



UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL
HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: ERICK JOEL Y
VIRGINIA UBICADAS EN EL CANTÓN PÍLLARO PROVINCIA DE
TUNGURAHUA”**

AUTOR: Marlon Israel Constante Álvarez

TUTOR: Ing. Milton Rodrigo Aldás Sánchez Ph.D.

AMBATO - ECUADOR

Septiembre – 2022

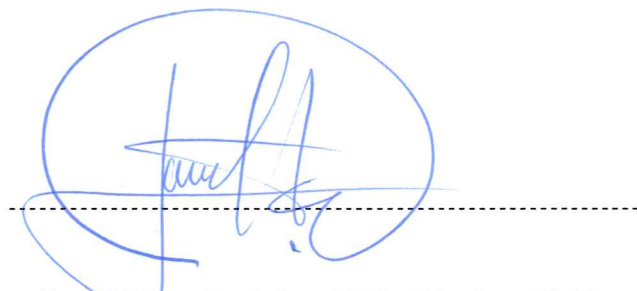
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental , previo a la obtención del Título de Ingeniero civil, con el tema: **“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: ERICK JOEL Y VIRGINIA UBICADAS EN EL CANTÓN PÍLLARO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por el Sr. **Marlon Israel Constante Álvarez**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805224100, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, septiembre 2022



Ing. Milton Rodrigo Aldás Sánchez Ph.D.

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Marlon Israel Constante Álvarez**, con C.I. 1805224100 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: ERICK JOEL Y VIRGINIA UBICADAS EN EL CANTÓN PÍLLARO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



Marlon Israel Constante Álvarez

C.I. 1805224100

AUTOR

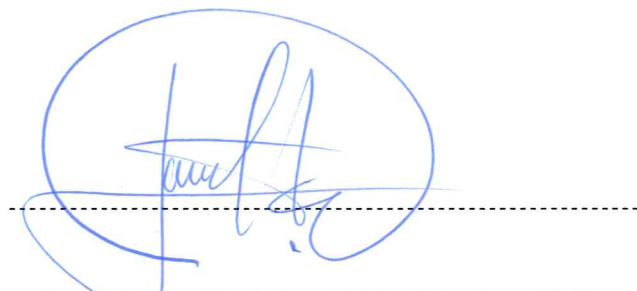
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental , previo a la obtención del Título de Ingeniero civil, con el tema: **“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: ERICK JOEL Y VIRGINIA UBICADAS EN EL CANTÓN PÍLLARO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por el Sr. **Marlon Israel Constante Álvarez**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805224100, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, septiembre 2022



Ing. Milton Rodrigo Aldás Sánchez Ph.D.

TUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, septiembre 2022



Marlon Israel Constante Álvarez

C.I. 1805224100

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante **Marlon Israel Constante Álvarez**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: “ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: ERICK JOEL Y VIRGINIA UBICADAS EN EL CANTÓN PÍLLARO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”.

Ambato, septiembre 2022

Para constancia firman:

Ing. Mg. Galo Wilfrido Núñez Aldas

MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo experimental a los seres más importantes en mi vida, a mis abuelitos Graciela Álvarez y Víctor Álvarez que han sido el ejemplo más grande de trabajo y dedicación , siempre con su cariño y apoyo incondicional, a mi padre Robinson Constante que con su humildad y soporte hizo de su sueño el mío, a mi madre Judith Álvarez que con su apoyo, amor y paciencia hizo posible alcanzar esta meta tan anhelada, a mi hermana Paz que es mi inspiración para salir adelante, a mi hermana Katya por su apoyo, consejos y comprensión, a toda mi familia que han sido pilares fundamentales en este camino, principalmente a Dios que ha sido bueno, bondadoso y me ha llenado de luz y bendiciones en este largo camino.

No hubiera sido posible este sueño sin el apoyo incondicional y compañía de cada uno de ellos.

Marlon Constante

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme, guiarme a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de debilidad y dificultad.

A la Universidad Técnica de Ambato, de manera especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial al Ing. PhD. Milton Aldás tutor del presente trabajo de titulación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente, a Dorian Flores y Edwin Manobanda dueños de las minas, por su valioso aporte para el presente trabajo.

A todos los docentes por transmitir todo su conocimiento y ser nuestros guías durante toda la carrera universitaria.

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

Marlon Constante

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación teórica	3
1.1.3.1 El hormigón.....	3
1.1.3.1.1 Propiedades del hormigón estado fresco	4
1.1.3.1.2 Propiedades del hormigón	5
1.1.3.2 Cemento Portland	8
1.1.3.2.1 Tipos de cemento	9
1.1.3.2.2 Propiedades del cemento	11
1.1.3.3 Agregados o áridos	13
1.1.3.3.1 Propiedades químicas de los agregados.....	14
1.1.3.3.2 Propiedades físicas de los agregados	14
1.1.3.3.3 Agregado fino o arena.....	19
1.1.3.3.4 Agregado grueso o ripio	21
1.1.3.4 Agua	22
1.1.3.4.1 Tipos de agua.....	22
1.1.3.5 Dosificación.....	23
1.1.3.5.1 Datos básicos para elaborar una dosificación.....	23

1.1.3.5.2 Método de la densidad optima	24
1.1.4 Hipótesis.....	27
1.2. Objetivos.....	27
1.2.1. Objetivo general	27
1.2.2. Objetivos específicos.	27
CAPÍTULO II	28
2.1. Recopilación de información	28
2.2. Población y muestra.....	29
2.2.1. Población.....	29
2.2.2. Muestra.....	29
2.3. Materiales y equipos	29
2.3.1. Materiales.....	30
2.4. Métodos.....	33
2.4.1. Método para recolección de datos.....	33
2.4.2. Muestreo.....	33
2.4.3. Caracterización de agregados y cemento	33
2.4.4. Fabricación de cilindros y ensayos del hormigón en estado fresco y endurecido.	34
2.4.5. Procesamiento de datos e interpretación de la información.....	34
CAPITULO III.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1. Análisis y discusión de resultados	35
3.1.1. Ensayos de caracterización de los agregados.	35
3.1.2.1. Toma de muestras in situ.....	35
3.1.2.2. Reducción a tamaño de ensayo.	35
3.1.2.3. Determinación del material más fino que el tamiz No 200, mediante lavado.	36
3.1.2.4. Granulometría de los agregados.....	37
3.1.2.5. Determinación de la densidad real de los agregados.	49
3.1.2.6. Determinación de la capacidad de absorción de los agregados.	54
3.1.2.7. Determinación de la densidad aparente de los agregados para la condición suelta y compactada.....	56
3.1.3. Diseño de mezclas con el método de la densidad óptima.....	64
3.1.3.1. Condiciones de diseño.....	64
3.1.3.2. Valores obtenidos en laboratorio	64

3.1.3.3. Cantidades para mezclar	65
3.1.4. Elaboración de probetas.....	67
3.1.4.1. Para fase de prueba.....	67
3.1.4.2. Para fase final	70
3.1.5. Determinación del módulo de elasticidad del hormigón.	76
Factores locales K_a y K_b	81
3.1.5.1. Análisis del módulo de elasticidad del hormigón	83
Verificación de la hipótesis	83
CAPÍTULO IV	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
4.1. Conclusiones específicas	84
4.2. Recomendaciones	86
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las consistencias según los asentamientos medidos con el cono de Abrams.....	4
Tabla 2. Densidad de los hormigones ordinarios.	6
Tabla 3. Diferentes resistencias a la compresión del hormigón con su respectivo módulo de elasticidad.....	8
Tabla 4. Compuestos principales del cemento Portland.	9
Tabla 5. Tipos de cemento Portland.....	11
Tabla 6. Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura.	15
Tabla 7. Límites para el agregado fino.....	20
Tabla 8. Límites para sustancias perjudiciales del agregado fino.....	20
Tabla 9. Límites para el agregado grueso.	21
Tabla 10. Límites para sustancias perjudiciales del agregado grueso.....	22
Tabla 11. Límites químicos para el agua a usarse en hormigones.	23
Tabla 12. Relación agua/cemento.	25
Tabla 13. Cantidades de pasta.	25
Tabla 14. Clasificación de las cantidades de probetas en la fase final.....	29
Tabla 15. Materiales.....	30
Tabla 16. Equipos.....	31
Tabla 17. Material más fino que el tamiz No.200, Mina Erick Joel.	36
Tabla 18. Material más fino que el tamiz No.200, Mina Virginia.	36
Tabla 19. Parámetros de control.....	36
Tabla 20. Granulometría del agregado fino para mina Erick Joel, ensayo I.....	37
Tabla 21. Granulometría del agregado fino para mina Erick Joel, ensayo II.....	38
Tabla 22. Granulometría del agregado fino para mina Virginia, ensayo I.....	40
Tabla 23. Granulometría del agregado fino para mina Virginia, ensayo II.	41
Tabla 24. Granulometría del agregado grueso para mina Erick Joel, ensayo I.....	43
Tabla 25. Granulometría del agregado grueso para mina Erick Joel, ensayo II.	44
Tabla 26. Granulometría del agregado grueso para mina Virginia, ensayo I.	46
Tabla 27. Granulometría del agregado grueso para mina Virginia, ensayo II.	47
Tabla 28. Densidad real del agregado fino para mina Erick Joel, ensayo I.	49

Tabla 29. Densidad real del agregado fino para mina Erick Joel, ensayo II.....	49
Tabla 30. Densidad real del agregado fino para mina Virginia, ensayo I.....	50
Tabla 31. Densidad real del agregado fino para mina Virginia, ensayo II.....	50
Tabla 32. Parámetros de control de densidad real del agregado fino.....	51
Tabla 33. Densidad real del agregado grueso para mina Erick Joel, ensayo I.....	51
Tabla 34. Densidad real del agregado grueso para mina Erick Joel, ensayo II.....	52
Tabla 35. Densidad real del agregado grueso para mina Virginia, ensayo I.....	52
Tabla 36. Densidad real del agregado grueso para mina Virginia, ensayo II.....	53
Tabla 37. Parámetros de control para densidad real del agregado grueso.....	53
Tabla 38. Capacidad de absorción del agregado fino, mina Erick Joel.....	54
Tabla 39. Capacidad de absorción del agregado fino, mina Virginia.....	54
Tabla 40. Parámetros de control para capacidad de absorción del agregado fino.....	54
Tabla 41. Capacidad de absorción del agregado grueso, mina Erick Joel.....	55
Tabla 42. Capacidad de absorción del agregado grueso, mina Virginia.....	55
Tabla 43. Parámetros de control para capacidad de absorción del agregado grueso.....	55
Tabla 44. Densidad aparente suelta para mina Erick Joel, ensayo I.....	56
Tabla 45. Densidad aparente suelta para mina Erick Joel, ensayo II.....	56
Tabla 46. Densidad aparente compactada para mina Erick Joel, ensayo I.....	57
Tabla 47. Densidad aparente compactada para mina Erick Joel, ensayo II.....	57
Tabla 48. Densidad aparente suelta para mina Virginia, ensayo I.....	58
Tabla 49. Densidad aparente suelta para mina Virginia, ensayo II.....	58
Tabla 50. Densidad aparente compactada para mina Virginia, ensayo I.....	59
Tabla 51. Densidad aparente compactada para mina Virginia, ensayo II.....	59
Tabla 52. Densidad aparente de la mezcla para mina Erick Joel.....	60
Tabla 53. Curva densidad compactada vs % de mezcla para mina Erick Joel.....	61
Tabla 54. Densidad aparente de la mezcla para mina Virginia.....	62
Tabla 55. Curva densidad compactada vs % de mezcla para mina Virginia.....	63
Tabla 56. Condiciones de diseño.....	64
Tabla 57. Valores obtenidos para mina Erick Joel.....	64
Tabla 58. Valores obtenidos para mina Virginia.....	65
Tabla 59. Cantidades a mezclar para 1m ³ para mina Erick Joel f ^c =240 kg/cm ²	65
Tabla 60. Cantidades para mezclar para 1m ³ para mina Erick Joel f ^c =280 kg/cm ²	66
Tabla 61. Cantidades para mezclar para 1m ³ para mina Virginia f ^c =240 kg/cm ²	66

