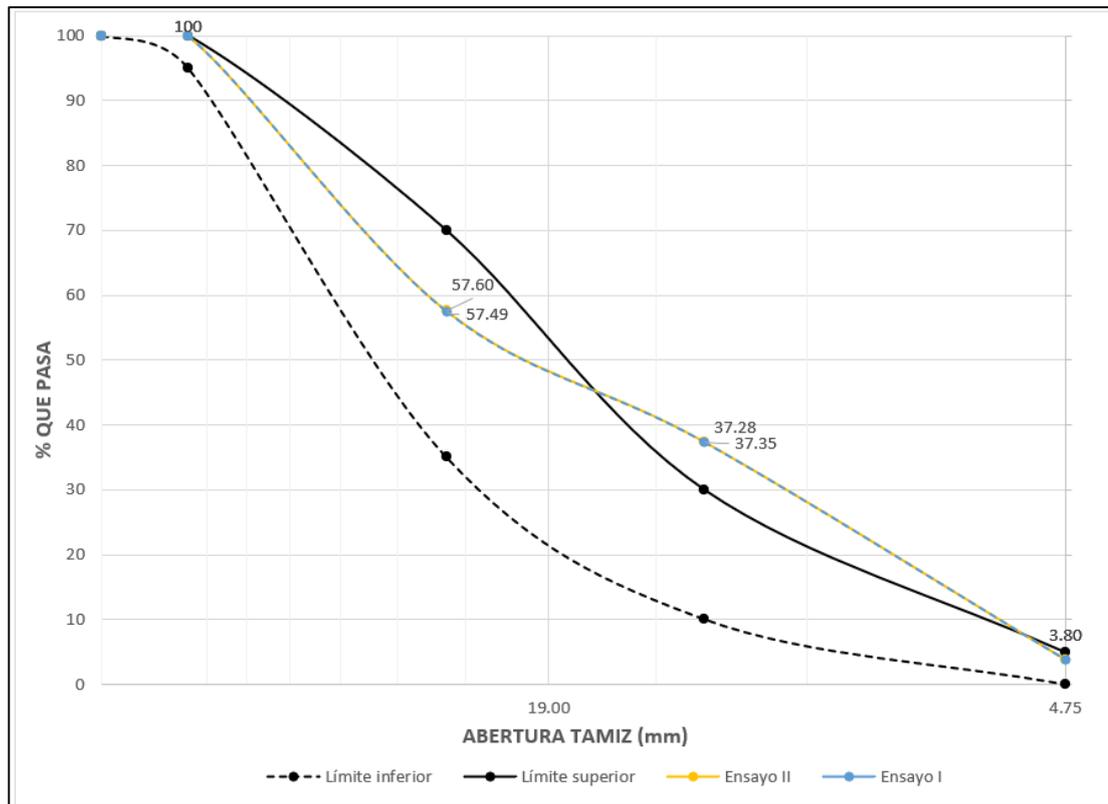


Tabla 22. Granulometría del agregado grueso, para mina Mora.

Origen		Mina Mora			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra		0.09%	
Ensayado por		Nathaly Masaquiza			Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2"	50.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
1 1/2"	37.50	1779.51	1779.51	17.81%	17.81%	82.19%	-	-
1 "	25.00	2456.38	4235.89	24.59%	42.40%	57.60%	35%	70%
3/4 "	19.00	969.89	5205.78	9.71%	52.11%	47.89%	-	-
1/2 "	12.50	1053.23	6259.01	10.54%	62.65%	37.35%	10%	30%
3/8 "	9.50	1605.71	7864.72	16.07%	78.72%	21.28%	-	-
No. 4	4.75	1746.37	9611.09	17.48%	96.20%	3.80%	0%	5%
Fuente		379.82	9990.91	3.80%	100.00%			
Tamaño Nominal máximo:						2"		

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso para mina Mora.



Realizado por: Nathaly Masaquiza

### 3.1.2.6. Determinación de la densidad real de los agregados.

#### Agregado fino

#### Mina Mora

Tabla 23. Densidad real del agregado fino para mina Mora.

Origen	Mina Mora	Ensayo No.	I
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	10/02/2022
Norma	NTE INEN 856:2010		
<b>Cálculo de la densidad real</b>			
<b>Datos</b>	<b>Designación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
m1	Masa del picnómetro	gr	153.45
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	645.25
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	949.48
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	304.23
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	651.6
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	498.15
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.996
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	193.92
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	491.8
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	194.6
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.527

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 24. Densidad real del agregado fino para mina Mora.

Origen	Mina Mora	Ensayo No.	II
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	10/02/2022
Norma	NTE INEN 856:2010		
<b>Cálculo de la densidad real</b>			
<b>Datos</b>	<b>Designación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
m1	Masa del picnómetro	gr	153.45
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	647.58
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	951.21
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	303.63
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	652.37
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	498.92
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.998
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	195.29
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	494.13
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	195.7
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.525

Realizado por: Nathaly Masaquiza

## Cantera Volcán

Tabla 25. Densidad real del agregado fino para cantera Volcán.

Origen	Cantera Volcán	Ensayo No.	I
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	10/02/2022
Norma	NTE INEN 856:2010		
<b>Cálculo de la densidad real</b>			
Datos	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	164.94
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	664.65
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	967.88
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	303.23
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	662.35
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	497.41
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.995
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	194.18
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	499.71
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	195
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.560

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 26. Densidad real del agregado fino para cantera Volcán

Origen	Cantera Volcán	Ensayo No.	II
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	10/02/2022
Norma	NTE INEN 856:2010		
<b>Cálculo de la densidad real</b>			
Datos	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	164.94
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	663.45
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	967.31
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	303.86
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	663.02
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	498.08
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.996
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	194.22
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	498.51
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	195.0
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.557

Realizado por: Nathaly Masaquiza

**Parámetros de control para la densidad real del agregado fino.**

*Tabla 27. Parámetros de control*

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	Mina Mora	Cantera Volcán	
Rango	0.00	0.003	<0.027
Desviación estándar	0.0014	0.0023	<0.0095
Coefficiente de variación(%)	0.05	0.09	-
<b>Resultado(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.526</b>	<b>2.558</b>	<b>-</b>

*Realizado por: Nathaly Masaquiza*

**Agregado grueso**

**Mina Mora**

*Tabla 28. Densidad real del agregado grueso para mina Mora.*

Origen	Mina Mora	Ensayo No.	I
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	11-Feb-22
Norma	NTE INEN 857:2010		
<b>Cálculo de la densidad real</b>			
Datos	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1236
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1074
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6226
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	4106
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4990
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3032
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1960.16
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm3	2.546

*Realizado por: Nathaly Masaquiza*

*Tabla 29. Densidad real del agregado grueso para mina Mora.*

Origen	Mina Mora	Ensayo No.	II
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	11-Feb-22
Norma	NTE INEN 857:2010		
<b>Cálculo de la densidad real</b>			
Datos	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1236
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1073
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6229
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	4105
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4993
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3032
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1963
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm3	2.543

*Realizado por: Nathaly Masaquiza*

## Cantera Volcán

Tabla 30. Densidad real del agregado grueso para cantera Volcán.

Origen	Cantera Volcán	Ensayo No.	I
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	11-Feb-22
Norma	NTE INEN 857:2010		
<b>Cálculo de la densidad real</b>			
<b>Datos</b>	<b>Designación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1236
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1071
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6111
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3997
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4875
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2926
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1951.15
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm3	2.499

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 31. Densidad real del agregado grueso para cantera Volcán.

Origen	Cantera Volcán	Ensayo No.	II
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	11-Feb-22
Norma	NTE INEN 857:2010		
<b>Cálculo de la densidad real</b>			
<b>Datos</b>	<b>Designación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1238
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1070
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6113
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3994
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4875
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2924
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1953.15
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm3	2.496

Realizado por: Nathaly Masaquiza

## Parámetros de control para la densidad real del agregado grueso.

Tabla 32. Parámetros de control.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 857
	Mina Mora	Cantera Volcán	
Rango	0.002	0.003	<0.02
Desviación estándar	0.002	0.002	<0.007
Coefficiente de variación (%)	0.07	0.07	-
<b>Resultado(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.545	2.497	-

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

### 3.1.2.7. Determinación de la capacidad de absorción de los agregados.

#### Agregado fino

#### Mina Mora

Tabla 33. Capacidad de absorción del agregado fino para mina Mora.

Origen	Mina Mora	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	10/02/2022	
Norma	NTE INEN 856:2010			
<b>Cálculo de la capacidad de absorción</b>				
Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	198.1	195.23
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	520.63	459.23
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	322.53	264
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	514.69	454.28
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	316.59	259.05
CA=((M10-M12)/M12)*100	Capacidad de absorción	%	1.88	1.91
P2=(CA1 + CA2)/2	Promedio	%	1.89	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Tabla 34. Capacidad de absorción del agregado fino para mina Mora.

Origen	Mina Mora	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	10/02/2022	
Norma	NTE INEN 856:2010			
<b>Cálculo de la capacidad de absorción</b>				
Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	195.46	201
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	600	612
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	404.54	411
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	592.65	604.38
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	397.19	403.38
CA=((M10-M12)/M12)*100	Capacidad de absorción	%	1.85	1.89
P2=(CA1 + CA2)/2	Promedio	%	1.87	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

## Cantera Volcán

Tabla 35. Capacidad de absorción del agregado fino para cantera Volcán.

Origen	Cantera Volcán	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	10/02/2022	
Norma	NTE INEN 856:2010			
<b>Cálculo de la capacidad de absorción</b>				
Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	217.67	220.15
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	517.25	520.91
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	299.58	300.76
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	513.27	516.88
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	295.6	296.73
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	1.35	1.36
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.35	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Tabla 36. Capacidad de absorción del agregado fino para cantera Volcán.

Origen	Cantera Volcán	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	10/02/2022	
Norma	NTE INEN 856:2010			
<b>Cálculo de la capacidad de absorción</b>				
Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	222.47	215.96
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	530.89	545.89
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	308.42	329.93
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	526.81	541.49
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	304.34	325.53
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	1.34	1.35
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.35	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

### Parámetros de control para capacidad de absorción del agregado fino.

Tabla 37. Parámetros de control.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	Mina Mora	Cantera Volcán	
Rango	0.02	0.01	<0.31
Desviación estándar	0.03	0.01	<0.11
Coefficiente de variación(%)	1.34	0.55	-
<b>Resultado(%)</b>	1.88	1.35	-

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

## Agregado grueso

### Mina Mora

Tabla 38. Capacidad de absorción del agregado grueso para mina Mora.

Origen	Mina Mora	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	11-Feb-22	
Norma	NTE INEN 857:2010			
<b>Cálculo de la capacidad de absorción</b>				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	30.7	32.6
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	142.5	148.5
$m9=m8 - m7$	Masa de la muestra SSS	gr	111.8	115.9
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	139.8	145.3
$m11=m10 - m7$	Masa de la Muestra seca	gr	109.1	112.7
$CA=((m9-m11)/m11)*100$	Capacidad de absorción	%	2.47	2.84
$P2=(CA1 + CA2)/2$	Capacidad de absorción promedio	%	2.66	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Tabla 39. Capacidad de absorción del agregado grueso para mina Mora.

Origen	Mina Mora	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	11-Feb-22	
Norma	NTE INEN 857:2010			
<b>Cálculo de la capacidad de absorción</b>				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	33.6	31.5
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	139	151.9
$m9=m8 - m7$	Masa de la muestra SSS	gr	105.4	120.4
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	136.1	148.9
$m11=m10 - m7$	Masa de la Muestra seca	gr	102.5	117.4
$CA=((m9-m11)/m11)*100$	Capacidad de absorción	%	2.83	2.56
$P2=(CA1 + CA2)/2$	Capacidad de absorción promedio	%	2.69	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

## Cantera Volcán

Tabla 40. Capacidad de absorción del agregado grueso para cantera Volcán.

Origen	Cantera Volcán	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	11-Feb-22	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	30.2	32.2
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	174.8	172.1
$m9=m8 - m7$	Masa de la muestra SSS	gr	144.6	139.9
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	170.41	167.83
$m11=m10 - m7$	Masa de la Muestra seca	gr	140.21	135.63
$CA=((M9-M11)/M11)*100$	Capacidad de absorción	%	3.13	3.15
$P2=(CA1 + CA2)/2$	Capacidad de absorción promedio	%	3.14	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Tabla 41. Capacidad de absorción del agregado grueso para cantera Volcán.

Origen	Cantera Volcán	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza	Fecha	11-Feb-22	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	30.7	31.7
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	172.84	163
$m9=m8 - m7$	Masa de la muestra SSS	gr	142.14	131.3
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	168.55	159.02
$m11=m10 - m7$	Masa de la Muestra seca	gr	137.85	127.32
$CA=((M9-M11)/M11)*100$	Capacidad de absorción	%	3.11	3.13
$P2=(CA1 + CA2)/2$	Capacidad de absorción promedio	%	3.12	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

## Parámetros de control en capacidad de absorción del agregado grueso.

Tabla 42. Parámetros de control.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 857
	Mina Mora	Cantera Volcán	
Rango	0.04	0.02	<0.31
Desviación estándar	0.02	0.01	<0.11
Coefficiente de variación (%)	0.93	0.47	-
<b>Resultado (%)</b>	2.67	3.13	-

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

**3.1.2.8. Determinación de la densidad aparente de los agregados para la condición suelta y compactada.**

**Condición suelta**

**Mina Mora**

*Tabla 43. Densidad aparente suelta para mina Mora.*

<b>Origen</b>	Mina Mora		<b>Ensayo</b>	I
<b>Masa del recipiente (gr)</b>	9900		<b>Fecha muestreo</b>	29-Mar-22
<b>Ensayado por:</b>	Nathaly Masaquiza		<b>Fecha Ensayo</b>	30-Mar-22
<b>Volumen del recipiente(cm<sup>3</sup>):</b>	20650			
<b>Norma</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + recipiente (gr)</b>	<b>Agregado (gr)</b>	<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Grueso	37500	27600	1.337	1.334
	37400	27500	1.332	
Fino	41200	31300	1.516	1.518
	41300	31400	1.521	

*Realizado por: Nathaly Masaquiza.*

*Tabla 44. Densidad aparente suelta para mina Mora.*

<b>Origen</b>	Mina Mora		<b>Ensayo</b>	II
<b>Masa del recipiente (gr)</b>	9900		<b>Fecha muestreo</b>	29-Mar-22
<b>Ensayado por:</b>	Nathaly Masaquiza		<b>Fecha Ensayo</b>	30-Mar-22
<b>Volumen del recipiente(cm<sup>3</sup>):</b>	20650			
<b>Norma</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + recipiente (gr)</b>	<b>Agregado (gr)</b>	<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Grueso	37300	27400	1.327	1.332
	37500	27600	1.337	
Fino	41000	31100	1.506	1.479
	39900	30000	1.453	

*Realizado por: Nathaly Masaquiza.*

## Cantera Volcán

Tabla 45. Densidad aparente suelta para cantera Volcán.

<b>Origen</b>	Cantera Volcán		Ensayo	I
<b>Masa del recipiente (gr)</b>	Nathaly Masaquiza		Fecha muestreo	29-Mar-22
<b>Ensayado por:</b>	9900		Fecha Ensayo	30-Mar-22
<b>Volumen del recipiente(cm<sup>3</sup>):</b>	20650			
<b>Norma</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + recipiente (gr)</b>	<b>Agregado (gr)</b>	<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Grueso	37500	27600	1.337	1.339
	37600	27700	1.341	
Fino	41900	32000	1.550	1.547
	41800	31900	1.545	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Tabla 46. Densidad aparente suelta para cantera Volcán.

<b>Origen</b>	Cantera Volcán		Ensayo	II
<b>Masa del recipiente (gr)</b>	9900		Fecha muestreo	29-Mar-22
<b>Ensayado por:</b>	Nathaly Masaquiza		Fecha Ensayo	30-Mar-22
<b>Volumen del recipiente(cm<sup>3</sup>):</b>	20650			
<b>Ensayado por:</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + recipiente (gr)</b>	<b>Agregado (gr)</b>	<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Grueso	37200	27300	1.322	1.324
	37300	27400	1.327	
Fino	42000	32100	1.554	1.552
	41900	32000	1.550	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

## Condición compactada

### Mina Mora

Tabla 47. Densidad aparente compactada para mina Mora

<b>Origen</b>	Mina Mora		<b>Ensayo</b>	I
<b>Masa del recipiente (gr)</b>	9900		Fecha muestreo	29-Mar-22
<b>Ensayado por:</b>	Nathaly Masaquiza		Fecha Ensayo	30-Mar-22
<b>Volumen del recipiente(cm<sup>3</sup>):</b>	20650			
<b>Norma</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + recipiente (gr)</b>	<b>Agregado (gr)</b>	<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Grueso	40300	30400	1.472	1.470
	40200	30300	1.467	
Fino	45200	35300	1.709	1.709
	45200	35300	1.709	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Tabla 48. Densidad aparente compactada para mina Mora.

<b>Origen</b>	Mina Mora		<b>Ensayo</b>	II
<b>Masa del recipiente (gr)</b>	9900		Fecha muestreo	29-Mar-22
<b>Ensayado por:</b>	Nathaly Masaquiza		Fecha Ensayo	30-Mar-22
<b>Volumen del recipiente(cm<sup>3</sup>):</b>	20650			
<b>Norma</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + recipiente (gr)</b>	<b>Agregado (gr)</b>	<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Grueso	40300	30400	1.472	1.472
	40300	30400	1.472	
Fino	45000	35100	1.700	1.705
	45200	35300	1.709	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

## Cantera Volcán

Tabla 49. Densidad aparente compactada para cantera Volcán.

<b>Origen</b>	Cantera Volcán		<b>Ensayo</b>	I
<b>Masa del recipiente (gr)</b>	9900		Fecha muestreo	29-Mar-22
<b>Ensayado por:</b>	Nathaly Masaquiza		Fecha Ensayo	30-Mar-22
<b>Volumen del recipiente(cm<sup>3</sup>):</b>	20650			
<b>Norma</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + recipiente (gr)</b>	<b>Agregado (gr)</b>	<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Grueso	40100	30200	1.462	1.465
	40200	30300	1.467	
Fino	45100	35200	1.705	1.702
	45000	35100	1.700	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Tabla 50. Densidad aparente compactada para cantera Volcán.

<b>Origen</b>	Cantera Volcán		<b>Ensayo</b>	II
<b>Masa del recipiente (gr)</b>	9900		Fecha muestreo	29-Mar-22
<b>Ensayado por:</b>	Nathaly Masaquiza		Fecha Ensayo	30-Mar-22
<b>Volumen del recipiente(cm<sup>3</sup>):</b>	20650			
<b>Norma</b>	NTE INEN 858:2010			
<b>Agregado</b>	<b>Agregado + recipiente (gr)</b>	<b>Agregado (gr)</b>	<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Grueso	40300	30400	1.472	1.467
	40100	30200	1.462	
Fino	44900	35000	1.695	1.697
	45000	35100	1.700	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

## Parámetros de control

Tabla 51. Parámetros de control para el agregado fino.

Origen	Agregado fino		Fecha muestreo	29/03/2022	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza		Fecha ensayo	30/03/2022	
Norma	NTE INEN 858:2010		Condición	Suelta/Compactada	
Parámetro	Suelta		Compactada		Precisión 1 Op INEN 858
	Mina Mora	Cantera Volcán	Mina Mora	Cantera Volcán	
Rango	0.039	0.005	0.005	0.005	<0.04
Desviación estándar	0.027	0.003	0.003	0.003	<0.014
Coefficiente de variación (%)	1.83	0.22	0.20	0.20	<1%
<b>Resultado(gr/cm3)</b>	1.499	1.550	1.707	1.700	-

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Tabla 52. Parámetros de control para el agregado grueso.

Origen	Agregado grueso		Fecha muestreo	29/03/2022	
Ensayado por	Nathaly Masaquiza		Fecha ensayo	30/03/2022	
Norma	NTE INEN 858:2010		Condición	Suelta/Compactada	
Parámetro	Suelta		Compactada		Precisión 1 Op INEN 858
	Mina Mora	Cantera Volcán	Mina Mora	Cantera Volcán	
Rango	0.002	0.015	0.002	0.002	<0.04
Desviación estándar	0.002	0.010	0.002	0.002	<0.014
Coefficiente de variación (%)	0.13	0.77	0.12	0.12	<1%
<b>Resultado(gr/cm3)</b>	1.333	1.332	1.471	1.466	-