Tabla 62. Cantidades a mezclar para 1m ³ para mina Virginia f'c=280 kg/cm ²	66
Tabla 63. Resultados obtenidos a los 7 y 14 días para mina Erick Joel.....	67
Tabla 64. Resultados obtenidos a los 7 y 14 días para mina Virginia.	68
Tabla 65. Ensayos en estado fresco para mina Erick Joel.....	70
Tabla 66. Ensayos en estado fresco para mina Virginia	71
Tabla 67. Resistencia a la compresión obtenida para mina Erick Joel	72
Tabla 70. Resistencia a la compresión obtenida para mina Virginia.	74
Tabla 69. Valores obtenidos del MEE para Mina Erick Joel f'c= 24Mpa	76
Tabla 70. Valores obtenidos del MEE para Mina Erick Joel f'c= 28Mpa	77
Tabla 71. Valores obtenidos del MEE para Mina Virginia f'c= 24Mpa	78
Tabla 72. Valores obtenidos del MEE para Mina Virginia f'c= 28Mpa.	79
Tabla 73. Factores locales Ka y kb para mina Erick Joel	82
Tabla 74. Factores locales Ka y kb para mina Virginia.	82
Tabla 75. Comparación método teórico vs método experimental.....	83
Tabla 76. Constante para el cálculo del MEE.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del hormigón.	3
Figura 2. Diagrama esfuerzo - deformación del hormigón.	7
Figura 3. Cemento portland.....	9
Figura 4. Agregados o áridos.	13
Figura 5. Ejemplo de una curva granulométrica.	15
Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino para mina Erick Joel	39
Figura 7. Curva granulométrica del agregado fino para mina Virginia.	42
Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso para mina Erick Joel.	45
Figura 9. Curva granulométrica del agregado grueso para mina Virginia.	48
Figura 10. Porcentaje de resistencia alcanzado para $f'c$ 24 Mpa.....	69
Figura 11. Porcentaje de resistencia alcanzado para $f'c$ 28 Mpa.....	69
Figura 12. Curva edad vs Esfuerzo para mina Erick Joel $f'c = 24$ Mpa.....	73
Figura 13. Curva edad vs Esfuerzo para mina Erick Joel $f'c = 28$ Mpa.....	73
Figura 14. Curva edad vs Esfuerzo para mina Virginia $f'c = 24$ Mpa.....	75
Figura 15. Curva edad vs Esfuerzo para mina Virginia $f'c = 28$ Mpa.....	75

RESUMEN

El presente trabajo experimental busca reducir la incertidumbre existente entre los calculistas al utilizar un valor del módulo de elasticidad, proporcionando un valor que se adapte a la realidad de los materiales disponibles en nuestro medio. El estudio comienza con un muestreo in situ y posterior reducción a tamaño de ensayo de los agregados de las minas Erick Joel y Virginia, las cuales proporcionan una cantidad considerable de agregados para la construcción dentro y fuera de la provincia.

El trabajo técnico comienza en laboratorios con la obtención de las características físico-mecánicas de los agregados de ambas minas, los datos obtenidos en laboratorio se analizaron utilizando un software de computadora, mismo que además de analizar los datos nos permitió realizar cálculos y diseñar una mezcla de hormigón que garantizó un esfuerzo de compresión de 24 y 28 Mpa a los 28 días de edad, una vez obtenidas las cantidades a mezclar se elaboraron probetas cilíndricas que fueron ensayadas a los 7, 14, 21, y 28 días de edad.

Finalmente, y en función a los resultados obtenidos se determinó tanto los factores locales k_a y k_b así como también el módulo de elasticidad estático del hormigón, valores que varían significativamente de los propuestos por los códigos A.C.I. y NEC.

Palabras clave: Esfuerzo de compresión, Módulo de elasticidad, dosificación de mezclas, Mina Erick Joel, Mina Virginia.

ABSTRACT

The present experimental work seeks to reduce the existing uncertainty among calculators by using a value of the modulus of elasticity, providing a value that adapts to the reality of the materials available in our environment. The study begins with an in situ sampling and subsequent reduction to trial size of the aggregates from the Erick Joel and Virginia mines, which provide a considerable amount of aggregates for construction within and outside the province.

The technical work begins in laboratories with the obtaining of the physical-mechanical characteristics of the aggregates of both mines, the data obtained in the laboratory were analyzed using computer software, which, in addition to analyzing the data, allowed us to perform calculations and design a mixture of concrete that guaranteed a compressive stress of 24 and 28 MPa at 28 days of age, once the quantities to be mixed were obtained, cylindrical specimens were made that were tested at 7, 14, 21, and 28 days of age.

Finally, and based on the results obtained, both the local factors k_a and k_b were determined, as well as the static modulus of elasticity of the concrete, values that vary significantly from those proposed by the A.C.I. and NEC.

Keywords: Compression stress, Modulus of elasticity, dosage of mixtures, mines Erick Joel and Virginia.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 Antecedentes

El hormigón es el material más utilizado a nivel mundial en el ámbito de la construcción y por lo tanto ha sido objeto de innumerables estudios que han buscado “generalizar” sus características y su aplicabilidad. En dicho contexto, es conocido que la normativa ecuatoriana para la fabricación de hormigones se basa códigos extranjeros como el ACI 318, el cual, si bien ofrece ecuaciones y procedimientos aceptables, no son necesariamente los más adecuados pues se ha demostrado ya en estudios previos que su confiabilidad no es absoluta debido a la alta incertidumbre en cuanto las características de los materiales con que se fabrique hormigones, y por ello, nace la necesidad de realizar estudios personalizados para nuestro medio que sean más exactos, realista y confiables. [1]

El tipo de materiales empleados en el hormigón puede alterar representativamente sus propiedades finales, generando un grado de incertidumbre cuya consecuencia puede ser un hormigón de calidad inferior a la esperada, por ello es necesario aplicar conocimientos específicos a cada tipo de agregado para garantizar la buena preparación de los distintos tipos de hormigón y de cualquier resistencia. [2]

1.1.2 Justificación

Las distintas normativas vigentes en nuestro entorno ya sean nacionales y o extranjeras como NEC y ACI, proponen métodos de diseño de estructuras de hormigón armado que garanticen la seguridad de sus ocupantes y la estabilidad de la misma después de un evento sísmico. No siempre estas normas, principalmente las extranjeras, ofrecen exactitud en sus propuestas de cálculo.

El hormigón emplea principalmente en su elaboración los agregados pétreos extraídos de minas locales cercanas, requiriendo además cemento y agua, de aquí la necesidad de estudiar las propiedades de los materiales de las distintas canteras para de esta forma establecer las cantidades apropiadas de agregado fino y grueso que, al ser utilizadas en una mezcla de hormigón, garantice con total fiabilidad la resistencia de diseño.

El módulo de elasticidad es uno de los parámetros más importantes en el diseño estructural, pues este influye directamente en la rigidez de una estructura de hormigón armado que será sometida a cargas gravitacionales.

El módulo de elasticidad tiene una relación directamente proporcional a la resistencia a la compresión del hormigón pues esta depende de las características físicas y mecánicas de los áridos con los que se elabora y, es por ello que, para obtener hormigones de calidad es necesario estudiar a profundidad sus componentes como lo son: agregado fino, agregado grueso, cemento y el agua de amasado, para con ello poder dosificar mezclas de hormigón que tanto en estado fresco como endurecido sean sinónimo de calidad, seguridad y durabilidad a lo largo de, por lo menos, toda la vida útil para la que fue considerada la edificación.

Este estudio aportará valores adecuados de acuerdo con las características de los agregados de nuestro medio para el cálculo del módulo de elasticidad así también para la dosificación de mezclas de hormigón y para el análisis de las características físicas y mecánicas de los materiales. Los datos serán de mucha utilidad a nivel académico y profesional.

1.1.3 Fundamentación teórica

1.1.3.1 El hormigón

El hormigón es una mezcla de agregado grueso, agregado fino, cemento y agua que al ser mezclado en debidas proporciones tiende a fraguar y endurecerse. En ocasiones esta mezcla puede incorporar aditivos con el propósito de mejorar determinadas propiedades. [3]

Este al igual que otros materiales pétreos se caracteriza por tener una elevada resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a los esfuerzos de tensión. [4]

Figura 1. Composición del hormigón.

HORMIGÓN	Aire	1% al 3% del volumen	
	Sólidos	Pasta o Matriz (Aprox. 25% del volumen)	Cemento (C) + Agua (W)
		Relleno (Aprox. 75% del volumen)	Arena (A) + Ripio (R)

Fuente: S. Medina. [5]

1.1.3.1.1 Propiedades del hormigón estado fresco

- **Consistencia**

La consistencia puede definirse como la capacidad que tiene el hormigón fresco para deformarse, es un indicador de la docilidad y esta variará dependiendo principalmente de la cantidad de agua que contenga la mezcla. El principal método de acuerdo con las distintas normativas existentes para medir la consistencia del hormigón es el ensayo de revenimiento; mismo que se realiza mediante el uso del cono de Abrams. [6] [7]

Tabla 1. Clasificación de las consistencias según los asentamientos medidos con el cono de Abrams.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo tipo de construcción	Sistema de colocación	Método de compactación
Muy seca		Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigón de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20 a 35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semiseca	35 a 50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple o con refuerzo simple	Con máquinas operadas manualmente	Vibración mecánica
Media	50 a 100	Pavimentos, losas, muros, vigas y secciones medianamente reforzadas	Colocación manual	Vibración mecánica
Húmeda	100 a 150	Elementos estructurales esbeltos y secciones bastante reforzadas	Bombeo	Vibración mecánica
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos «in situ»	Bombeo, tubo-embudo	Normalmente no adecuados para vibrarse

Fuente: INECYC y APRHOEC. [8]

- **Trabajabilidad o docilidad**

Se define como la facilidad o dificultad con la que se puede manipular el hormigón en estado fresco. Algunos factores que afectan a esta propiedad son: cantidad de agua, cantidad de cemento, tamaño y forma de los áridos, la presencia de aditivos, la presencia de cenizas. [9] [10]

- **Homogeneidad**

La **Homogeneidad** es la distribución de la mayoría de los componentes del hormigón a lo largo de toda la masa y que tengan las mismas proporciones. [6]

- **Masa específica o densidad en estado fresco**

Se define como la relación que existe entre la masa del hormigón en estado fresco y el volumen ocupado por dicha masa y se expresa en kg/m^3 . Para hormigones convencionales su valor oscilará en el intervalo de 2200 a 2400 kg/m^3 y este valor dependerá de la densidad y cantidad de agregados, cantidad de aire ocluido y la relación agua/cemento. [6] [11]

1.1.3.1.2 Propiedades del hormigón

- **Resistencia mecánica**

Se define como la capacidad del hormigón para soportar la acción de cargas sin agrietarse, algunos-los-factores que influyen en esta propiedad son: [10]

- a) Calidad de los materiales.
- b) Cantidad de cemento.
- c) Relación agua/cemento.
- d) Forma y textura de los agregados.
- e) Edad del hormigón.
- f) Curado del hormigón. [12]

- **Densidad**

Es la cantidad de peso por unidad de volumen del hormigón y su valor variará dependiendo de la clase de áridos y su colocación en obra. [10]

Tabla 2. Densidad de los hormigones ordinarios.

Apisonados	2000 a 2200 kg/m ³
Vibrados	2300 a 2400 kg/m ³
Centrifugados	2400 a 2500 kg/m ³
Proyectados	2500 a 2600 kg/m ³

Fuente: Construmática. [10]

- **Durabilidad**

Es la capacidad del hormigón a lo largo de su vida útil para soportar los ataques físicos, químicos, biológicos y ambientales a los que se encuentra expuesto. [13]

- **Permeabilidad**

Es la facilidad del hormigón a ser atravesado por un fluido ya sea líquido o gaseoso, uno de los factores que influye en esta propiedad es la relación agua/cemento ya que cuanto mayor es esta relación mayor será la permeabilidad. [3] [6]

- **Porosidad**

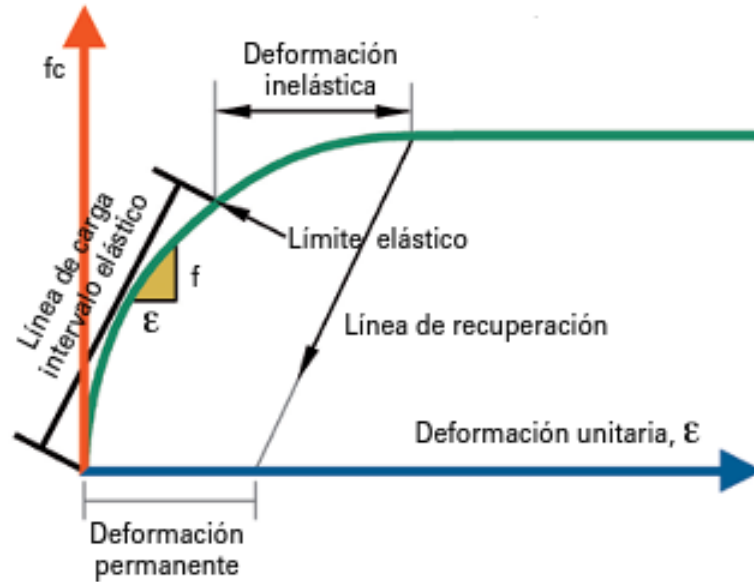
Es la proporción de huecos respecto a la masa total del hormigón e influye directamente sobre la resistencia, densidad y la permeabilidad del hormigón. [10] [9]

- **Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad del hormigón o también conocido como módulo de Young se define como la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria a la que

está sujeto un material para los estados de tensión o compresión menores al límite proporcional del material. [14]

Figura 2. Diagrama esfuerzo - deformación del hormigón.



Fuente: Instituto Mexicano del cemento y del concreto AC. [15]

De acuerdo con ACI – 318, para calcular el módulo de elasticidad de hormigones cuya densidad oscile entre 1440 kg/m^3 y 2560 kg/m^3 la formula a emplearse será la siguiente:

$$E_c = 0.14 \cdot w^{0.15} \cdot \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

Mientras que para hormigones cuya densidad sea de aproximadamente 2300 kg/m^3 la ecuación a emplearse será:

$$E_c = 15100 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (2)$$

En donde:

E_c : módulo de elasticidad del hormigón. [kg/cm^2]

w : densidad del hormigón. [kg/m^3]

f'_c : resistencia a la compresión del hormigón. [MPa]

Tabla 3. Diferentes resistencias a la compresión del hormigón con su respectivo módulo de elasticidad.

RESISTENCIA (Kg/cm^2)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kg/cm^2)
210	217000
280	251000
350	281000
420	307000

Fuente: A. Yancha. [16]

Es importante recalcar que el coeficiente de 15100 que se considera dentro de la ecuación (2) varía para el Ecuador, esto se debe a que los áridos o agregados poseen diferentes características además de que la mano de obra y los métodos constructivos que aquí se emplean son distintos a los considerados en la normativa ACI.

1.1.3.2 Cemento Portland

El cemento es un conglomerante hidráulico que se encuentra en estado pulverizado compuesto principalmente por silicatos de calcio y aluminio provenientes de la combinación de caliza, arcilla y yeso que al entrar en contacto con el agua tiende a fraguar y a la formación de una pasta endurecida que se caracteriza por ser duradera, estable, con propiedades ligantes, adecuada resistencia y rigidez. [17] [18]

Sus funciones principales son:

- Servir como material aglomerante.
- Aportar resistencia a la mezcla. [18]

Figura 3. Cemento portland.



Fuente: RUBIBLOG. [19]

Cuando los componentes del cemento interactúan en el horno forman una serie de compuestos mucho más complejos, los mismos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Compuestos principales del cemento Portland.

Nombre	Composición	Fórmula reducida	Nombre mineral	Composición potencial (%)
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C3S	Alita	40-50
Silicato bicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C2S	Belita	20-30
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C3A	-	10-15
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF	Celita	5-10

Fuente: J. A. Polanco Madrazo, D. S. Cavia y C. T. García. [20]

1.1.3.2.1 Tipos de cemento

A medida que varían los porcentajes de silicato tricálcico (Alita), silicato bicálcico (Belita), aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico (Celita) se modificaran las propiedades del cemento por lo que es posible conseguir diferentes tipos de este y que permiten satisfacer determinadas propiedades tanto físicas como química. [21]

- **Tipo I: Uso general**

Adecuado para uso en construcciones de concreto y trabajos de albañilería donde no se requiera de propiedades específicas que otros cementos poseen. [22]

- **Tipo II: Moderada resistencia a los sulfatos y calor de hidratación**

Es el destinado a usarse en estructuras que pueden estar en contacto con el suelo o con aguas subterráneas donde exista una concentración de sulfato y el calor de hidratación sean más altos de lo normal. [23]

- **Tipo III: Altas resistencias iniciales**

Es aquel que desarrolla altas resistencias iniciales a edades tempranas y se lo emplea en obras en las cuales sea necesario adelantar el desencofrado, genera un elevado calor de hidratación por lo que se recomienda utilizarlos en climas fríos. [22] [23]

- **Tipo IV: Bajo calor de hidratación**

Desarrolla bajo calor de hidratación al momento de fraguar por lo que adquiere resistencia de forma más lenta que los otros tipos de cementos. [21] [22]

- **Tipo V: Alta resistencia a sulfatos**

Este tipo de cemento ofrece elevadas resistencias a la acción de los sulfatos por lo que su uso deberá hacerse cuando las obras estarán en contacto con agua o con ambientes salinos. [23]

Tabla 5. Tipos de cemento Portland.

TIPO	DESCRIPCIÓN	NORMA		
		INEN	ASTM	
PUROS	I	Uso común	152	C 150
	II	Moderada resistencia a sulfatos Moderado calor de hidratación	152	C 150
	III	Elevada resistencia inicial	152	C 150
	IV	Bajo calor de hidratación	152	C 150
	V	Alta resistencia a la acción de los sulfatos	152	C 150
	Los tipos IA, HA y IIIA incluyen incorporador de aire			

Fuente: INEC YC y APRHOEC. [8]

1.1.3.2.2 Propiedades del cemento

- **Densidad**

Es la relación entre la masa de una cantidad de cemento dada y el volumen absoluto de esta, su valor varía generalmente entre 2.90 y 3.15 g/cm³ dependiendo de la cantidad y la densidad del material puzolánico que se adicione. El valor de la densidad de un cemento no es un indicador de la calidad de este si no que su uso principalmente radica en las dosificaciones de hormigones. [24] [21]

- **Finura**

La finura de un cemento se determina en el proceso de molienda del clínker y el yeso, se considera como una de las propiedades más importantes debido a que está ligada con la velocidad de hidratación de las partículas, el desarrollo de calor de hidratación, la retracción y el aumento de la resistencia. [24]

- **Consistencia normal**

Esta propiedad indica el grado de fluidez con la que la pasta (mezcla de cemento y agua) puede ser manejada. Esta propiedad está relacionada con la calidad del cemento y el tiempo de fraguado. [24] [25]

- **Fraguado**

El fraguado hace referencia al paso de la mezcla de estado fluido a estado sólido, es un proceso exotérmico que depende de factores como: composición química del cemento, cantidad de agua durante el proceso de amasado, temperatura ambiental y la finura del cemento. [25]

- **Falso fraguado**

Este fenómeno ocurre cuando la pasta cementicia empieza a adquirir rigidez durante los primeros minutos después de mezclar el cemento con el agua, se diferencia del fraguado real debido a que no desprende calor apreciable y al mezclarlo nuevamente desaparece. [24] [25]

- **Estabilidad volumétrica**

La expansión del cemento luego del fraguado es el peor defecto que puede presentar y este se debe a la presencia de periclasa, cal libre y sulfato de calcio. [21] [24]

- **Calor de hidratación**

Es el calor generado producto de la reacción química (hidratación del cemento) que se produce cuando el cemento entra en contacto con el agua. Este calor depende principalmente de la composición química del cemento. [21] [26]

- **Resistencia a la compresión**

La resistencia mecánica del cemento se la determina a partir de un mortero elaborado con arena estándar y que se ensaya en máquina de compresión. [27]

1.1.3.3 Agregados o áridos

Son aquellos materiales inertes de forma granular cuya procedencia puede ser natural o artificial que mezclados con cemento y en presencia del agua tienden a formar una piedra artificial denominada como hormigón o concreto. [21]

Dentro de sus funciones está:

- Disminuir la cantidad de cemento en la mezcla.
- Disminuir la contracción por secado.
- Proporcionar mayor estabilidad.
- Proporcionar resistencia al desgaste y a la abrasión. [18]

Figura 4. Agregados o áridos.



Fuente: DOCUMENT.SIDE. [28]

1.1.3.3.1 Propiedades químicas de los agregados

- **Epitaxia**

Es la propiedad que mejora la adherencia entre los agregados y la pasta cementicia a medida que el tiempo transcurre. [21]

- **Reacción álcali-agregado**

Al mezclar el cemento con el agua en la elaboración de hormigón se genera un medio alcalino en el cual las partículas de los agregados gruesos y finos se encuentran inmersos. Bajo esta condición de alcalinidad algunos agregados reaccionan químicamente dando lugar a la formación de un gel que al absorber agua se expande y crea una presión capaz de desintegrar y deteriorar el concreto de manera prematura, a esta reacción química se la denomina como álcali-agregado. [29]

1.1.3.3.2 Propiedades físicas de los agregados

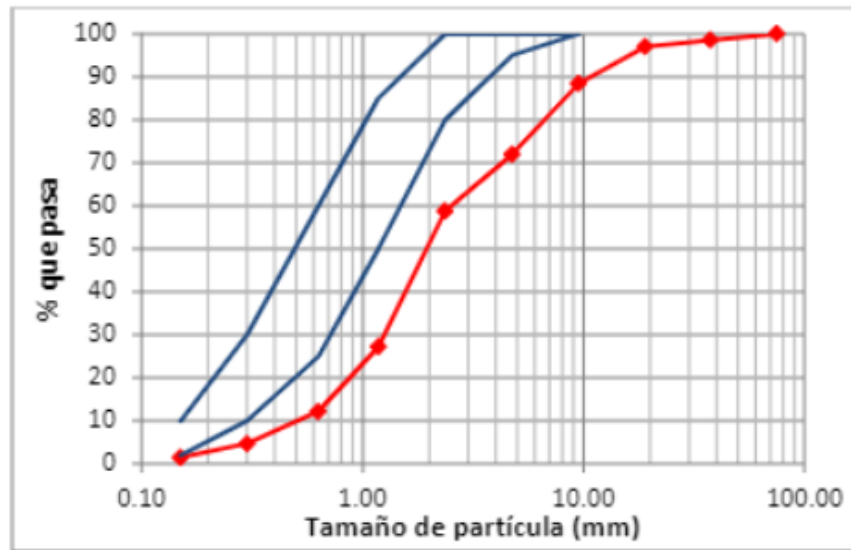
- **Granulometría**

Es la distribución de los tamaños de las partículas que conforman una masa de agregado, esta propiedad se determina mediante un análisis granulométrico el cual consiste en dividir una muestra del agregado en fracciones de igual tamaño mediante el uso de una serie de tamices. [21]

- a) Curva granulométrica**

Con el propósito de interpretar de mejor manera los resultados del análisis granulométrico de una muestra de agregados se acostumbra a realizar una representación gráficamente mediante el uso de una curva granulométrica o también conocida como curva de cribado.

Figura 5. Ejemplo de una curva granulométrica.



Fuente: F. Aguirre, O. Rojas, J. Calle y Á. Moscoso. [30]

b) Módulo de finura

Es el índice que se usa para determinar el tamaño promedio de los agregados y se define como el valor que se obtiene de dividir la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N°4, 3/8'' y 3/4'' para 100. [8]

Tabla 6. Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura.