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

**Condición: mezcla de agregado fino + grueso**

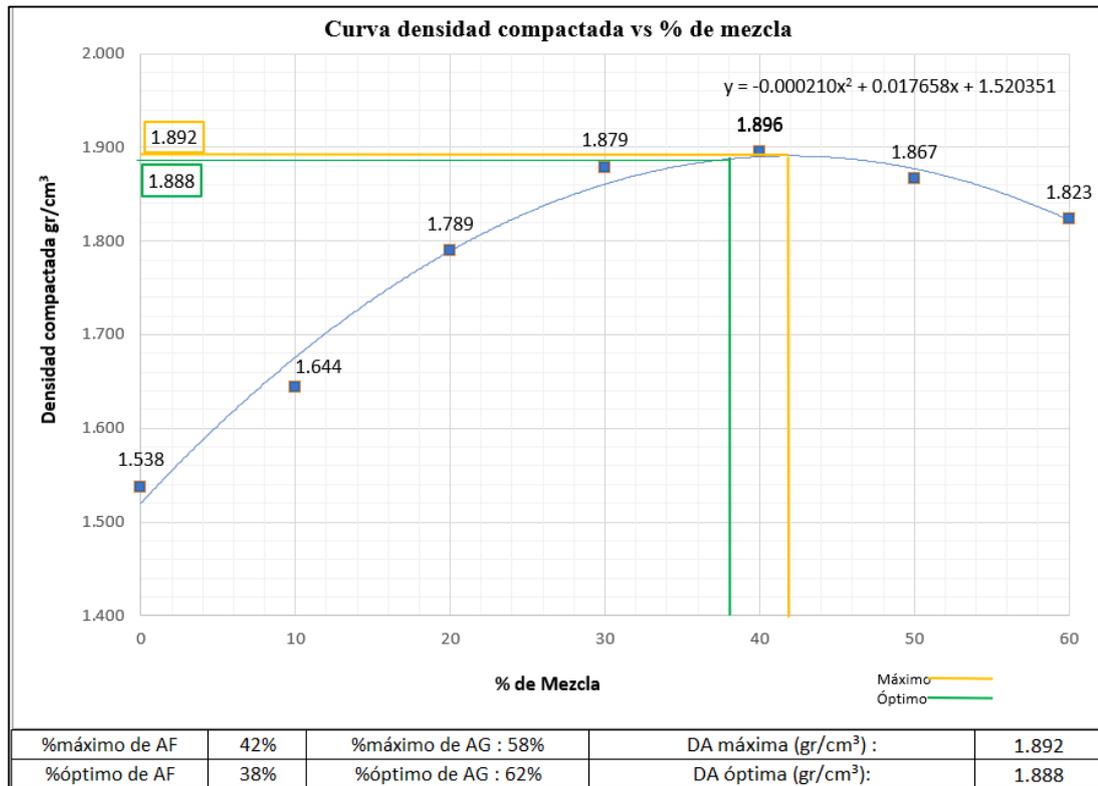
**Mina Mora**

Tabla 53. Densidad aparente compactada de la mezcla.

% de Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(Kg)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm <sup>3</sup> )	DA promedio (gr/cm <sup>3</sup> )
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41700	31800	1.540	1.538
					41600	31700	1.535	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43800	33900	1.642	1.644
					43900	34000	1.646	
80	20	40000	10000	5555.56	46800	36900	1.787	1.789
					46900	37000	1.792	
70	30	40000	17142.86	7142.86	48800	38900	1.884	1.879
					48600	38700	1.874	
60	40	40000	26666.67	9523.81	49100	39200	1.898	1.896
					49000	39100	1.893	
50	50	40000	40000	13333.33	48500	38600	1.869	1.867
					48400	38500	1.864	
40	60	40000	60000	20000	47500	37600	1.821	1.823
					47600	37700	1.826	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Figura 9. Curva densidad compactada vs porcentaje de mezcla.



Realizado por: Nathaly Masaquiza.

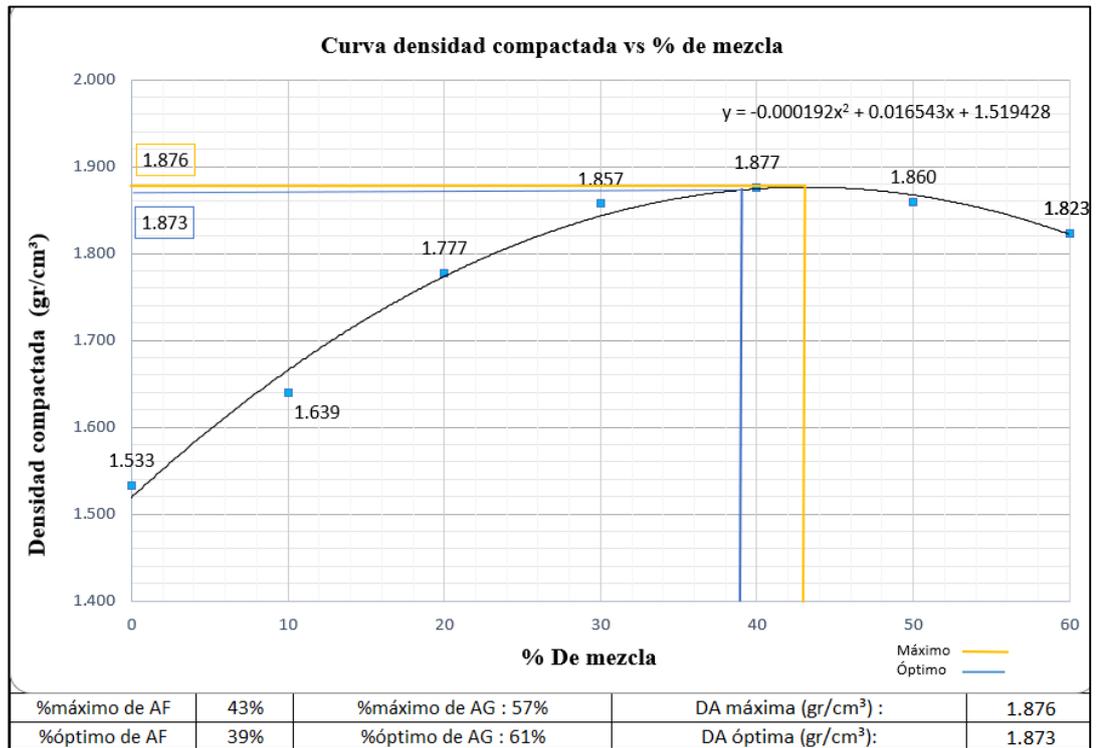
## Cantera Volcán

Tabla 54. Densidad aparente compactada de la mezcla.

% Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(gr)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm <sup>3</sup> )	DA promedio (gr/cm <sup>3</sup> )
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41700	31800	1.540	1.533
					41400	31500	1.525	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43800	33900	1.642	1.639
					43700	33800	1.637	
80	20	40000	10000	5555.56	46700	36800	1.782	1.777
					46500	36600	1.772	
70	30	40000	17142.86	7142.86	48400	38500	1.864	1.857
					48100	38200	1.850	
60	40	40000	26666.67	9523.81	48600	38700	1.874	1.877
					48700	38800	1.879	
50	50	40000	40000	13333.33	48400	38500	1.864	1.860
					48200	38300	1.855	
40	60	40000	60000	20000	47400	37500	1.816	1.823
					47700	37800	1.831	

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Figura 10. Curva densidad compactada vs porcentaje de mezcla.



Realizado por: Nathaly Masaquiza.

### 3.1.3. Diseño de mezclas con el método de la densidad óptima

#### 3.1.3.1. Condiciones de diseño

Tabla 55. Condiciones de diseño para Mina Mora y Cantera Volcán.

f <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento
210	0.58	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m <sup>3</sup>	Hidráulico Tipo GU
280	0.52	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m <sup>3</sup>	Hidráulico Tipo GU

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

Nota: Las condiciones de diseño mostradas son aplicables para ambas minas.

### 3.1.3.2. Valores obtenidos en laboratorio

#### Cantera Volcán

Tabla 56. Resumen de resultado de ensayos en laboratorio para cantera Volcán.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.946	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad real del agregado fino : DRA	2.558	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.497	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.550	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad aparente suelta del agregado grueso : DAR	1.332	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad aparente compactada del agregado fino : DAA	1.700	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad aparente compactada del agregado grueso: DAR	1.466	(gr/cm <sup>3</sup> )
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	39	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	61	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.873	(gr/cm <sup>3</sup> )
Módulo de finura de la arena: MFA	2.1	%
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	1.489	%
Contenido de humedad del agregado grueso:CHR	1.951	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	1.35	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	3.13	%

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

#### Mina Mora

Tabla 57. Resumen de resultados de ensayos en laboratorio para mina Mora.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.946	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad real del agregado fino : DRA	2.526	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.545	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.499	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad aparente suelta del agregado grueso : DAR	1.333	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad aparente del agregado fino(compactada) : DAA	1.707	(gr/cm <sup>3</sup> )
Densidad aparente del agregado grueso (compactada) : DAR	1.471	(gr/cm <sup>3</sup> )
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	38	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	62	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.884	(gr/cm <sup>3</sup> )
Módulo de finura de la arena: MFA	2.9	%
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	1.817	%
Contenido de humedad del agregado grueso:CHR	2.217	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	1.88	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	2.67	%

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

### 3.1.3.3. Cantidades para mezclar

Cantera Volcán

$F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 58. Cantidades a mezclar para  $1\text{m}^3$

Resultados para $f'c 210 \text{ Kg/cm}^2$					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	187.84	0.58	29	29	Litros
C	323.86	1.00	50	1	Saco
AF	700.69	2.16	108.18	2.6	Parihuela
AG	1069.71	3.30	165.15	4.6	Parihuela

*Realizado por: Nathaly Masaquiza.*

$F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 59. Cantidades a mezclar para  $1\text{m}^3$

Resultados para $f'c 280 \text{ Kg/cm}^2$					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	180.16	0.52	26	26	Litros
C	346.47	1.00	50	1	Saco
AF	700.69	2.02	101.12	2.4	Parihuela
AG	1069.71	3.09	154.37	4.3	Parihuela

*Realizado por: Nathaly Masaquiza.*

Mina Mora

$F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 60. Cantidades a mezclar para  $1\text{m}^3$

Resultados para $f'c 210 \text{ Kg/cm}^2$					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	188.05	0.58	29	29	lt
C	324.22	1.00	50	1	Saco
AF	673.67	2.08	103.89	2.6	Parihuela
AG	1107.32	3.42	170.77	4.7	Parihuela

*Realizado por: Nathaly Masaquiza.*

$$F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$$

Tabla 61. Cantidades a mezclar para 1m<sup>3</sup>

Resultados para f'c 280 Kg/cm <sup>2</sup>					
Material	Cantidad en Kg @m <sup>3</sup>	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	180.36	0.52	26	26	lt
C	346.85	1.00	50	1	Saco
AF	673.67	1.94	97.11	2.4	Parihuela
AG	1107.32	3.19	159.62	4.4	Parihuela

Realizado por: Nathaly Masaquiza.

### 3.1.4. Elaboración de probetas

#### 3.1.4.1. Para fase de prueba

Se han elaborado probetas a ser ensayadas a los 7 y 14 días de edad con el objetivo de verificar y controlar la dosificación obtenida. Las tablas 62 y 63 muestran el esfuerzo alcanzado después del ensayo a compresión para cada una de las minas.

#### Determinación de la resistencia a la compresión

##### Mina Mora

Tabla 62. Resultados obtenidos a los 7 y 14 días para mina Mora.