MÓDULO DE FINURA	AGREGADO FINO
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 - 2,30	Fino
2,30 - 2,60	Ligeramente fino
2,60 - 2,90	Mediano
2,90 - 3,20	Ligeramente grueso
3,20 - 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: G. A. Rivera. [21]

c) Tamaño máximo

Se define como la abertura más pequeña del tamiz que permite el paso de todo el agregado representando así el tamaño más grande de la partícula del material. [21]

d) Tamaño nominal máximo

Es el menor tamaño de malla por el cual pasa la mayor parte del agregado, en esta malla puede retenerse entre el 5% y 15% del agregado. [8]

- **Densidad o peso específico**

La densidad está definida como la relación que existe entre el peso y el volumen de una masa determinada de agregado. [31]

Debido a que las partículas del agregado están conformadas por su masa, poros permeables (saturables) y poros impermeables (no saturables) se deben considerar estos tipos de densidades: [21]

a) Densidad real o absoluta

Es la relación que existe entre el peso y el volumen que ocupa la masa de agregado excluyendo todos los permeables (saturables) e impermeables (no saturables). [21]
[31]

$$\text{Densidad real} = \frac{P_s}{V_m - V_p}$$

En donde:

P_s: peso seco de la masa

V_m: volumen ocupado por la masa

V_p: volumen de los poros permeables (saturables) e impermeables (no saturables)

b) Densidad nominal

Es la relación que existe entre el peso y el volumen que ocupa la masa de agregado incluyendo los poros impermeables (no saturables). [21] [31]

$$\text{Densidad nominal} = \frac{Ps}{V_m - V_{ps}}$$

En donde:

Ps: peso seco de la masa

V_m: volumen ocupado por la masa

V_p: volumen de los poros permeables (saturables)

c) Densidad aparente

Es la relación que existe entre el peso y el volumen que ocupa la masa de agregado incluyendo los poros permeables (saturables) e impermeables (no saturables). [21] [31]

$$\text{Densidad aparente} = \frac{Ps}{V_m}$$

En donde:

Ps: peso seco de la masa

V_m: volumen ocupado por la masa

- **Absorción**

Hace referencia al porcentaje de agua necesaria para saturar las partículas de los agregados, su valor varía entre 0.2 y 4% para un agregado grueso y entre 0.2 y 2% para el agregado fino. [5] [21]

$$\text{Capacidad de absorción} = \frac{M_{\text{sss}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} * 100$$

En donde:

M_{sss}: masa del agregado en condición saturado superficie seca.

M_{seca}: masa del agregado en condición seca.

- **Humedad**

La estructura interna de las partículas de los agregados está conformada por materia sólida y poros, estos poros pueden contener agua o no por lo que se pueden encontrar en las siguientes condiciones: [21]

- a) **Seco**

Esta condición es difícil de encontrar en estado natural ya que para obtenerla será necesario ningún poro contenga agua, bajo esta condición la partícula tendrá su máxima capacidad de absorción y el contenido de humedad de esta será igual a cero.

- b) **Seco natural o parcialmente húmedo**

Es la condición con la que normalmente se encuentran la mayoría de los agregados en la naturaleza, se caracteriza porque superficialmente no contiene una humedad significativa no obstante algunos de los poros han permitido el ingreso de humedad al interior de partícula, pero sin saturarla.

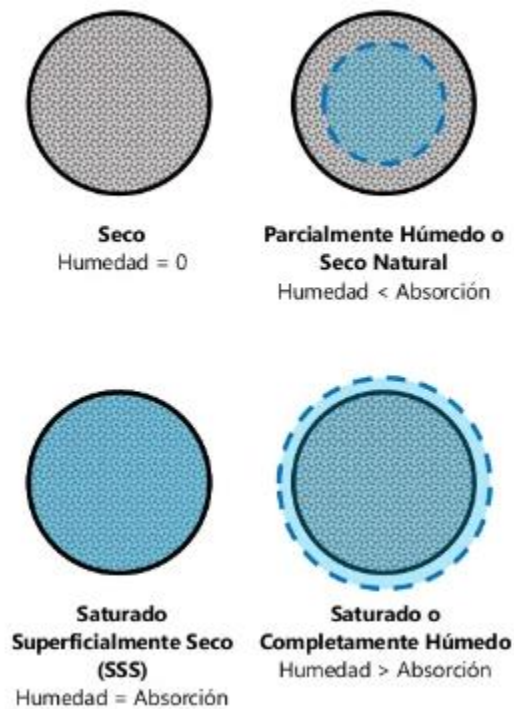
- c) **Saturado superficialmente seco**

En esta condición se encuentran todos los poros saturados sin embargo las partículas se encuentran secas en la superficie, para esta condición existe un equilibrio entre la capacidad de absorción y la humedad de la partícula.

d) Saturado o completamente húmedo

Para esta condición las partículas del agregado están completamente llenas de agua y poseen la superficie completamente húmeda, para este caso la humedad ha superado la capacidad de absorción.

Figura 6. Condiciones de humedad del agregado.



Fuente: A. Martínez. [32]

1.1.3.3 Agregado fino o arena

Es el árido fino resultado de la desintegración natural y abrasión de la roca, tienen un diámetro de hasta 4.75 mm. [33] [18]

De acuerdo con la norma NTE INEN 872 se establece los siguientes requisitos de granulometría y calidad para el agregado fino que se emplearan en la elaboración de hormigones.

- Al agregado fino está conformado por arena natural, arena elaborada o su combinación.
- El agregado fino debe graduarse dentro de los siguientes rangos:

Tabla 7. Límites para el agregado fino.

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9.5 mm	100
4.75 mm	95 a 100
2.36 mm	80 a 100
1.18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	5 a 30
150 μm	0 a 10

Fuente: NTE INEN 872. [34]

- El módulo de finura del agregado fino será mayor a 3.1 ni menor a 2.3.
- El agregado fino que no cumpla con los requisitos de gradación de la tabla 7 será aceptado siempre y cuando se demuestre que el hormigón elaborado a partir de este tiene propiedades relevantes.
- El árido fino deberá provenir de fuentes que tengan un registro de desempeño aceptable.
- El límite de sustancias perjudiciales no deberá exceder lo estipulado en la siguiente tabla:

Tabla 8. Límites para sustancias perjudiciales del agregado fino.

Detalle	Porcentaje de la muestra total, en masa. Máximo
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	3,0
Material más fino que 75 μm :	
Hormigón sujeto a abrasión	3,0 ^A
Todos los demás hormigones	5,0 ^A
Carbón y lignito:	
Donde es importante la apariencia superficial del hormigón	0,5
Todos los demás hormigones	1,0

^A En el caso de arena fabricada, si el material más fino que 75 μm consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquisto, se permite incrementar estos límites a 5% y 7%, respectivamente.

Fuente: NTE INEN 872. [34]

- El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas.

1.1.3.3.4 Agregado grueso o ripio

Es el árido grueso es el resultado de la trituración artificial de la roca, tienen un diámetro mayor a los 4.75 mm. [33] [18]

De acuerdo con la norma NTE INEN 872 se establece los siguientes requisitos de granulometría y calidad para el agregado grueso que se emplearan en la elaboración de hormigones.

- El agregado grueso estará conformado por grava, grava triturada, piedra triturada, hormigón de cemento hidráulico triturado, escoria de altos hornos o a su vez la combinación de todos estos.
- El agregado grueso debe graduarse dentro de los siguientes rangos:

Tabla 9. Límites para el agregado grueso.

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	—	25 a 60	—	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—	—
2	de 63 a 37,5	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—	—
3	de 50 a 25,0	—	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—
357	de 50 a 4,75	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	—	0 a 5	—	—	—
4	de 37,5 a 19,0	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—
467	de 37,5 a 4,75	—	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	0 a 5	—	—	—
5	de 25,0 a 12,5	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—	—	—	—
56	de 25,0, a 9,5	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	—	—	—
57	de 25,0 a 4,75	—	—	—	—	—	100	95 a 100	—	25 a 60	—	0 a 10	0 a 5	—	—
6	de 19,0 a 9,5	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	—	—	—	—
67	de 19,0 a 4,75	—	—	—	—	—	100	90 a 100	—	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—	—	—
7	de 12,5 a 4,75	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	—	—	—
8	de 9,5 a 2,36	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	—	—
89	de 9,5 a 1,18	—	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5	—
9 ^A	de 4,75 a 1,18	—	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5	—

^A Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

Fuente: NTE INEN 872. [34]

- El límite de sustancias perjudiciales no deberá exceder lo estipulado en la siguiente tabla:

Tabla 10. Límites para sustancias perjudiciales del agregado grueso.

Las condiciones de interperismo son definidas de la siguiente manera (ver numeral 3):
 (S) Condición de interperismo severo. Un clima frío o donde el hormigón está expuesto a productos químicos desgelantes u otros agentes agresivos, donde el hormigón puede saturarse por contacto continuo con humedad o agua libre antes de cada ciclo de congelamiento y descongelamiento.
 (M) Condición de interperismo moderado. Un clima donde se espera congelamiento ocasional, pero donde el hormigón en servicio a la interperie no esté continuamente expuesto a congelamiento y descongelamiento en presencia de humedad o de productos químicos desgelantes.
 (N) Condición de interperismo nulo. Un clima donde el hormigón está raramente expuesto al congelamiento en presencia de humedad.

Designación de clase	Tipo o ubicación de la construcción de hormigón	Máximo permisible, %						
		Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	Chert ^o (gr. esp. SSS menor de 2,40)	Total de terrones de arcilla, partículas desmenuzables y chert (gr. esp. SSS menor de 2,40)	Material más fino que 75 µm	Carbón y lignito	Valor de la degradación (%) ^A	Solidez de los áridos mediante el sulfato de magnesio (5 ciclos) ^B
Condición de interperismo severo								
1S	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la interperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10,0	—	—	1,0 ^C	1,0	50	—
2S	Pisos interiores sin revestimiento	5,0	—	—	1,0 ^C	0,5	50	—
3S	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la interperie	5,0	5,0	7,0	1,0 ^C	0,5	50	18
4S	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo.	3,0	5,0	5,0	1,0 ^C	0,5	50	18
5S	Hormigón arquitectónico expuesto	2,0	3,0	3,0	1,0 ^C	0,5	50	18
Condición de interperismo moderado								
1M	Zapatas, fundaciones, columnas, y vigas no expuestas a la interperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10,0	—	—	1,0 ^C	1,0	50	—
2M	Pisos interiores sin revestimiento	5,0	—	—	1,0 ^C	0,5	50	—
3M	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la interperie	5,0	8,0	10,0	1,0 ^C	0,5	50	18
4M	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo	5,0	5,0	7,0	1,0 ^C	0,5	50	18
5M	Hormigón arquitectónico expuesto	3,0	3,0	5,0	1,0 ^C	0,5	50	18
Condición de interperismo nulo								
1N	Losas sujetas a la abrasión del tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos	5,0	—	—	1,0 ^C	0,5	50	—
2N	Todas las demás clases de hormigón	10,0	—	—	1,0 ^C	1,0	50	—

^A Se excluyen de los requisitos del valor de la degradación de la escoria de altos hornos enfriada al aire y triturada. La masa unitaria de escoria de altos hornos enfriada al aire y triturada, obtenida mediante el procedimiento por varillado o mediante el procedimiento por sacudidas, no debe ser menor que 1 120 kg/m³. La granulometría de la escoria utilizada en el ensayo de masa unitaria debe ajustarse a la granulometría que se utilizará en el hormigón. Se debe determinar el valor de la degradación de la grava, grava triturada o piedra triturada en el tamaño o tamaños de ensayo más aproximados con la granulometría o granulometrías que se utilizarán en el hormigón. Cuando se vaya a utilizar más de una granulometría, se debe aplicar el límite del valor de la degradación a cada una.
^B El límite admisible para la solidez, cuando se utiliza sulfato de sodio, debe ser de 12%.
^C Este porcentaje bajo cualquiera de las siguientes condiciones: (1) puede ser aumentado en 1,5 si el material está esencialmente libre de arcilla o lutita o (2) si se conoce que la fuente del árido fino que va a ser utilizado en el hormigón contiene menos que la cantidad máxima especificada que pasa el tamiz de 75 µm (ver tabla 1). Se puede aumentar el límite del porcentaje (L) de la cantidad en el árido grueso a $L = 1 + [(P_f)(100 - P)](T - A)$, donde P = porcentaje arena en el hormigón como un porcentaje del árido total, T = límite indicado en la tabla 1 para la cantidad permitida en el árido fino y A = cantidad real en el árido fino. (Esto proporciona un cálculo ponderado diseñado para limitar la cantidad máxima de material que pasa el tamiz de 75 µm en el hormigón, a aquel que se obtendrá si los áridos, fino y grueso, fueran suministrados con el porcentaje máximo tabulado para cada uno de estos ingredientes).
^D También conocido como Horsteno.

Fuente: NTE INEN 872. [34]

1.1.3.4 Agua

El agua es uno de los componentes principales en la elaboración de hormigones, durante el proceso de amasado la presencia de esta permite la hidratación del cemento y la formación de la pasta; misma que es la encargada de conferir la trabajabilidad a la mezcla y actúa como conglomerante con los agregados. [35]

1.1.3.4.1 Tipos de agua

Existen 6 tipos de agua que son aceptables para su uso durante el proceso de elaboración de hormigones, entre ellas tenemos:

- Agua potable.
- Agua de lluvia.
- Agua recuperada de procesos de la industria de elaboración de hormigones

- Aguas subterráneas.
- Agua superficial natural.
- Agua constituida con aportes parciales de más de un tipo de las anteriormente mencionadas. [35]

Tabla 11. Límites químicos para el agua a usarse en hormigones.

Máxima concentración en el agua de mezcla combinada, ppm ^B	Límites	Normas aplicables
A. Cloruro como Cl ⁻ , ppm 1. Para hormigón pretensado, losas de puentes u otras designaciones 2. Otros hormigones reforzados en ambientes húmedos o conteniendo aluminio embebido u otros metales o con encofrados de metal galvanizado que permanecerán en el sitio.	500 ^C	NTE INEN 160
B. Sulfato como SO ₄ , ppm	1 000 ^C	NTE INEN 160
C. Álcalis como (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O), ppm	3 000	NTE INEN 160
D. Total de sólidos en masa, ppm	600	NTE INEN 160
	50 000	ASTM C 1 603
<p>A Los límites definidos en esta tabla pueden ser especificados como elementos individuales o en conjunto con la sección Información para pedidos de la NTE INEN 1855-1.</p> <p>B ppm = partes por millón.</p> <p>C Estos límites para el agua de mezcla se pueden exceder cuando el fabricante demuestre que la suma de todas las fuentes de cloruros en su hormigón no excede los requisitos del ACI 318. Para condiciones que permitan el uso de cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerante, se puede ignorar el límite para el cloruro.</p>		

Fuente: NTE INEN 2617. [36]

1.1.3.5 Dosificación

Las proporciones en las que se mezclan los componentes de hormigón constituyen la dosificación de este, esta dosificación debe constituir la combinación más práctica y económica de los agregados, cemento, agua e incluso en algunos casos la presencia de aditivos. La dosificación tiene el objetivo de que la mezcla tenga un grado de manejabilidad adecuado y que al endurecerse adquiriera una resistencia y durabilidad óptimas para el tipo de construcción para la cual está destinada la mezcla. [18] [21]

1.1.3.5.1 Datos básicos para elaborar una dosificación

- Densidad del cemento.
- Densidad del agua (se puede asumir como 1 kg/dm³).

- Análisis granulométrico del agregado fino del cual se debe obtener el módulo de finura junto con el tamaño nominal máximo.
- Análisis granulométrico del agregado grueso del cual se debe obtener el tamaño nominal máximo.
- Densidad aparente de los agregados.
- Densidad real de los agregados.
- Capacidad de absorción de los agregados.
- Contenidos de humedad de los agregados.

1.1.3.5.2 Método de la densidad óptima

Este método de dosificación tiene como base la conformación de una roca artificial en la cual los vacíos que dejan los agregados serán rellenados por la pasta bajo las siguientes consideraciones:

- a) El agregado fino llenara el volumen aparente de vacíos dejado por el agregado grueso.
- b) La pasta deberá recubrir las partículas de los agregados conformando de esa manera un nexo y a su vez llenara el porcentaje de vacíos que dejen los agregados cuando tiene su densidad óptima. [5] [37]

Procedimiento de cálculo

- a) Densidad real de la mezcla

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

- b) Porcentaje óptimo de vacíos

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

c) Relación agua cemento

Tabla 12. Relación agua/cemento.

Resistencia a la compresión a los 28 días en Mpa (f'c)	Relación Agua/Cemento (W/C)
45	0,37
42	0,40
40	0,42
35	0,46
32	0,50
30	0,51
28	0,52
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,60

Fuente: M. V. Garzón. [37]

d) Cantidad de pasta

Tabla 13. Cantidades de pasta.

Asentamiento en cm	Cantidad de Pasta en %
0-3	POV + 2% + 3%(POV)
3-6	POV + 2% + 6%(POV)
6-9	POV + 2% + 8%(POV)
9-12	POV + 2% + 11%(POV)
12-15	POV + 2% + 13%(POV)

Fuente: M. V. Garzón. [37]

e) Cantidad de cemento

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

f) Cantidad de agua

$$W = W/C * C$$

g) Cantidad de ripio

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

h) Cantidad de arena

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

En donde:

- DRM: densidad real de la mezcla
- DRA: densidad real de la arena
- POA: porcentaje óptimo de la arena
- DRR: densidad real del ripio
- POR: porcentaje óptimo del ripio
- POV: porcentaje óptimo de vacíos
- DOM: densidad óptima de la mezcla
- CP: cantidad de pasta
- W/C: relación agua/cemento
- DRC: densidad real del cemento
- R: cantidad de ripio
- A: cantidad de arena

1.1.4 Hipótesis

La variación de los valores obtenidos para el módulo de elasticidad estático del hormigón de acuerdo con ASTM y ACI será del $\pm 20\%$, cuando se empleen para la elaboración del hormigón el agregado de las minas Erick Joel y Virginia ubicadas en el cantón Píllaro provincia de Tungurahua.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar el módulo de elasticidad estático del hormigón, en base al análisis de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas fabricadas con materiales de las minas Erick Joel y Virginia, ubicadas en el cantón Píllaro provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Desarrollar una dosificación apropiada para utilizarse en mezclas de hormigón elaboradas con materiales de las minas seleccionadas, para resistencias a compresión de 24 y 28 Mpa a los 28 días de edad.
- Proponer una constante para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón acorde a las características del material de cada una de las minas seleccionadas.
- Plantear una comparación entre los valores de las constantes propuestas en el presente trabajo experimental y estudios elaborados en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato para el cálculo del módulo de elasticidad estático.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Recopilación de información

El presente trabajo de investigación constituye un trabajo experimental original basado en un proceso sistemático, intencional, coherente y planificado, que tiene como objetivo aplicar cuatro niveles de investigación distintos en características, pero a su vez convergentes en su intención de demostrar o refutar una hipótesis planteada. [38]

- Nivel exploratorio: Consiste en conocer mediante visitas personales a las minas, los procesos de extracción, clasificación, almacenamiento y distribución de los agregados pétreos que son utilizados en el medio y que usaremos para la fabricación de hormigón en el presente trabajo de titulación.
- Nivel descriptivo: Abarca un análisis técnico en el cual se detalla las propiedades físico-mecánicas de los agregados que se tomaron de muestra en el nivel que precede, así como también los procesos que se emplearán para determinar el módulo de elasticidad del hormigón.
- Nivel explicativo: Involucra un análisis de las características de los áridos seleccionados y cómo estos influyen directamente en la aplicación de los métodos normados para la determinación del módulo de elasticidad.
- Nivel experimental: Involucra, en base a las características de los agregados, el diseño de una dosificación adecuada que brinde resultados personalizados en cuanto a valores de resistencia a la compresión por rotura de cilindros, que influirán para realizar una propuesta real de contantes que puedan aplicarse como alternativa a las determinadas por la normativa ACI 318.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población.

Se elaborarán probetas cilíndricas en dos fases, una piloto y una final. Durante la fase piloto se fabricarán y ensayarán probetas en la modalidad de prueba y error con el fin de encontrar una dosificación apropiada que cumpla los parámetros de resistencia a la compresión. Se fabricarán 3 probetas para cada mina, para cada resistencia, y para ser ensayadas a los 7 y 14 días, es decir un total de 24 probetas en cada intento.

Una vez hallada una dosificación adecuada, se elaborarán un total de 84 probetas para la fase definitiva o final que se ensayarán cada 7 días hasta llegar a los 28 días de edad.

2.2.2. Muestra.

A continuación, se muestra cómo se distribuirán las probetas, en base las minas seleccionadas, resistencias de diseño, edad y también las que se usarán para el MEE:

Tabla 14. Clasificación de las cantidades de probetas en la fase final.

Mina	f'c (Kg/cm ²)	Número de probetas a ensayar				Probetas para el MEE	Total
		7 días	14 días	21 días	28 días		
Erick	240	3	3	3	3	9	21
Joel	280	3	3	3	3	9	21
Virginia	240	3	3	3	3	9	21
	280	3	3	3	3	9	21
Total		12	12	12	12	36	84







Fuente: creación propia

2.3. Materiales y equipos

Son diversos los materiales y equipos, de campo, oficina y laboratorio, empleados durante cada una de las fases del presente trabajo experimental. Los equipos de laboratorios cumplen con las normas ASTM e INEN.

2.3.1. Materiales













Tabla 15. Materiales

Arena	
Ripio	
Agua	
Cemento Portland Selva Alegre	
Gasolina	
Hidróxido de sodio al 3%	

Fuente: creación propia

Tabla 16. Equipos.

<p><i>Bandejas</i></p> 	<p><i>Recipientes</i></p> 	<p><i>Brochas</i></p> 	<p><i>Flexómetro</i></p> 
<p><i>Varilla compactadora</i></p> 	<p><i>Calculadora</i></p> 	<p><i>Computador</i></p> 	<p><i>Picnómetro</i></p> 
<p><i>Balanza analógica</i></p> 	<p><i>Balanza de 6kg</i></p> 	<p><i>Balanza 30 kg</i></p> 	<p><i>Balanza granataria</i></p> 
<p><i>Tamizadora</i></p> 	<p><i>Tamices redondos</i></p> 	<p><i>Tamices cuadrados</i></p> 	<p><i>Horno</i></p> 

<p><i>Moldes cilíndricos estándar</i></p> 	<p><i>Teléfono</i></p> 	<p><i>Cono truncado</i></p> 	<p><i>Probeta</i></p> 
<p><i>Máquina de compresión</i></p> 	<p><i>Cepillos de acero</i></p> 	<p><i>Canastilla metálica</i></p> 	<p><i>Carretilla</i></p> 
<p><i>Cámara de curado</i></p> 	<p><i>Embudo</i></p> 	<p><i>Palustre</i></p> 	<p><i>Cono de Abhrams</i></p> 
<p><i>Martillo de goma</i></p> 	<p><i>Pipeta</i></p> 	<p><i>Termómetro</i></p> 	<p><i>Máquina de los Ángeles</i></p> 

Fuente: creación propia

2.4. Métodos.

2.4.1. Método para recolección de datos

Se deberá realizar un cronograma sistemático que involucre la recopilación bibliográfica de procesos de muestreo técnico que faciliten la recolección, identificación, clasificación, almacenamiento y ensayos de los agregados.

2.4.2. Muestreo

- Viaje a las minas con materiales de recolección y un medio de transporte de carga.
- Recolección de agregados fino y grueso en cantidades precisas de acuerdo con NTE INEN 695
- Embodegaje clasificado en un lugar seco a temperatura ambiente.
- Reducción a tamaño de ensayo conforme INEN 2566.
- Secado al sol.
- Etiquetado y traslado de muestras a laboratorio.

2.4.3. Caracterización de agregados y cemento

- Ensayo de densidad real del cemento según INEN 156
- Ensayo de detección de impurezas en agregados según INEN 855
- Granulometría de los áridos según INEN696
- Determinación del porcentaje de material más fino que pasa Tamiz #200, conforme INEN 697
- Ensayos de absorción y densidad relativa de los agregados fino y grueso según INEN 856 y 857 respectivamente.
- Ensayo de determinación de la masa unitaria de los agregados fino y grueso en estado suelto y compactado acore a INEN 858.
- Dosificación de mezclas de hormigón por el método de la densidad óptima para resistencias a la compresión a los 28 días de edad.

2.4.4. Fabricación de cilindros y ensayos del hormigón en estado fresco y endurecido.

- Fabricación de cilindros en etapa de prueba, para determinar la dosificación apropiada INEN 3124.
- Ensayo de asentamiento mediante el método del cono de Abrams conforme INEN 1578.
- Determinación de la densidad y contenidos de aire según INEN 1579.
- Ruptura de cilindros de prueba a los 7 y 14 días de edad según INEN 1573.
- Elaboración de probetas finales INEN 3124.
- Desencofrado y curado de probetas finales INEN 3124
- Ruptura de cilindros a edades de 7, 14, 21, y 28 días para las dos resistencias. INEN 1573.
- Cálculo del MEE según ASTM C469.
- Determinación de las nuevas contantes para el cálculo del MEE.

2.4.5. Procesamiento de datos e interpretación de la información.

- Muestreo: Para la mina Erick Joel, se impone el código “EJ” y para la mina Virginia, el código “VIR”. Estos códigos se usarán para identificar todos los ensayos y materiales.
- Tabulación de datos: Estará gobernada por una hoja electrónica matriz, en la cual se almacenará y clasificará datos de ensayos, y también se procesará los resultados, controlará rangos y se creará gráficos.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Ensayos de caracterización de los agregados.