Origen		Mina Mora									
Ensayado por		Nathaly Masaquiza									
Norma		NTE INEN 1573:2010									
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros				Resultados ensayo			
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio	
M21	7	17/02/2022	25/02/2022	1	10.00	19.90	3.65	112	14.3	14.5	
M21	7			2	10.10	20.10	3.56	116	14.5		
M21	7			3	10.00	20.10	3.51	115	14.6		
M28	7		25/02/2022	25/02/2022	1	10.00	20.00	3.500	146	18.6	18.7
M28	7				2	10.10	20.10	3.6	148	18.5	
M28	7				3	10.00	20.00	3.58	148	18.9	
M21	14	17/02/2022	2/3/2022	1	10.00	20.10	3.53	137	17.4	17.4	
M21	14			2	10.10	20.00	3.52	138	17.2		
M21	14			3	10.10	20.00	3.5	141	17.6		
M28	14		2/3/2022	2/3/2022	1	10.10	20.00	3.52	180	22.5	22.6
M28	14				2	10.10	20.10	3.54	182	22.7	
M28	14				3	10.00	20.00	3.59	177	22.5	

Realizado por: Nathaly Masaquiza

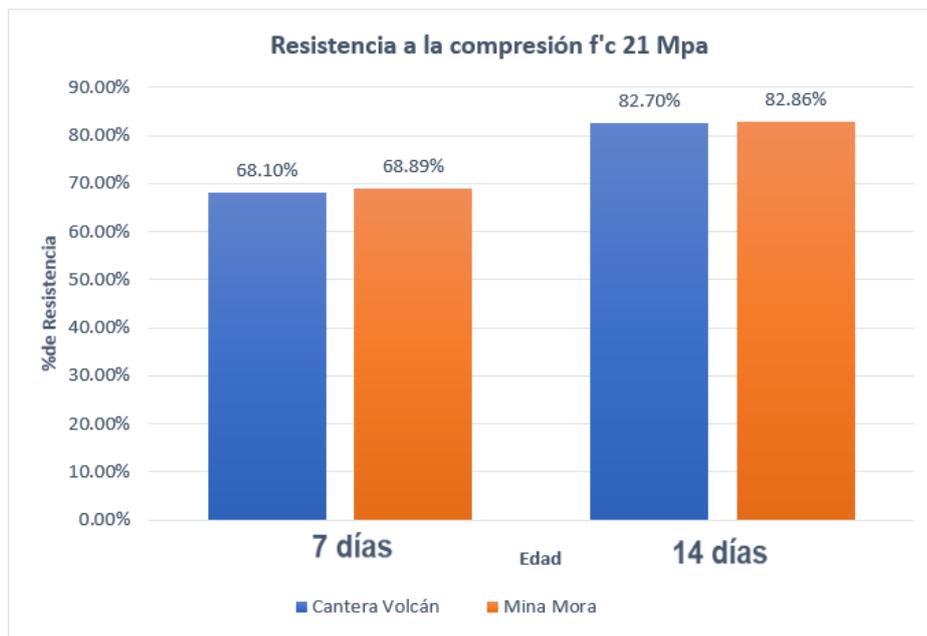
## Cantera Volcán

Tabla 63. Resultados obtenidos a los 7 y 14 días para cantera Volcán.

Origen		Cantera Volcán									
Ensayado por		Nathaly Masaquiza									
Norma		NTE INEN 1573:2010									
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo				
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio	
V21	7	17/02/2022	25/02/2022	1	10.00	19.90	3.926	112	14.3	14.3	
V21	7			2	10.10	20.10	3.684	113	14.1		
V21	7			3	10.00	20.10	3.912	114	14.5		
V28	7		25/02/2022	25/02/2022	1	10.00	20.30	3.894	150	19.10	18.8
V28	7				2	10.00	20.20	3.944	146	18.60	
V28	7				3	10.10	20.30	3.929	151	18.80	
V21	14	17/02/2022	2/3/2022	1	10.00	20.20	3.923	136	17.3	17.4	
V21	14			2	10.00	20.30	3.903	136	17.3		
V21	14			3	10.00	20.20	3.879	137	17.5		
V28	14		2/3/2022	2/3/2022	1	10.00	20.30	3.914	178	22.6	22.7
V28	14				2	10.00	20.30	3.884	181	23	
V28	14				3	10.00	20.20	3.893	178	22.6	

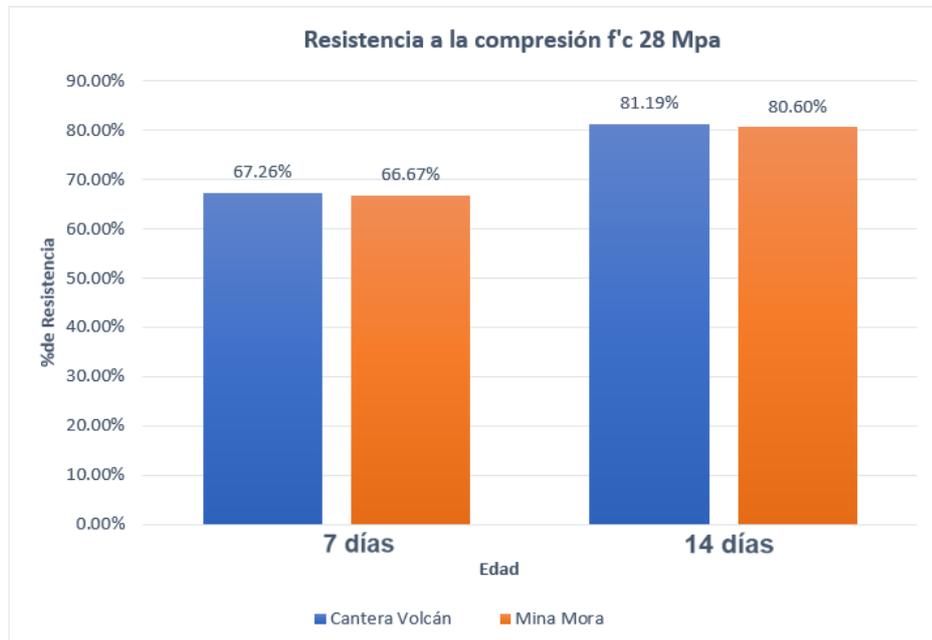
Realizado por: Nathaly Masaquiza

Figura 11. Porcentaje de resistencia obtenido a los 7 y 14 días.



Realizado por: Nathaly Masaquiza

Figura 12. Porcentaje de resistencia obtenido a los 7 y 14 días.



Realizado por: Nathaly Masaquiza

Nota: Las tablas 62 y 63 muestran numéricamente los valores obtenidos después del ensayo a compresión de las probetas, así como también las gráficas 11 y 12 que muestran de forma porcentual la resistencia alcanzada, estos valores se aceptan como adecuados ya que están por encima de los valores mínimos requeridos.

A la edad de 7 días la resistencia del hormigón debe estar entre el 65% y 75% de su resistencia de diseño, mientras que a los 14 días deberá estar entre el 80% y 90%.

### 3.1.4.2. Para fase definitiva

#### Ensayos realizados en el hormigón en estado fresco.

Tabla 64. Ensayos en el hormigón fresco para mina Mora.

<b>Origen</b>	Mina Mora					
<b>Ensayado por</b>	Nathaly Masaquiza					
<b>Norma</b>	NTE INEN 1579:2013					
<b>Dato</b>	<b>Resistencia</b>					
	<b>M21-1</b>	<b>M21-2</b>	<b>M21-3</b>	<b>M28-1</b>	<b>M28-2</b>	<b>M28-3</b>
Fecha Elaboración	4/1/2022			4/1/2022		
Hora Elaboración	11h00			09h00		
Densidad teórica (Kg/m <sup>3</sup> )	2293.250			2308.200		
Peso(Kg)	3.87	3.85	3.86	3.80	3.85	3.83
Volumen Molde(m <sup>3</sup> )	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Densidad H. fresco experimental (Kg/m <sup>3</sup> )	2463.72	2450.99	2457.35	2419.16	2450.99	2438.26
Densidad promedio	2457.354			2436.134		
Asentamiento(cm)	<b>8.4</b>	<b>7.5</b>	<b>7.8</b>	<b>7.2</b>	<b>8.5</b>	<b>8</b>
Consistencia	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Homogeneidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Contenido de aire(%)	7.16			5.54		
Rendimiento Relativo	1.0			1.0		

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 65. Ensayos en el hormigón fresco para cantera Volcán.

<b>Origen</b>	Cantera Volcán					
<b>Ensayado por</b>	Nathaly Masaquiza					
<b>Norma</b>	NTE INEN 1579:2013					
<b>Dato</b>	<b>Resistencia</b>					
	<b>V21-1</b>	<b>V21-2</b>	<b>V21-3</b>	<b>V28-1</b>	<b>V28-2</b>	<b>V28-3</b>
Fecha de elaboración	4/1/2022			4/1/2022		
Hora de elaboración	14h00			14h00		
Densidad teórica (Kg/m <sup>3</sup> )	2297.030			2282.100		
Peso(Kg)	3.60	3.55	3.55	3.60	3.58	3.56
Volumen Molde(m <sup>3</sup> )	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Densidad H. fresco experimental (Kg/m <sup>3</sup> )	2291.83	2260	2260	2290.56	2279.1	2266.37
Densidad promedio	2270.612			2278.676		
Asentamiento(cm)	<b>8.5</b>	<b>7.5</b>	<b>7.8</b>	<b>7.2</b>	<b>8.5</b>	<b>8.2</b>
Consistencia	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
Trabajabilidad	Regular	Buena	Buena	Regular	Buena	Buena
Homogeneidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Contenido de aire(%)	1.15			0.15		
Rendimiento Relativo	1.000			1.000		

Realizado por: Nathaly Masaquiza

## Ensayos realizados en el hormigón endurecido.

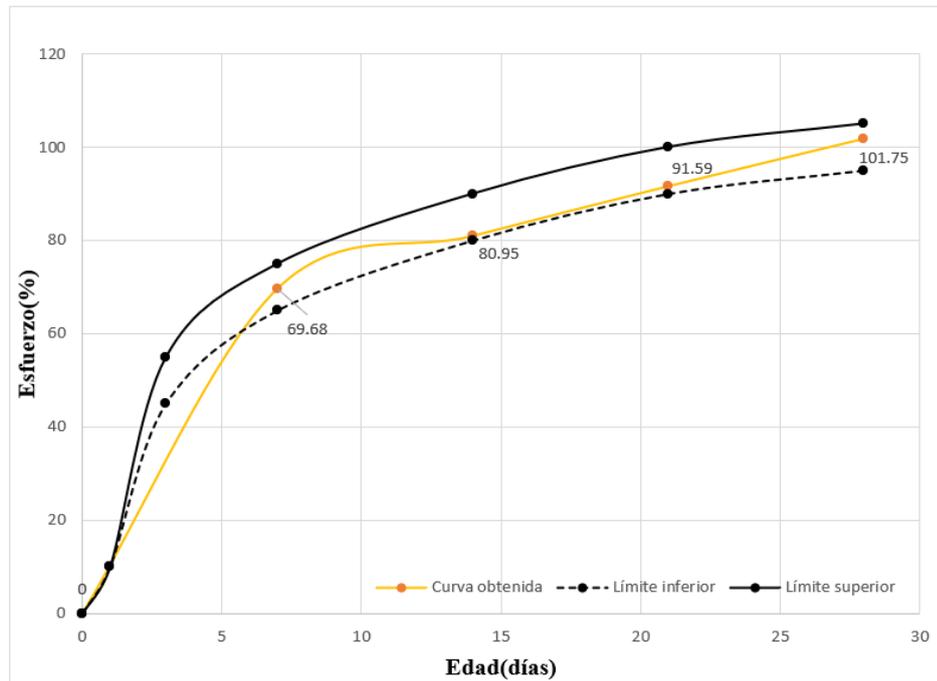
Determinación de la resistencia a la compresión

Tabla 66. Resistencia a la compresión obtenida para cantera Volcán.

Origen		Cantera Volcán								
Ensayado por		Nathaly Masaquiza								
Norma		NTE INEN 1573:2010								
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo			
				#	$\phi$ (cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio
V21	9	21/02/2022	2/3/2022	1	10.00	20.00	3.61	117	14.90	14.63
V21	9			2	10.00	20.00	3.73	112	14.30	
V21	9			3	10.00	20.00	3.67	115	14.70	
V21	14	22/02/2022	8/3/2022	1	10.00	20.00	3.30	135	17.20	17.00
V21	14			2	10.00	20.00	3.27	134	17.00	
V21	14			3	10.00	20.00	3.25	132	16.80	
V21	21	8/3/2022	10/3/2022	1	10.00	20.00	3.64	151	19.20	19.23
V21	21			2	10.00	20.00	3.61	150	19.10	
V21	21			3	10.00	20.00	3.59	152	19.40	
V21	28	18/02/2022	18/03/2022	1	10.00	20.00	3.60	167	21.20	21.37
V21	28			2	10.00	20.00	3.67	169	21.50	
V21	28			3	10.00	20.00	3.55	168	21.40	
V28	9	21/02/2022	2/3/2022	1	10.00	20.00	3.37	146	18.60	18.63
V28	9			2	10.00	20.00	3.30	146	18.60	
V28	9			3	10.00	20.00	3.28	147	18.70	
V28	14	21/02/2022	7/3/2022	1	10.00	20.00	3.25	179	22.80	22.90
V28	14			2	10.00	20.00	3.25	180	22.90	
V28	14			3	10.00	20.00	3.24	181	23.00	
V28	21	21/02/2022	14/03/2022	1	10.00	20.00	3.28	203	25.80	25.70
V28	21			2	10.00	20.00	3.30	201	25.60	
V28	21			3	10.00	20.00	3.31	202	25.70	
V28	28	21/02/2022	21/03/2022	1	10.00	20.00	3.22	223	28.30	28.23
V28	28			2	10.00	20.00	3.30	224	28.30	
V28	28			3	10.00	20.00	3.35	226	28.10	

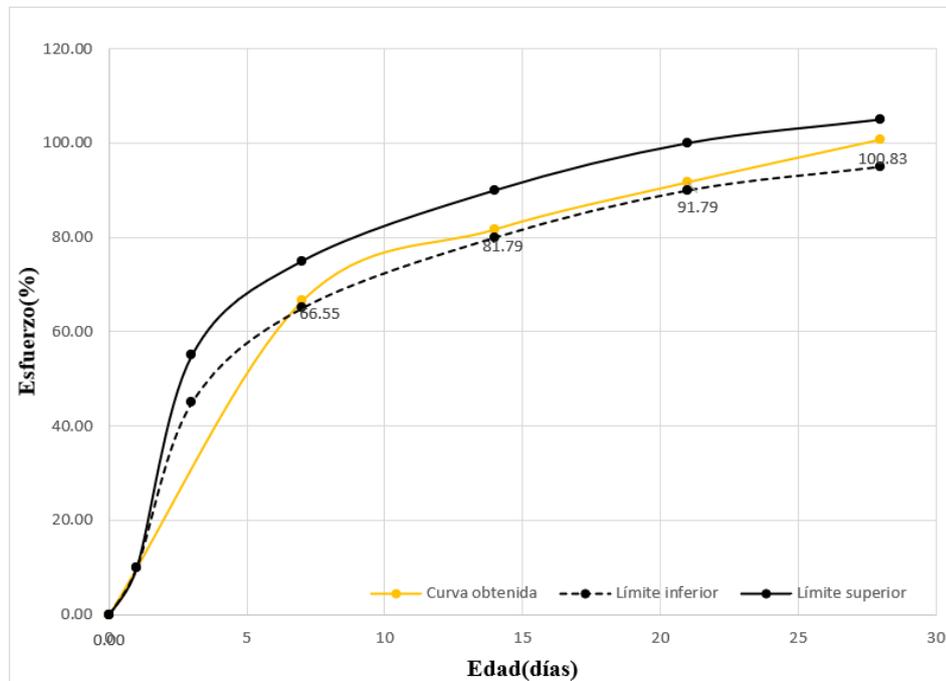
Realizado por: Nathaly Masaquiza

Figura 13. Curva edad vs Esfuerzo para cantera Volcán  $f_c = 21 \text{ Mpa}$



Realizado por: Nathaly Masaquiza

Figura 14. Curva edad vs Esfuerzo para cantera Volcán  $f_c = 28 \text{ Mpa}$



Realizado por: Nathaly Masaquiza

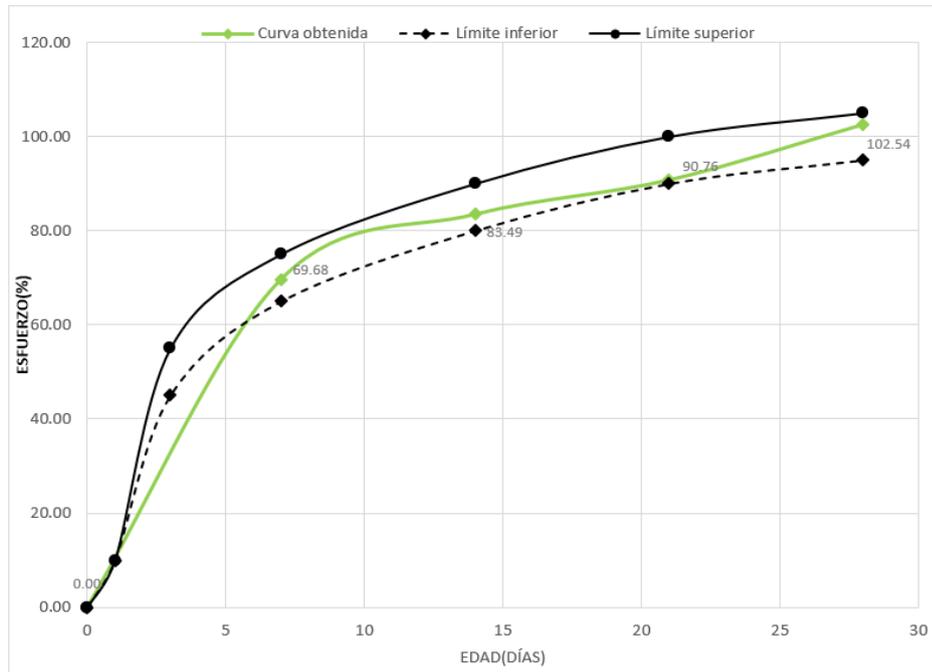
Tabla 67. Resistencia a la compresión obtenida para mina Mora.

Origen		Mina Mora								
Ensayado por		Nathaly Masaquiza								
Norma		NTE INEN 1573:2010								
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo			
				#	$\phi$ (cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio
M21	9	21/02/2022	7/3/2022	1	10.00	20.00	3.47	116	14.80	14.63
M21	9			2	10.00	20.00	3.65	115	14.60	
M21	9			3	10.00	20.00	3.55	114	14.50	
M21	14	21/02/2022	7/3/2022	1	10.00	20.00	3.89	138	17.60	17.53
M21	14			2	10.00	20.00	3.90	138	17.60	
M21	14			3	10.00	20.00	3.84	137	17.40	
M21	21	17/02/2022	9/3/2022	1	10.00	20.00	3.50	149	18.93	19.06
M21	21			2	10.00	20.00	3.50	151	19.21	
M21	21			3	10.00	20.00	3.54	150	19.04	
M21	28	17/02/2022	17/03/2022	1	10.00	20.00	3.52	169	21.50	21.53
M21	28			2	10.00	20.00	2.53	170	21.60	
M21	28			3	10.00	20.00	2.54	169	21.50	
M28	9	21/02/2022	2/3/2022	1	10.00	20.00	3.87	148	18.80	18.73
M28	9			2	10.00	20.00	3.86	148	18.80	
M28	9			3	10.00	20.00	3.88	146	18.60	
M28	14	22/02/2022	8/3/2022	1	10.00	20.00	3.52	183	23.30	23.23
M28	14			2	10.00	20.00	3.52	184	23.40	
M28	14			3	10.00	20.00	3.54	181	23.00	
M28	21	18/02/2022	10/3/2022	1	10.00	20.00	3.53	197	25.10	25.30
M28	21			2	10.00	20.00	3.67	200	25.49	
M28	21			3	10.00	20.00	3.68	199	25.30	
M28	28	18/02/2022	18/03/2022	1	10.00	20.00	3.55	222	28.40	28.57
M28	28			2	10.00	20.00	3.53	222	28.50	
M28	28			3	10.00	20.00	3.51	221	28.80	

Realizado por: Nathaly Masaquiza

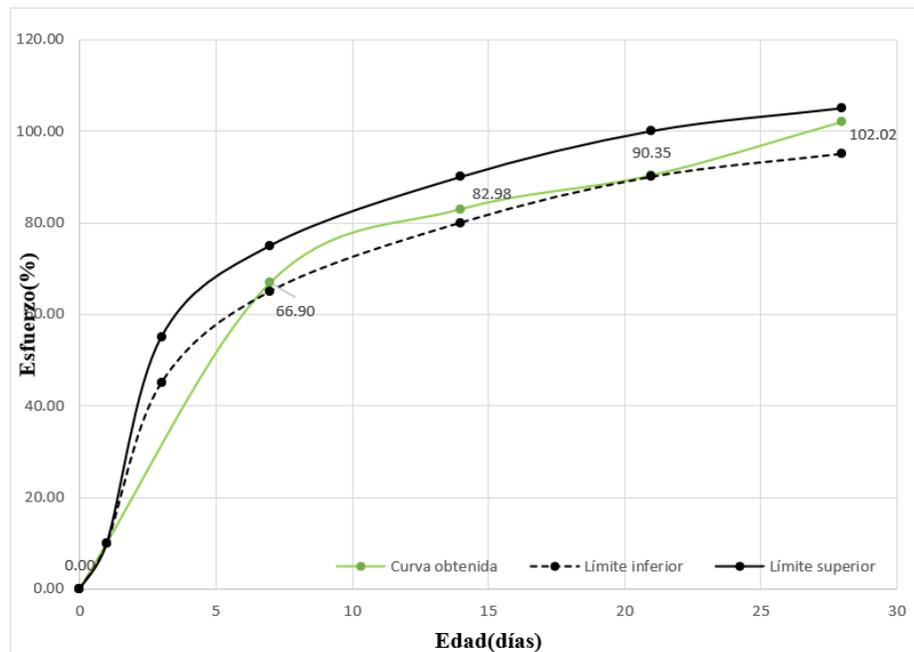
**Nota:** Las probetas V21, V28 Y M21, M28 que debían ser ensayadas a los 7 días de edad fueron ensayadas a los 9 días de edad debido al mantenimiento de los equipos de laboratorio en la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, esto no influye de ninguna forma en la obtención del módulo de elasticidad.