3.1.2.1. Toma de muestras in situ

De acuerdo con la norma NTE INEN 695 se efectuó la toma de muestras para cada una de las minas, se realizó una inspección visual previa para poder descartar que existan variaciones considerables en el producto terminado.

3.1.2.2. Reducción a tamaño de ensayo.

Con el objetivo de garantizar la obtención de resultados reales, se desarrolló en laboratorios la reducción de muestras a tamaño de ensayo mediante el método de cuarteo de la muestra. La cantidad para obtenerse a través de este método depende de cada ensayo.

3.1.2.3. Determinación del material más fino que el tamiz No 200, mediante lavado.

Mina Erick Joel

Tabla 17. Material más fino que el tamiz No.200, Mina Erick Joel.

Origen	Mina Erick Joel			
Muestra(gr)	500			
Ensayado por	Marlon Constante	Muestreo:	2/05/2022	
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	2/05/2022	
Descripción	Ensayo			Unidad
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	500	500	500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	485.9	486.4	485.8	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	2.8	2.7	2.8	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	2.80			%

Realizado por: Marlon Constante.

Mina Virginia

Tabla 18. Material más fino que el tamiz No.200, Mina Virginia.

Origen	Mina Virginia			
Muestra(gr)	500			
Ensayado por	Marlon Constante	Muestreo:	2/05/2022	
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	2/05/2022	
Descripción	Ensayo			Unidad
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	500	500	500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	490	489.9	488.6	gr
Material más fino que pasa el tamiz No. 200	2.0	2.0	2.3	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	2.11			%

Realizado por: Marlon Constante.

Tabla 19. Parámetros de control

Parámetro	Erick Joel	Virginia	INEN 697
Rango	0.12	0.26	<0.43
Desviación estándar	0.07	0.16	<0.15
Coefficiente de variación (%)	2.37	7.36	--
Resultado (%)	2.80	2.11	<3%

Realizado por: Marlon Constante.

3.1.2.4. Granulometría de los agregados.

Análisis granulométrico en el agregado fino

Tabla 20. Granulometría del agregado fino para mina Erick Joel, ensayo I.

Origen		Mina Erick Joel			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		500			Pérdida de muestra		0.26%	
Ensayado por		Marlon Constante			Fecha Muestreo:		05/05/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		06/05/2022	
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	2.81	2.81	0.56%	0.56%	99.44%	95%	100%
No. 8	2.38	82.44	85.25	16.53%	17.09%	82.91%	80%	100%
No. 16	1.19	122.78	208.03	24.62%	41.71%	58.29%	50%	85%
No. 30	0.59	89.82	297.85	18.01%	59.72%	40.28%	25%	60%
No. 50	0.30	72.96	370.81	14.63%	74.35%	25.65%	10%	30%
No. 100	0.15	96.75	467.56	19.40%	93.75%	6.25%	2%	10%
No. 200	0.08	1.04	468.60	0.21%	93.96%	6.04%	-	-
Bandeja		30.11	498.71	6.04%	100.00%		-	-
Módulo de finura							2.80	

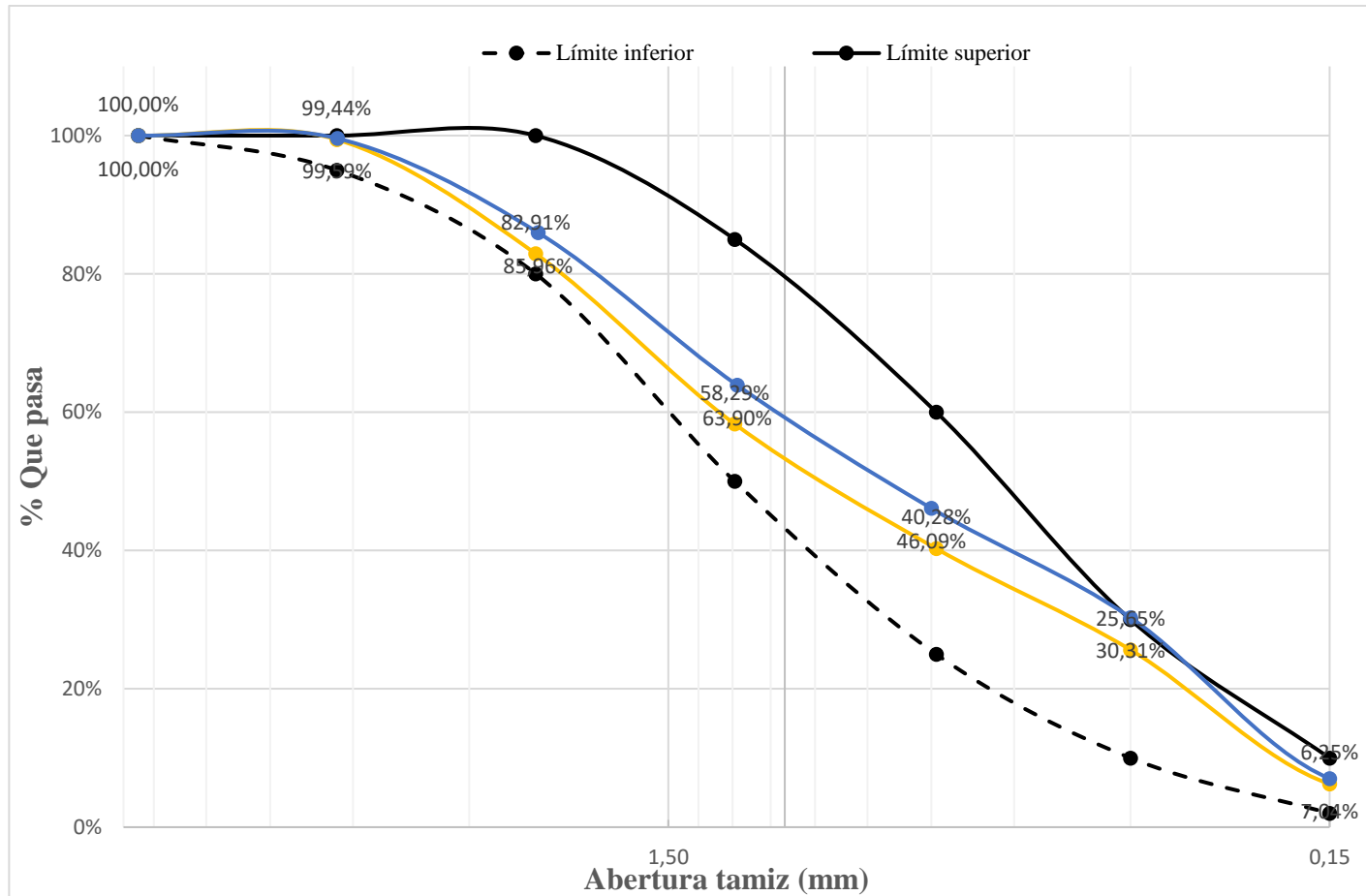
Realizado por: Marlon Constante

Tabla 21. Granulometría del agregado fino para mina Erick Joel, ensayo II.

Origen		Mina Erick Joel			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		500			Pérdida de muestra		0.08%	
Ensayado por		Marlon Constante			Fecha Muestreo:		05/05/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		06/05/2022	
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	4.75	2.06	2.06	0.41%	0.41%	99.59%	95%	100%
No. 8	2.36	68.08	70.14	13.63%	14.04%	85.96%	80%	100%
No. 16	1.18	110.20	180.34	22.06%	36.10%	63.90%	50%	85%
No. 30	0.60	88.96	269.30	17.81%	53.91%	46.09%	25%	60%
No. 50	0.30	78.88	348.18	15.79%	69.69%	30.31%	10%	30%
No. 100	0.15	116.22	464.40	23.26%	92.96%	7.04%	2%	10%
No. 200	0.075	0.68	465.08	0.14%	93.09%	6.91%	-	-
Bandeja		34.50	499.58	6.91%	100.00%		-	-
Módulo de finura							2.70	

Realizado por: Marlon Constante

Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino para mina Erick Joel



Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

Tabla 22. Granulometría del agregado fino para mina Virginia, ensayo I.

Origen		Mina Virginia			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		500			Pérdida de muestra		0.23%	
Ensayado por		Marlon Constante			Fecha Muestreo:		05/05/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		06/05/2022	
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	2.90	2.90	0.58%	0.58%	99.42%	100%	100%
No. 4	4.76	18.68	21.58	3.74%	4.33%	95.67%	95%	100%
No. 8	2.38	89.83	111.41	18.01%	22.33%	77.67%	80%	100%
No. 16	1.19	70.52	181.93	14.14%	36.47%	63.53%	50%	85%
No. 30	0.59	51.13	233.06	10.25%	46.72%	53.28%	25%	60%
No. 50	0.30	93.45	326.51	18.73%	65.45%	34.55%	10%	30%
No. 100	0.15	106.76	433.27	21.40%	86.86%	13.14%	2%	10%
No. 200	0.08	42.53	475.80	8.53%	95.38%	4.62%	-	-
Bandeja		23.04	498.84	4.62%	100.00%		-	-
Módulo de Finura							2.63	

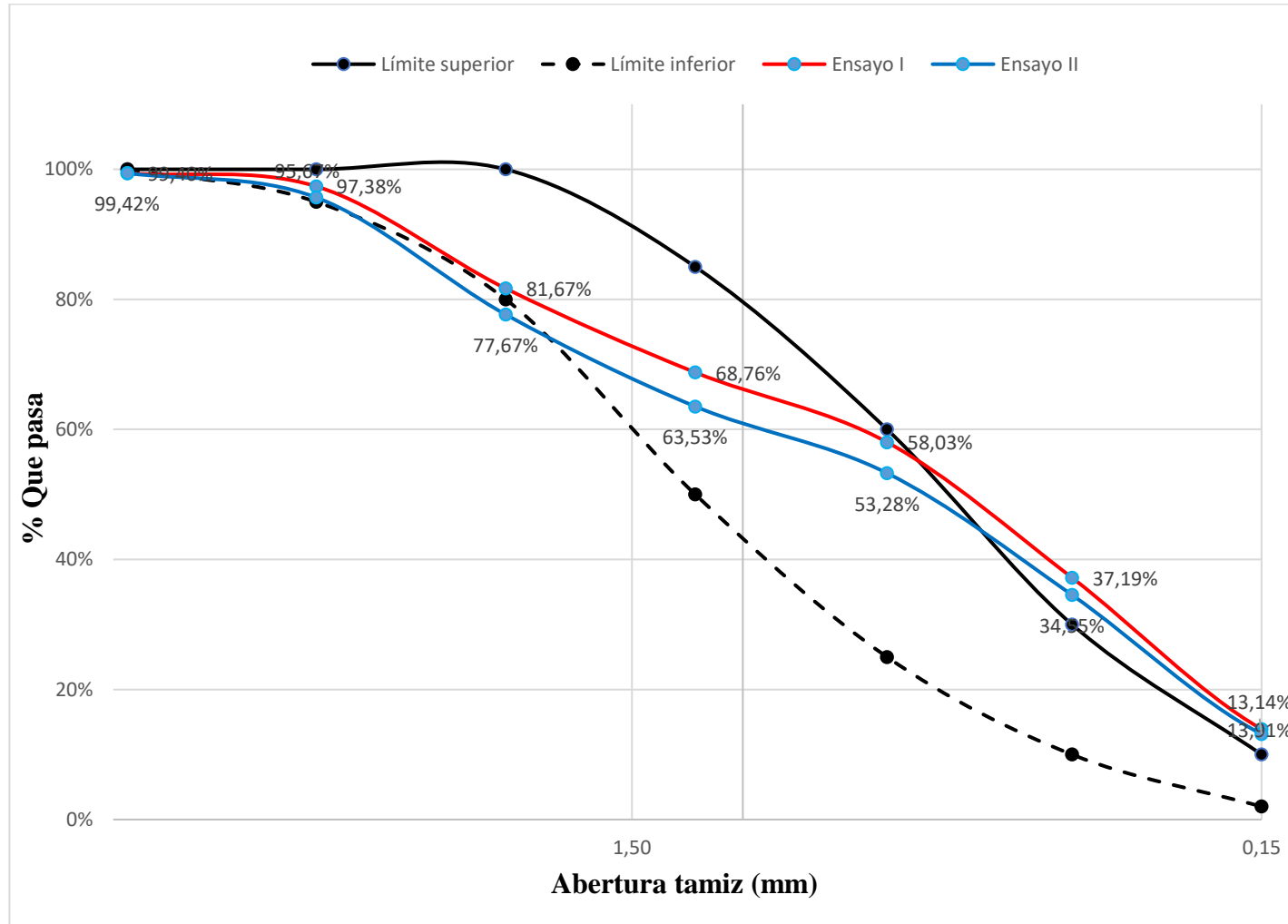
Realizado por: Marlon Constante

Tabla 23. Granulometría del agregado fino para mina Virginia, ensayo II.