Figura 15. Curva edad vs Esfuerzo para mina Mora  $f'c = 21 \text{ Mpa}$



Realizado por: Nathaly Masaquiza

Figura 16. Curva edad vs Esfuerzo para mina Mora  $f'c = 28 \text{ Mpa}$



Realizado por: Nathaly Masaquiza

### 3.1.5. Determinación del módulo de elasticidad del hormigón

#### Mina Mora

Tabla 68. Valores obtenidos del MEE para Mina Mora  $f'c = 21 \text{ Mpa}$ .

Código		M21		Norma:		ASTM C 469	
Fecha de elaboración:		4/1/2022		Fecha Ensayo		1/2/2022	
Edad:		28 días		e1		0.00005	
Resistencia obtenida(Mpa):		21.53		S2(Mpa):		8.613	
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (cm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 $\times 10^{-5}$		
1M	10.00	20.00	3.74	1.50051	42.38	2338.75	19028.4
2M	10.00	20.00	3.72	1.42617	43.00	2326.25	18913.6
3M	10.00	20.00	3.76	1.30867	43.50	2346.88	18973.2
4M	10.00	20.00	3.88	1.28682	43.70	2426.88	18931.6
5M	10.00	20.00	3.68	1.28953	43.80	2301.25	18875.8
6M	10.00	20.00	3.69	1.27245	43.92	2307.50	18861.5
7M	10.00	20.00	3.72	1.10242	44.83	2325.63	18857.4
8M	10.00	20.00	3.76	1.35232	43.20	2351.25	19007.9
9M	10.00	20.00	3.75	1.34261	43.50	2346.25	18885.0
Parámetros de control			Rango		125.6	171.0	
			Desviación estándar		36.6	63.9	
			Coeficiente de variación		2%	0%	
			Promedio		2341.2	18926.0	
			Mediana		2338.75	18913.58	

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 69. Valores obtenidos del MEE para Mina Mora  $f'c = 28 \text{ Mpa}$ .

Código		M28		Norma:		ASTM C-469	
Fecha de elaboración:		4/1/2022		Fecha Ensayo		1/2/2022	
Edad:		28 días		e1		0.00005	
Resistencia obtenida(Mpa):		28.57		S2(Mpa):		11.427	
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 $\times 10^{-5}$		
10M	10.00	20.00	3.712	1.31233	51.16	2320.00	21911.5
11M	10.00	20.00	3.722	1.31672	51.22	2326.25	21872.6
12M	10.00	20.00	3.755	1.30436	51.22	2346.88	21900.3
13M	10.00	20.00	3.683	1.35867	51.23	2301.88	21776.2
14M	10.00	20.00	3.792	1.35715	50.99	2370.00	21893.1
15M	10.00	20.00	3.812	1.39804	51.19	2382.50	21709.8
16M	10.00	20.00	3.721	1.39217	51.00	2325.63	21814.1
17M	10.00	20.00	3.803	1.43097	50.87	2376.88	21789.5
18M	10.00	20.00	3.754	1.42408	50.93	2346.25	21776.0
Parámetros de control			Rango		80.6	201.7	
			Desviación estándar		28.0	70.2	
			Coeficiente de variación		1%	0%	
			Promedio		2344.0	21827.0	
			Mediana		2346.25	21814.13	

Realizado por: Nathaly Masaquiza

## Cantera Volcán

Tabla 70. Valores obtenidos del MEE para Mina Mora  $f'c= 21$  Mpa

Código		V21		Norma:	ASTM C-469		
Fecha de elaboración:		4/1/2022		Fecha Ensayo	1/2/2022		
Edad:		28 Días		e1	0.00005		
Resistencia obtenida(Mpa):		21.37		S2(Mpa):	8.547		
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (cm)	h (cm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 <sup>-5</sup>		
1M	10	20	3.832	1.43162	43.02	2395.00	18714.0
2M	10	20	3.822	1.48926	42.72	2388.75	18710.0
3M	10	20	3.855	1.41818	43.00	2409.38	18759.2
4M	10	20	3.813	1.39651	43.10	2383.13	18766.8
5M	10	20	3.922	1.39304	43.16	2451.25	18746.4
6M	10	20	3.805	1.46158	42.80	2378.13	18743.6
7M	10	20	3.821	1.42186	42.94	2388.13	18779.1
8M	10	20	3.812	1.42154	43.02	2382.50	18739.0
9M	10	20	3.895	1.44963	42.81	2434.38	18770.3
Parámetros de control			Rango		73.1	69.1	
			Desviación estándar		25.6	24.1	
			Coeficiente de variación		1%	0.13%	
			Promedio		2401.2	18747.6	
			Mediana		2388.75	18746.40	

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 71. Valores obtenidos del MEE para Mina Mora  $f'c= 28$  Mpa

Código		V28		Norma:	ASTM C-469		
Fecha de elaboración:		4/1/2022		Fecha Ensayo	1/2/2022		
Edad:		28 días		e1	0.00005		
Resistencia obtenida(Mpa):		28.23		S2(Mpa):	11.29		
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (cm)	h (cm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 <sup>-5</sup>		
10M	10	20	3.772	1.33918	51.16	2357.50	21564.5
11M	10	20	3.822	1.35056	51.22	2388.75	21510.9
12M	10	20	3.895	1.33835	51.22	2434.38	21538.3
13M	10	20	3.883	1.34654	51.23	2426.88	21514.0
14M	10	20	3.872	1.35222	50.99	2420.00	21613.9
15M	10	20	3.861	1.36271	51.19	2413.13	21497.7
16M	10	20	3.821	1.38579	50.91	2388.13	21578.5
17M	10	20	3.762	1.38888	50.87	2351.25	21590.6
18M	10	20	3.754	1.37196	50.93	2346.25	21599.2
Parámetros de control			Rango		88.1	116.3	
			Desviación estándar		33.9	39.9	
			Coeficiente de variación		1%	0%	
			Promedio		2391.8	21568.9	
			Mediana		2388.75	21578.48	

Realizado por: Nathaly Masaquiza

## Cálculos Típicos

### Datos:

$$S_2 = 11.293 \text{ Mpa}$$

$$S_1 = 1.33918 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_2 = 0.0005116$$

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.000050)}$$

$$E = \frac{(11.293 - 1.33918)}{(0.0005116 - 0.000050)}$$

$$E = 21564 \text{ Mpa}$$

### En dónde:

$E$  = Módulo de elasticidad secante, en Mpa

$S_1$ = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal  $\varepsilon_1$ , de las 50 millonésimas, en Mpa.

$S_2$ = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última (Mpa).

$\varepsilon_2$ = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo  $S_2$ .

**Nota:** Para el desarrollo del ejemplo ilustrativo, se seleccionó una probeta al azar, la probeta 10M, corresponde a la Cantera Volcán  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , cuyos datos se muestran en la tabla 69.

## Factores locales Ka y Kb

Las tablas 72 y 73 muestran un resumen de los valores obtenidos para los factores locales Ka y Kb, estos valores tienen relación directa con el MEE, la densidad y la resistencia a la compresión obtenidas.

A continuación, se detallan las fórmulas utilizadas para el cálculo de los factores:

(a) Para densidades(wc) de entre 1440 y 2560 Kg/m<sup>3</sup>

$$Ec = wc^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'c} \text{ (Mpa)}$$

$$Ec = wc^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'c} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$Ec = wc^{1.5} * ka * \sqrt{f'c}$$

$$ka = \frac{Ec}{wc^{1.5} * \sqrt{f'c}}$$

(b) Para concreto de peso normal

$$Ec = 4700 * \sqrt{f'c} \text{ (Mpa)}$$

$$Ec = 15100 * \sqrt{f'c} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$Ec = kb * \sqrt{f'c}$$

$$kb = \frac{Ec}{\sqrt{f'c}}$$

En donde:

Ec= Módulo de elasticidad estático del hormigón.

f'c= Resistencia a la compresión del concreto obtenida.

wc= Peso unitario del hormigón obtenido por el método gravimétrico.

Nota: Se consideran hormigones de peso normal a aquellos cuyas densidades varían entre 2300 y 2400 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 72. Factores locales  $K_a$  y  $k_b$  para Cantera Volcán.

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para $E_c$ en Mpa		Para $E_c$ en Kg/cm <sup>2</sup>	
		$K_a$	$K_b$	$K_a$	$K_b$
Cantera Volcán	V21	0.034	4055.8	0.110	12951.4
	V28	0.035	4059.3	0.111	12962.5
Parámetros de control	Rango	0.000	3.5	0.001	11.1
	Desv. Estandar	0.000	2.45	0.001	7.8
	Coef Variación	0.5%	0.06%	0.48%	0.06%
	Mediana	0.035	4057.5	0.110	12957
	Promedio	0.035	4057.5	0.110	12957

Realizado por: Nathaly Masaquiza

Tabla 73. Factores locales  $K_a$  y  $k_b$  para mina Mora.

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para $E_c$ en Mpa		Para $E_c$ en Kg/cm <sup>2</sup>	
		$K_a$	$K_b$	$K_a$	$K_b$
Mina Mora	M21	0.0360	4078.5	0.115	13024.0
	M28	0.0360	4083.8	0.115	13040.8
Parámetros de control	Rango	0.000	5.3	0.000	16.8
	Desv. Estandar	0.000	3.72	0.000	11.9
	Coef Variación	0.0%	0.09%	0.04%	0.09%
	Mediana	0.036	4081.2	0.115	13032
	Promedio	0.036	4081.2	0.115	13032

Realizado por: Nathaly Masaquiza

### 3.1.5.1. Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón

En la tabla 74 se establece una comparación de los valores del módulo de elasticidad obtenidos tanto de forma teórica mediante ACI y de forma experimental mediante ASTM C469.

Tabla 74. Comparación método teórico vs método experimental.

Asignación		MEE Experimental ASTM C469			MEE Teórico ACI 318-14			
Mina	Código	Resistencia (Mpa)	Densidad (Kg/m³)	MEE (Mpa)	(a) wc entre 1440 y 2560 Kg/m³	% de variación	(b) Concreto de peso normal	% de variación
Cantera Volcán	V21	21.37	2401.18	18747.6	23387.0	20%	21725.3	14%
	V28	28.23	2391.81	21568.9	26726.3	19%	24973.5	14%
Mina Mora	M21	21.53	2341.18	18926.0	22603.5	16%	21809.9	13%
	M28	28.57	2344.03	21827.0	26082.1	16%	25120.5	13%

Realizado por: Nathaly Masaquiza

### Valores propuestos

Tabla 75. Constante para el cálculo del MEE

Procedencia	(a) $E_c = wc^{1.5} * k_a * \sqrt{f'c}$		(b) $E_c = k_b * \sqrt{f'c}$	
	Factor $k_a$		Factor $k_b$	
	Mpa	Kg/cm²	Mpa	Kg/cm²
Cantera Volcán	0.0346	0.1104	4000	12900
Mina Mora	0.0360	0.1149	4100	13000

Realizado por: Nathaly Masaquiza

### Verificación de la hipótesis

Una vez obtenido los valores para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón de forma teórica y experimental como se muestran en la tabla 74, se procede a verificar los porcentajes de variación entre estos dos métodos.

La tabla 74 muestra un porcentaje de variación máximo del 20%, en la ecuación teórica que considera la densidad del hormigón, mientras que para la ecuación que considera el valor de  $f'c$  multiplicado por un factor la variación máxima es del 14%.

Por lo que se ratifica la influencia de la calidad de los agregados sobre el valor del módulo de elasticidad estático.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones específicas

- Se determinó mediante ensayos de laboratorio y métodos analíticos, y, como parte fundamental para la dosificación del hormigón, la densidad real del agregado fino de la Mina Mora y Cantera Volcán, obteniendo,  $2.556 \frac{gr}{cm^3}$  y  $2.558 \frac{gr}{cm^3}$ , respectivamente.
- Se determinó mediante ensayos de laboratorio y métodos analíticos, y, como parte fundamental para la dosificación del hormigón, las densidad real del agregado grueso de la Mina Mora y Cantera Volcán, obteniendo,  $2.545 \frac{gr}{cm^3}$  y  $2.497 \frac{gr}{cm^3}$ , respectivamente.
- Se determinó, por ensayos de laboratorio, y por métodos analíticos, y, como parte fundamental para la dosificación del hormigón, la capacidad de absorción del agregado fino de la Mina Mora y Cantera Volcán, consiguiendo, 1.88% y 1.35%, respectivamente.
- Se determinó, por ensayos de laboratorio, y por métodos analíticos, y, como parte fundamental para la dosificación del hormigón, la capacidad de absorción del agregado grueso de la Mina Mora y Cantera Volcán, obteniendo, 2.67% y 3.13%, respectivamente.

- Se determinó, por ensayos de laboratorio y por métodos analíticos, y, como parte fundamental para la dosificación del hormigón con materiales de la Mina Mora, un porcentaje óptimo de agregados fino y grueso de 38% y 62% respectivamente.
- Se determinó, por ensayos de laboratorio y por métodos analíticos, y, como parte fundamental para la fabricación del hormigón con materiales de la Cantera Volcán, un porcentaje óptimo de agregados fino y grueso de 39% y 61% respectivamente.
- Se obtuvo la constante  $k_b$  para el cálculo del módulo de elasticidad, obteniendo 12900 y 13000 para cantera Volcán y mina Mora respectivamente, cuando se utilicen como unidades  $\text{kg/cm}^2$ , así también 4058 y 4081 para cantera Volcán y mina Mora respectivamente, cuando se utilicen como unidades Mpa, valores que son reemplazables en las ecuaciones propuestas por ACI-318.
- Se concluye que, el módulo de elasticidad estático que sea calculado empleando los factores  $k_a$  y  $k_b$  determinados para ambas minas en el presente trabajo experimental, será inferior al calculado con los factores propuestos por ACI, esto constituye un rango de seguridad en el ejercicio del diseño estructural.
- Se desarrolló mediante el método de la densidad óptima y acorde a las propiedades específicas de los agregados analizados, la dosificación de los materiales para la fabricación de hormigones para resistencias a la compresión de 210 y 280  $\text{kg/cm}^2$  a los 28 días de edad.

## 4.2. Recomendaciones

- Si se usan valores de absorción y densidad real en la dosificación de mezclas de hormigón, el sacado previo en el horno de la muestra no es obligatorio cuando el árido está en condición de humedad natural.
- Mantener especial control en la velocidad de aplicación de carga de la máquina universal de compresión en el ensayo de rotura; esta debe ser constante y similar en todos los cilindros.
- Permitir un secado de por lo menos media hora después de sacar los cilindros de la cámara de curado previo al ensayo de compresión, ya que, de ensayarse inmediatamente los valores de resistencia final arrojados por la máquina de compresión serían notablemente inferiores a los esperados.
- Controlar que el módulo de finura en los agregados finos se mantenga dentro de los rangos permisibles, pues su desborde influye negativamente en el hormigón endurecido principalmente.
- Se recomienda eliminar mediante el lavado, el porcentaje de material más fino que el tamiz #200 pues estas partículas pueden arrojar diferencias significativas en la densidad real y la absorción del árido fino.

## Bibliografía

- [1] Á. Nistal, M. Retana y T. Ruiz, «EL HORMIGÓN: HISTORIA, ANTECEDENTES EN OBRAS Y FACTORES INDICATIVOS DE SU RESISTENCIA,» *Tecnología y desarrollo*, vol. X, nº 28691, pp. 10-14, 2012.
- [2] R. Peter, *Un ingeniero imagina*, Cinter Divulgación Técnica, 2009.
- [3] P. Collins, K. Framptom y R. Legault, *Concrcte: The vision of a new Architecture*, McGill-Queens Press, 2004.
- [4] Ó. Andachi, «“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: LA PLAYA, UBICADA EN EL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI Y SALVADOR, UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNG,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019.
- [5] J. Erazo, «ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: “LAS PEÑAS” EN EL CANTÓN TULCÁN, PROVINCIA DEL CARCHI Y “RAMÍREZ”, UBICADA EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA.”,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021.
- [6] J. C. McCormac y R. H. Brown, *Diseño de concreto reforzado.*, México D.F.: Alfaomega, 2011.
- [7] E. Whasington, «MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ( $f'c = 24\text{MPa}$ ), FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA VILLACRES, UBICADA EN EL SECTOR DE LA PENINSULA CANTÓN AMBATO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO HOLCIM.,» UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, QUITO, 2013.
- [8] ACI, «American Concrete Institute. Requisitos de Reglamento para Concreto,» Comité ACI, USA, 2008.
- [9] ASTM, «Ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del hormigón en compresión.,» American Society for Testing and Materials, USA, 2010.
- [10] M. Garzón , D. Morales, F. Ojeda , D. Rodríguez y A. Rosero, «Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión :  $f'c$  21 y 28 Mpa fabricado con materiales de la mina de Guayllabamba-Pichincha y Cemento Selva alegre,» Universidad Central del Ecuador., Quito, 2012.
- [11] G. Libia, *El concreto y otros materiales para la construcción.*, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2003.

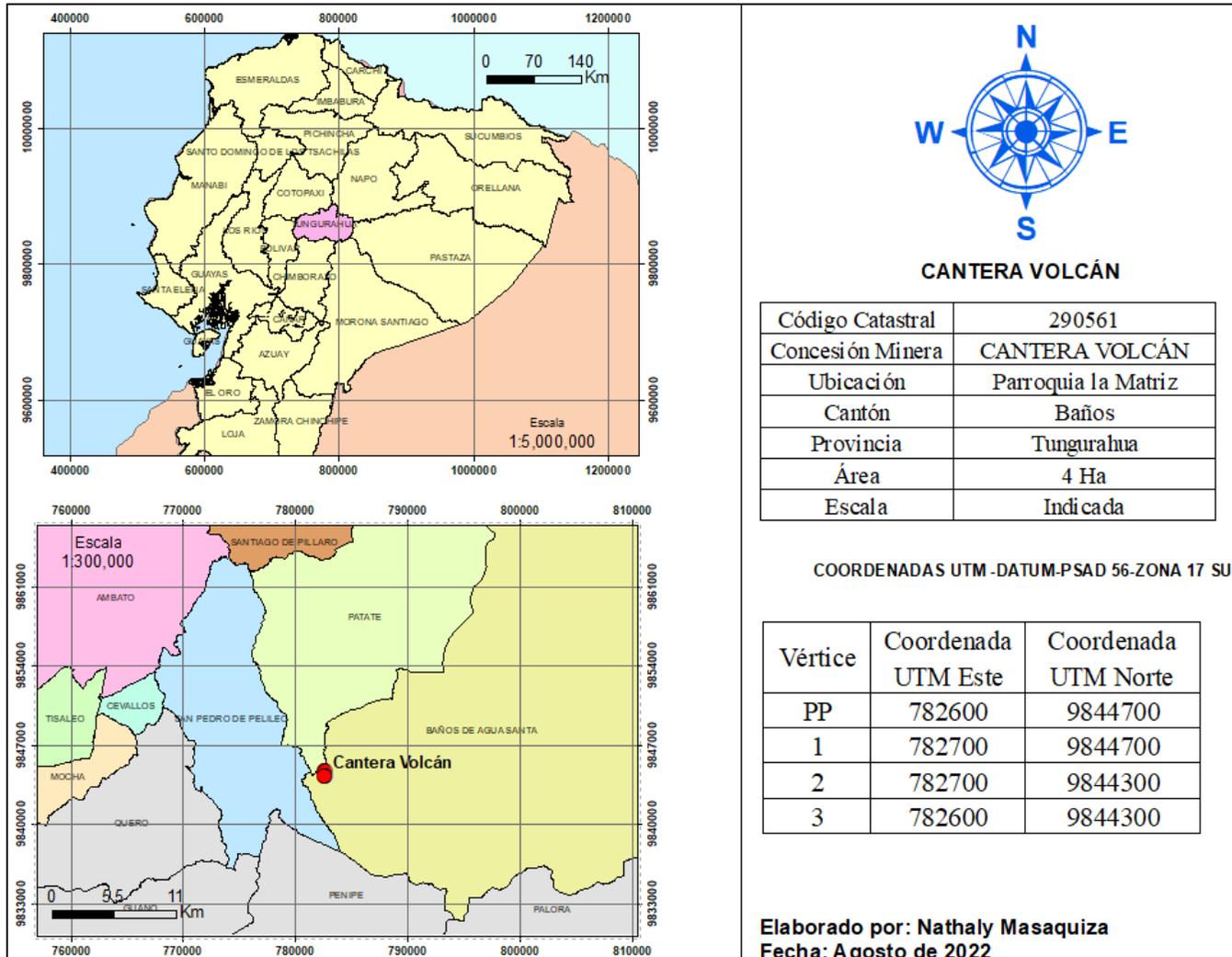
- [12] M. Mamlouk y J. Zaniewski, *Materiales para ingeniería civil*, vol. II, Madrid: PEARSON EDUCATION, 2009.
- [13] E. Editorial, «Sand for concrete,» *materconstrucc*, vol. 9, pp. 12-16, 1959.
- [14] Instituto Ecuatoriano de Normalización , «Áridos para hormigón. Requisitos,» de *NTE INEN 872:2011*, Quito, 2011, pp. 2-12.
- [15] S. Medina, *Hormigón*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [16] M. Garzón, «Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón.,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2010.
- [17] NEC-SE-HM, «Estructuras de Hormigón Armado,» MIDUVI, 2014.
- [18] E. Arequipa, W. Coba, D. Garzón y L. Vargas, «MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE  $f'c$  21 Mpa y 30 Mpa,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2012.
- [19] A. Neville y J. Brooks, *Tecnología del concreto*, México: Trillas S.A. de C.V., 1998.
- [20] U. Centroamericana, «ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO,» San Salvador, 2010.
- [21] J. Cintas, J. Montes y F. Cuevas, *Ciencia e Ingeniería de los materiales*, vol. 1ra edición, Madrid: Ediciones Paraninfo, 2014.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino,» de *NTE INEN 856:2010*, Quito, 2010, pp. 1-15.
- [23] I. E. d. Normalización, «Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.,» de *NTE INEN*, Quito, Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010, p. 15.
- [24] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.,» de *NTE INEN 858:2010*, Quito, 2010, pp. 1-11.
- [25] J. Wiley, *Materiales para construcción*, México: Limusa S.A., 2002.
- [26] E. García, «MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ( $f'c = 24\text{MPa}$ ), FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA VILLACRES, UBICADA EN EL SECTOR DE LA PENINSULA CANTÓN AMBATO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO HOLCIM.,» UCE, QUITO, 2013.
- [27] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,» de *INEN NTE 156:2009*, Quito, 2009, pp. 1-9.