Origen		Mina Virginia			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		500			Pérdida de muestra		0.31%	
Ensayado por		Marlon Constante			Fecha Muestreo:		05/05/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		06/05/2022	
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	3.00	3.00	0.60%	0.60%	99.40%	100%	100%
No. 4	4.76	10.05	13.05	2.02%	2.62%	97.38%	95%	100%
No. 8	2.38	78.30	91.35	15.71%	18.33%	81.67%	80%	100%
No. 16	1.19	64.34	155.69	12.91%	31.24%	68.76%	50%	85%
No. 30	0.59	53.50	209.19	10.73%	41.97%	58.03%	25%	60%
No. 50	0.30	103.85	313.04	20.84%	62.81%	37.19%	10%	30%
No. 100	0.15	116.06	429.10	23.29%	86.09%	13.91%	2%	10%
No. 200	0.08	51.08	480.18	10.25%	96.34%	3.66%	-	-
Bandeja		18.25	498.43	3.66%	100.00%		-	-
Módulo de Finura							2.4	

Realizado por: Marlon Constante

Figura 7. Curva granulométrica del agregado fino para mina Virginia.



Realizado por: Marlon Constante

Análisis granulométrico en el agregado grueso.

Mina Erick Joel

Tabla 24. Granulometría del agregado grueso para mina Erick Joel, ensayo I.

Origen		Mina Erick Joel			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra		0.15%	
Ensayado por		Marlon Constante			Fecha Muestreo:		05/05/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		06/05/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	-	-
2"	50.00	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	-	-
1 1/2"	37.50	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100.00%
1 "	25.00	410	410	4.11%	4.11%	95.89%	90%	100%
3/4 "	19.05	5800	6210	58.09%	62.19%	37.81%	20%	55%
1/2 "	12.50	3610	9820	36.15%	98.35%	1.65%	0%	10%
3/8 "	9.50	160	9980	1.60%	99.95%	0.05%	0%	5%
No. 4	4.75	5	9985	0.05%	100.00%	0.00%	-	-
Bandeja		0	9985	0.00%	100.00%			
Tamaño Nominal máximo:						1"		

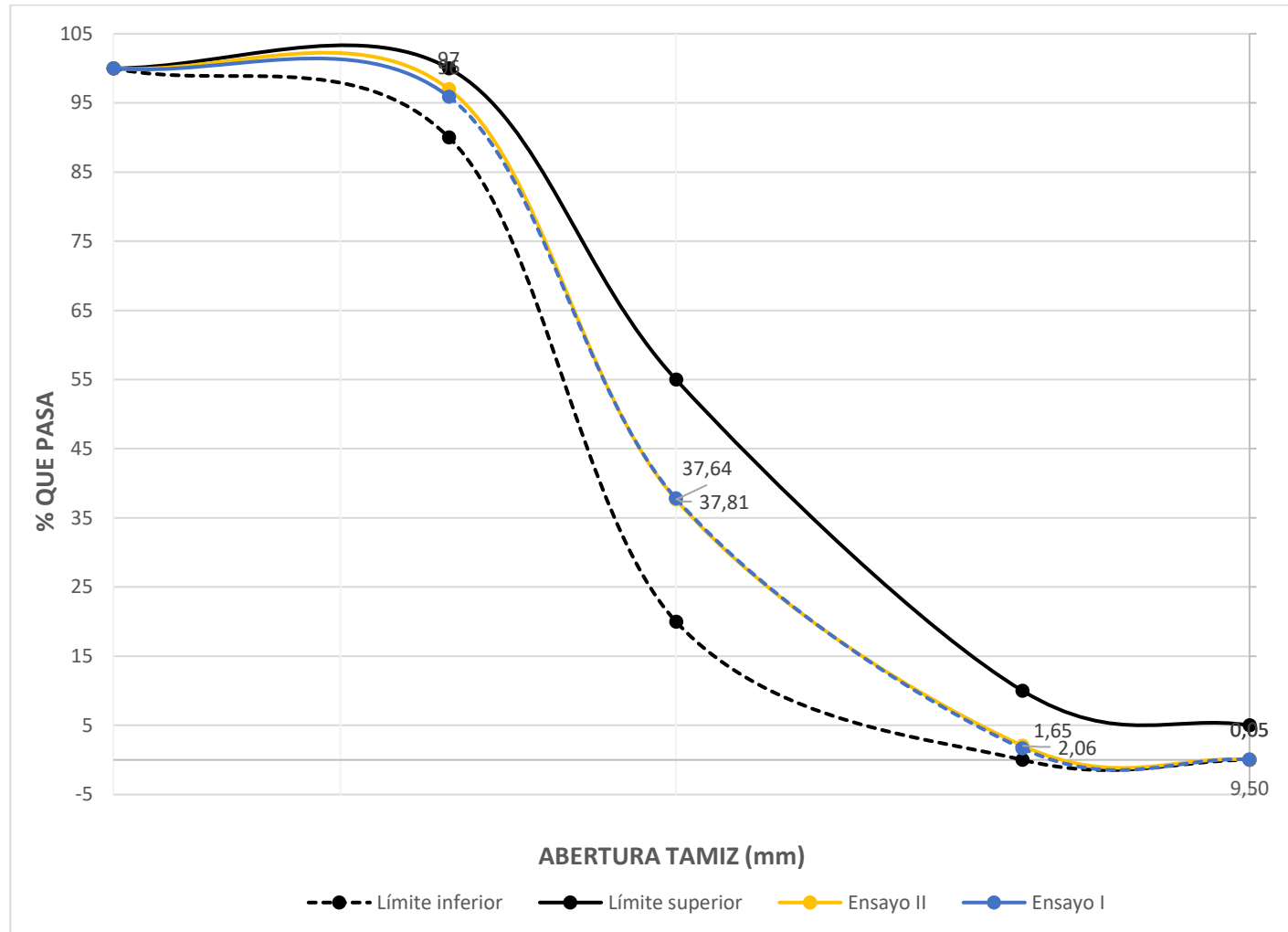
Realizado por: Marlon Constante

Tabla 25. Granulometría del agregado grueso para mina Erick Joel, ensayo II.

Origen		Mina Erick Joel			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra		0.25%	
Ensayado por		Marlon Constante			Fecha Muestreo:		05/05/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		06/05/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63.00	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	-	-
2"	50.00	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	-	-
1 1/2"	37.50	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1 "	25.00	300	300	3.01%	3.01%	96.99%	90%	100%
3/4 "	19.00	5920	6220	59.35%	62.36%	37.64%	20%	55%
1/2 "	12.50	3550	9770	35.59%	97.94%	2.06%	0%	10%
3/8 "	9.50	200	9970	2.01%	99.95%	0.05%	0%	5%
No. 4	4.75	5	9975	0.05%	100.00%	0.00%	-	-
Bandeja		0	9975	0.00%	100.00%			
Tamaño Nominal máximo:						1"		

Realizado por: Marlon Constante

Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso para mina Erick Joel.



Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

Tabla 26. Granulometría del agregado grueso para mina Virginia, ensayo I.

Origen		Mina Virginia			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra		0.10%	
Ensayado por		Marlon Constante			Fecha Muestreo:		05/05/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		06/05/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	-	-
2"	50	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1 1/2"	37.50	65	65	0.65%	0.65%	99.35%	95%	100%
1 "	25.00	1510	1575	15.12%	15.77%	84.23%	-	-
3/4 "	19.00	1600	3175	16.02%	31.80%	68.20%	35%	70%
1/2 "	12.50	2240	5415	22.43%	54.23%	45.77%	-	-
3/8 "	9.50	2130	7545	21.33%	75.56%	24.44%	10%	30%
No. 4	4.75	2100	9645	21.03%	96.59%	3.41%	0%	5%
No. 8	2.36	100	9745	1.00%	97.60%	2.40%	-	-
Fuente		245	9990	2.45%	100.05%		-	-
Tamaño Nominal máximo:						1 1/2"		

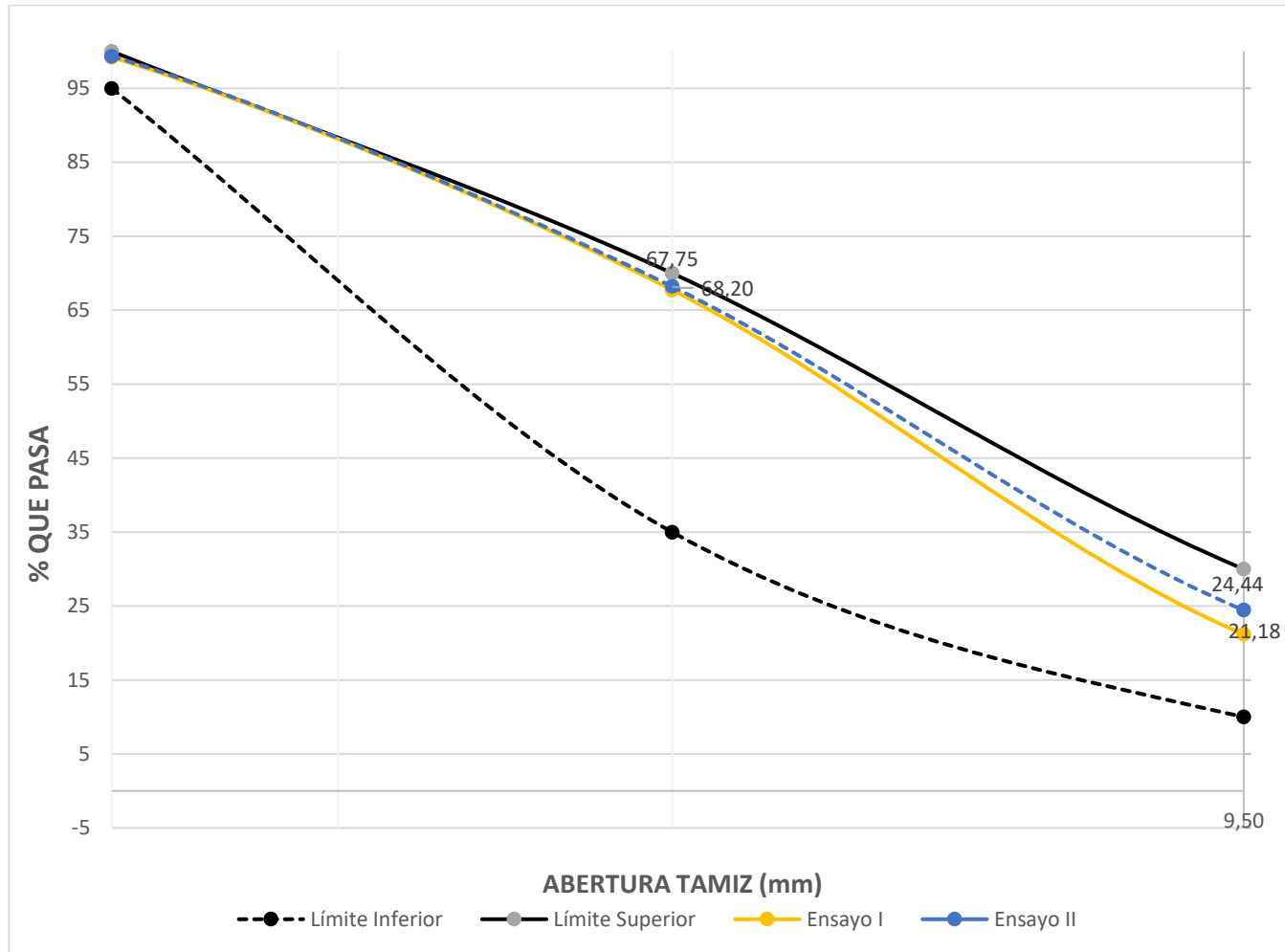
Realizado por: Marlon Constante

Tabla 27. Granulometría del agregado grueso para mina Virginia, ensayo II.