- [28] S. Carrasco, Metodología de la investigación científica, Perú: Editoria San Marcos, 2005.
- [29] D. Sánchez, Tecnología del concreto y del mortero., Bogotá: Universidad Javeriana., 2001.
- [30] A. Ortega, «“La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles,” ,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2013.
- [31] J. Niño, Tecnología del concreto, Colombia: Asociación colombiana de Productores de Concreto., 2010.
- [32] M. Nieto, Construcción de edificios, Bogotá: Nobuko S.A., 2011.
- [33] M. Diego, «MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN, EN BASE A SU,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2012.

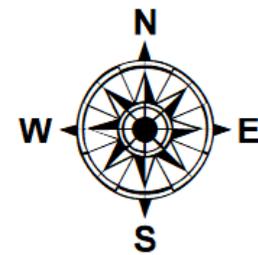
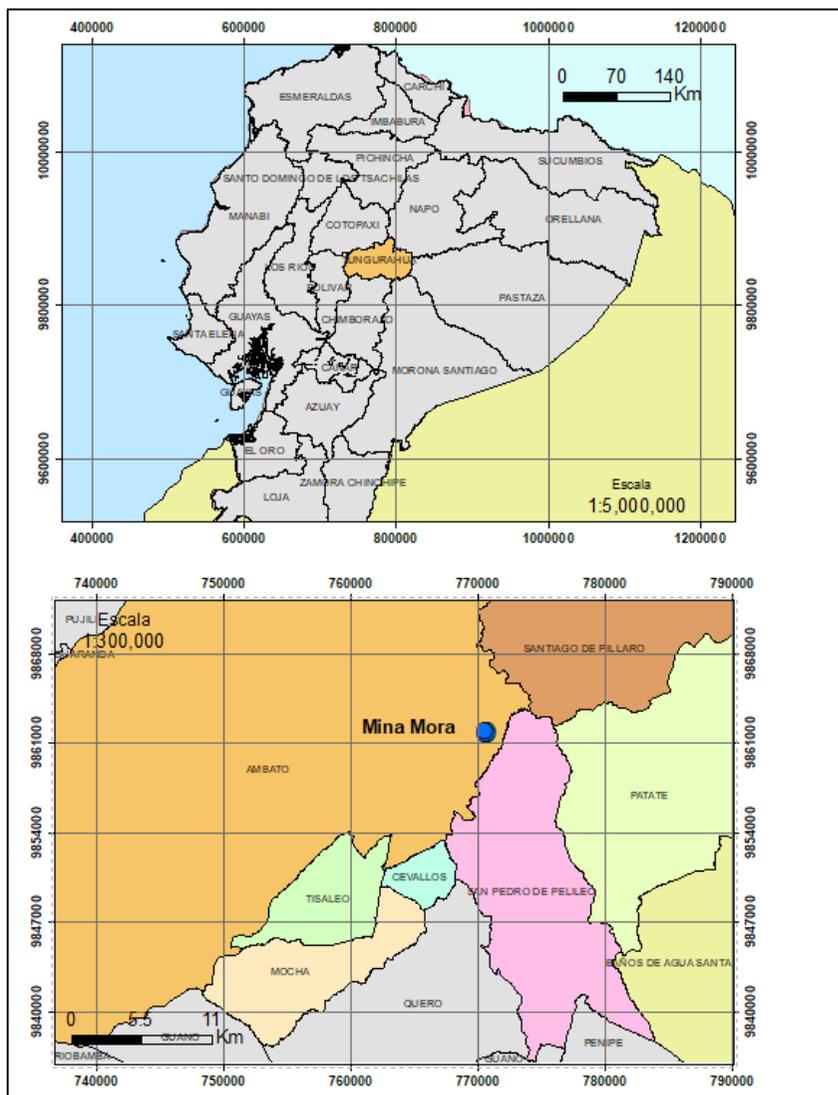


## Anexos

### Ubicación de las minas



# Mina Mora



Mina Mora

Código Catastral	290762
Concesión Minera	Mina Mora
Ubicación	Parroquia Pishilata
Cantón	Ambato
Provincia	Tungurahua
Área	4 Ha
Escala	Indicada

COORDENADAS UTM -DATUM-PSAD 56-ZONA 17 SUR

Vértice	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte
PP	770800	9861900
1	770800	9861700
2	770600	9861700
3	770600	9861900

Elaborado por: Nathaly Masaquiza  
 Fecha: Agosto de 2022

Anexo Fotográfico

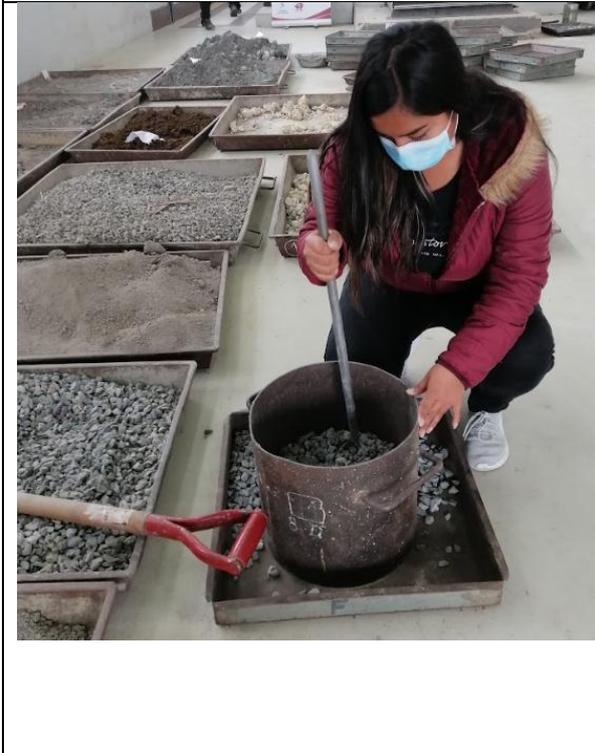
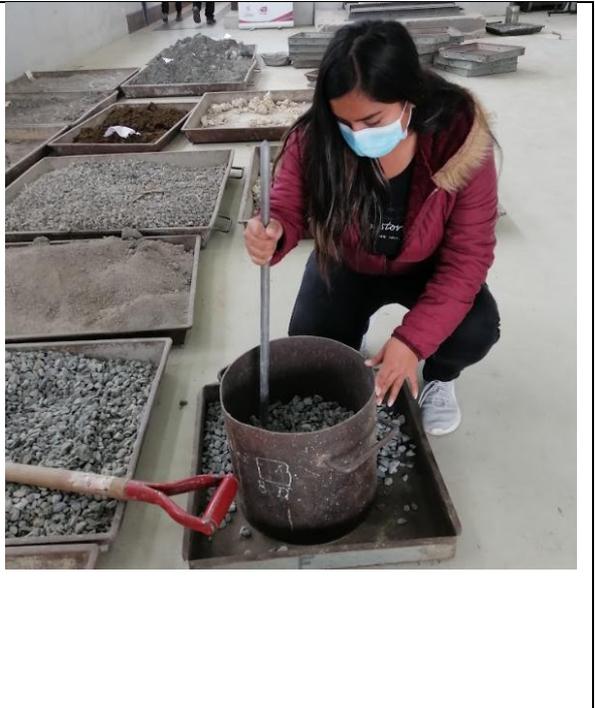
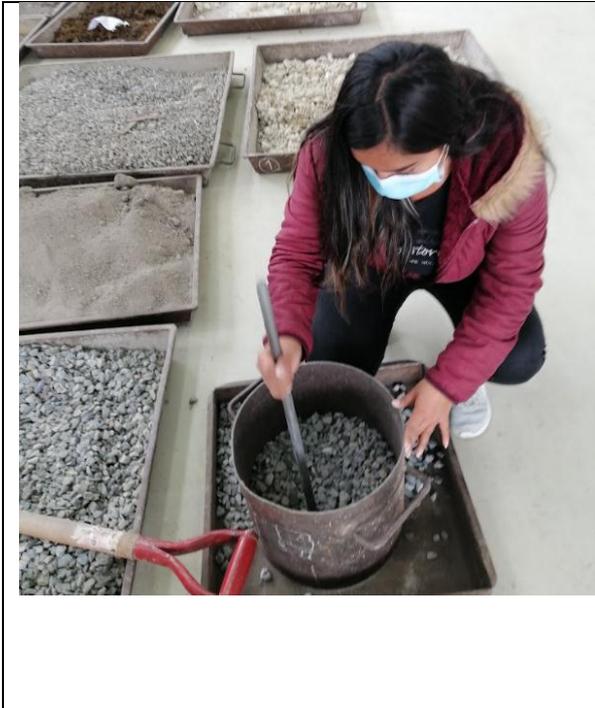
Análisis granulométrico en el agregado grueso.



**Análisis granulométrico en el agregado fino.**



Densidad aparente suelta y compactada



Densidad real del cemento



Densidad real del agregado fino



Densidad real del agregado grueso



Elaboración de probetas





**Ensayo de compresión y determinación de módulo de elasticidad**