Origen		Mina Virginia			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra		0.05%	
Ensayado por		Marlon Constante			Fecha Muestreo:		05/05/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		06/05/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	-	-
2"	50	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1 1/2"	37.50	80	80	0.80%	0.80%	99.20%	95%	100%
1 "	25.00	1690	1770	16.93%	17.73%	82.27%	-	-
3/4 "	19.00	1450	3220	14.52%	32.25%	67.75%	35%	70%
1/2 "	12.50	2550	5770	25.54%	57.79%	42.21%	-	-
3/8 "	9.50	2100	7870	21.03%	78.82%	21.18%	10%	30%
No. 4	4.75	1900	9770	19.03%	97.85%	2.15%	0%	5%
No. 8	2.36	125	9895	1.25%	99.10%	0.90%	-	-
Fuente		100.00	9995	1.00%	100.10%	0.00%		
Tamaño Nominal máximo:						1 1/2"		

Realizado por: Marlon Constante

Figura 9. Curva granulométrica del agregado grueso para mina Virginia.



Realizado por: Marlon Constante

3.1.2.5. Determinación de la densidad real de los agregados.

Determinación de la densidad real del agregado fino

Mina Erick Joel

Tabla 28. Densidad real del agregado fino para mina Erick Joel, ensayo I.

Origen	Mina Erick Joel	Ensayo No.	I
Ensayado por	Marlon Constante	Fecha	09/05/2022
Norma	NTE INEN 856:2010		
Nomenclatura	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	162.19
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	655.70
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	959.16
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	303.46
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	658.81
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	496.62
DA=m6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.993
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	193.16
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	493.51
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	194.50
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.538

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 29. Densidad real del agregado fino para mina Erick Joel, ensayo II.

Origen	Mina Erick Joel	Ensayo No.	II
Ensayado por	Marlon Constante	Fecha	09/05/2022
Norma	NTE INEN 856:2010		
Nomenclatura	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	162.19
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	660.87
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	957.82
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	296.95
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	650.32
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	488.13
DA=m6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.976
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	191.18
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	498.68
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	195.8
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.547

Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

Tabla 30. Densidad real del agregado fino para mina Virginia, ensayo I.

Origen	Mina Virginia	Ensayo No.	I
Ensayado por	Marlon Constante	Fecha	09/05/2022
Norma	NTE INEN 856:2010		
Nomenclatura	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	153.44
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	652.20
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	954.16
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	301.96
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	651.39
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	497.95
DA=m6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.996
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	195.99
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	498.76
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	197
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.534

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 31. Densidad real del agregado fino para mina Virginia, ensayo II.

Origen	Mina Virginia	Ensayo No.	II
Ensayado por	Marlon Constante	Fecha	09/05/2022
Norma	NTE INEN 856:2010		
Nomenclatura	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	153.44
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	650.40
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	951.35
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	300.95
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	647.02
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	493.58
DA=m6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.987
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	192.63
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	496.96
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	195.10
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.547

Realizado por: Marlon Constante

Parámetros de control.

Tabla 32. Parámetros de control de densidad real del agregado fino.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	Mina Erick Joel	Mina Virginia	
Rango	0.01	0.012	<0.027
Desviación estándar	0.0063	0.0087	<0.0095
Coefficiente de variación (%)	0.25	0.34	-
Resultado(gr/cm³)	2.542	2.541	-

Realizado por: Marlon Constante

Determinación de la densidad real del agregado grueso.

Mina Erick Joel

Tabla 33. Densidad real del agregado grueso para mina Erick Joel, ensayo I.

Origen	Mina Erick Joel	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Marlon Constante	Fecha	10/5/2022	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Datos	Designación		Unidad	Valor
m1	Masa de la canastilla en el aire		gr	1235
m2	Masa de la canastilla en el agua		gr	1067
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire		gr	6235
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua		gr	4121
DA	Densidad real del agua		gr/cm ³	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire		gr	5000
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua		gr/cm ³	3054
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra		gr	1948.14
DR=m5/VR	Densidad Real		gr/cm ³	2.567

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 34. Densidad real del agregado grueso para mina Erick Joel, ensayo II.

Origen	Mina Erick Joel	Ensayo No.	II
Ensayado por	Marlon Constante	Fecha	10/05/2022
Norma	NTE INEN 857:2010		
Cálculo de la densidad real			
Datos	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1235
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1067
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6237
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	4123
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	5002
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm3	3056
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1948
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm3	2.568

Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

Tabla 35. Densidad real del agregado grueso para mina Virginia, ensayo I.

Origen	Mina Virginia	Ensayo No.	I
Ensayado por	Marlon Constante	Fecha	10/5/2022
Norma	NTE INEN 857:2010		
Cálculo de la densidad real			
Datos	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1235
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1060
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6220
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	4080
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4985
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm3	3020
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1967.16
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm3	2.534

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 36. Densidad real del agregado grueso para mina Virginia, ensayo II.

Origen	Mina Virginia	Ensayo No.	II
Ensayado por	Marlon Constante	Fecha	10/5/2022
Norma	NTE INEN 857:2010		
Cálculo de la densidad real			
Datos	Designación	Unidad	Valor
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1235
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1063
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6224
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	4082
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4989
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm3	3019
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1972.16
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm3	2.530

Realizado por: Marlon Constante

Parámetros de control

Tabla 37. Parámetros de control para densidad real del agregado grueso.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 857
	Mina Erick Joel	Mina Virginia	
Rango	0.001	0.004	<0.02
Desviación estándar	0.001	0.003	<0.007
Coefficiente de variación (%)	0.03	0.12	-
Resultado(gr/cm³)	2.567	2.532	-

Realizado por: Marlon Constante

3.1.2.6. Determinación de la capacidad de absorción de los agregados.

Capacidad de absorción del agregado fino

Mina Erick Joel

Tabla 38. Capacidad de absorción del agregado fino, mina Erick Joel.

Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	31.08	31.06
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	73.63	65.09
m10	Masa de la muestra SSS	gr	42.55	34.03
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	72.89	64.48
m12	Masa de la Muestra seca	gr	41.81	33.42
CA	Capacidad de absorción	%	1.77	1.83
PA	Promedio	%	1.80	

Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

Tabla 39. Capacidad de absorción del agregado fino, mina Virginia.

Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	30.1	30.7
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	85.29	89.23
m10	Masa de la muestra SSS	gr	55.19	58.53
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	84.48	88.38
m12	Masa de la Muestra seca	gr	54.38	57.68
CA	Capacidad de absorción	%	1.49	1.47
PA	Capacidad de absorción promedio	%	1.48	

Realizado por: Marlon Constante

Parámetros de control

Tabla 40. Parámetros de control para capacidad de absorción del agregado fino.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	Erick Joel	Virginia	
Rango	0.01	0.03	<0.31
Desviación estándar	0.02	0.02	<0.11
Coefficiente de variación (%)	1.33	1.67	-
Resultado (%)	1.80	1.48	-

Realizado por: Marlon Constante

Capacidad de absorción del agregado grueso

Mina Erick Joel

Tabla 41. Capacidad de absorción del agregado grueso, mina Erick Joel.

Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m7	Masa del Recipiente	gr	30.7	32.6
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	142.5	148.5
m9	Masa de la muestra SSS	gr	111.8	115.9
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	139.8	145.3
m11	Masa de la Muestra seca	gr	109.1	112.7
CA	Capacidad de absorción	%	2.47	2.84
PA	Capacidad de absorción promedio	%	2.66	

Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

Tabla 42. Capacidad de absorción del agregado grueso, mina Virginia.

Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m7	Masa del Recipiente	gr	30.8	31.7
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	164.2	163
m9	Masa de la muestra SSS	gr	133.4	131.3
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	161.02	159.68
m11	Masa de la Muestra seca	gr	130.22	127.98
CA	Capacidad de absorción	%	2.44	2.59
P2	Capacidad de absorción promedio	%	2.52	

Realizado por: Marlon Constante

Parámetros de control

Tabla 43. Parámetros de control para capacidad de absorción del agregado grueso.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 857
	Erick Joel	Virginia	
Rango	0.04	0.04	<0.31
Desviación estándar	0.02	0.03	<0.11
Coeficiente de variación (%)	0.93	1.14	-
Resultado (%)	2.66	2.52	-

Realizado por: Marlon Constante

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

Condición Suelta para mina Erick Joel

Tabla 44. Densidad aparente suelta para mina Erick Joel, ensayo I.

Origen	Mina Erick Joel		Ensayo	I
Masa del recipiente	9990 gr		Fecha muestreo	11/05/22
Ensayado por:	Marlon Constante		Fecha Ensayo	12/05/22
Volumen del recipiente(cm³):	20650 cm ³			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	37525	27535	1.333	1.337
	37655	27665	1.340	
Fino	39745	29755	1.441	1.438
	39605	29615	1.434	

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 45. Densidad aparente suelta para mina Erick Joel, ensayo II.

Origen	Mina Erick Joel		Ensayo	II
Masa del recipiente	9990 gr		Fecha muestreo	11/05/22
Ensayado por:	Marlon Constante		Fecha Ensayo	12/05/22
Volumen del recipiente(cm³):	20650 cm ³			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	37565	27575	1.335	1.338
	37654	27664	1.340	
Fino	39816	29826	1.444	1.439
	39588	29598	1.433	

Realizado por: Marlon Constante

Condición compactada para mina Erick Joel

Tabla 46. Densidad aparente compactada para mina Erick Joel, ensayo I.

Origen	Mina Erick Joel		Ensayo	I
Masa del recipiente	9990 gr		Fecha muestreo	11/05/22
Ensayado por:	Marlon Constante		Fecha Ensayo	12/05/22
Volumen del recipiente:	20650 cm ³			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	40025	30035	1.454	1.464
	40400	30410	1.473	
Fino	41425	31435	1.522	1.532
	41845	31855	1.543	

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 47. Densidad aparente compactada para mina Erick Joel, ensayo II.

Origen	Mina Erick Joel		Ensayo	II
Masa del recipiente	9990 gr		Fecha muestreo	11/05/22
Ensayado por:	Marlon Constante		Fecha Ensayo	12/05/22
Volumen del recipiente:	20650 cm ³			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	40042	30052	1.455	1.463
	40375	30385	1.471	
Fino	41441	31451	1.523	1.533
	41836	31846	1.542	

Realizado por: Marlon Constante

Condición Suelta para mina Virginia

Tabla 48. Densidad aparente suelta para mina Virginia, ensayo I.

Origen	Mina Virginia	Ensayo		I
Masa del recipiente	9990 gr	Fecha muestreo		11/05/22
Ensayado por:	Marlon Constante	Fecha Ensayo		12/05/22
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	37500	27510	1.332	1.335
	37600	27610	1.337	
Fino	41900	31910	1.545	1.543
	41800	31810	1.540	

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 49. Densidad aparente suelta para mina Virginia, ensayo II.

Origen	Mina Virginia	Ensayo		II
Masa del recipiente	9900 gr	Fecha muestreo		11/05/22
Ensayado por:	Marlon Constante	Fecha Ensayo		12/05/22
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Ensayado por:	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	37200	27210	1.318	1.320
	37300	27310	1.323	
Fino	42000	32010	1.550	1.548
	41900	31910	1.545	

Realizado por: Marlon Constante

Condición Compactada para mina Virginia

Tabla 50. Densidad aparente compactada para mina Virginia, ensayo I.

Origen	Mina Virginia	Ensayo		I
Masa del recipiente	9990 gr	Fecha muestreo		11/05/22
Ensayado por:	Marlon Constante	Fecha Ensayo		12/05/22
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	40100	30110	1.458	1.461
	40200	30210	1.463	
Fino	45100	35110	1.700	1.698
	45000	35010	1.695	

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 51. Densidad aparente compactada para mina Virginia, ensayo II.

Origen	Mina Virginia	Ensayo		II
Masa del recipiente	9990 gr	Fecha muestreo		11/05/22
Ensayado por:	Marlon Constante	Fecha Ensayo		12/05/22
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	40300	30310	1.468	1.463
	40100	30110	1.458	
Fino	44900	34910	1.691	1.693
	45000	35010	1.695	

Realizado por: Marlon Constante

Condición: mezcla de agregado fino + grueso

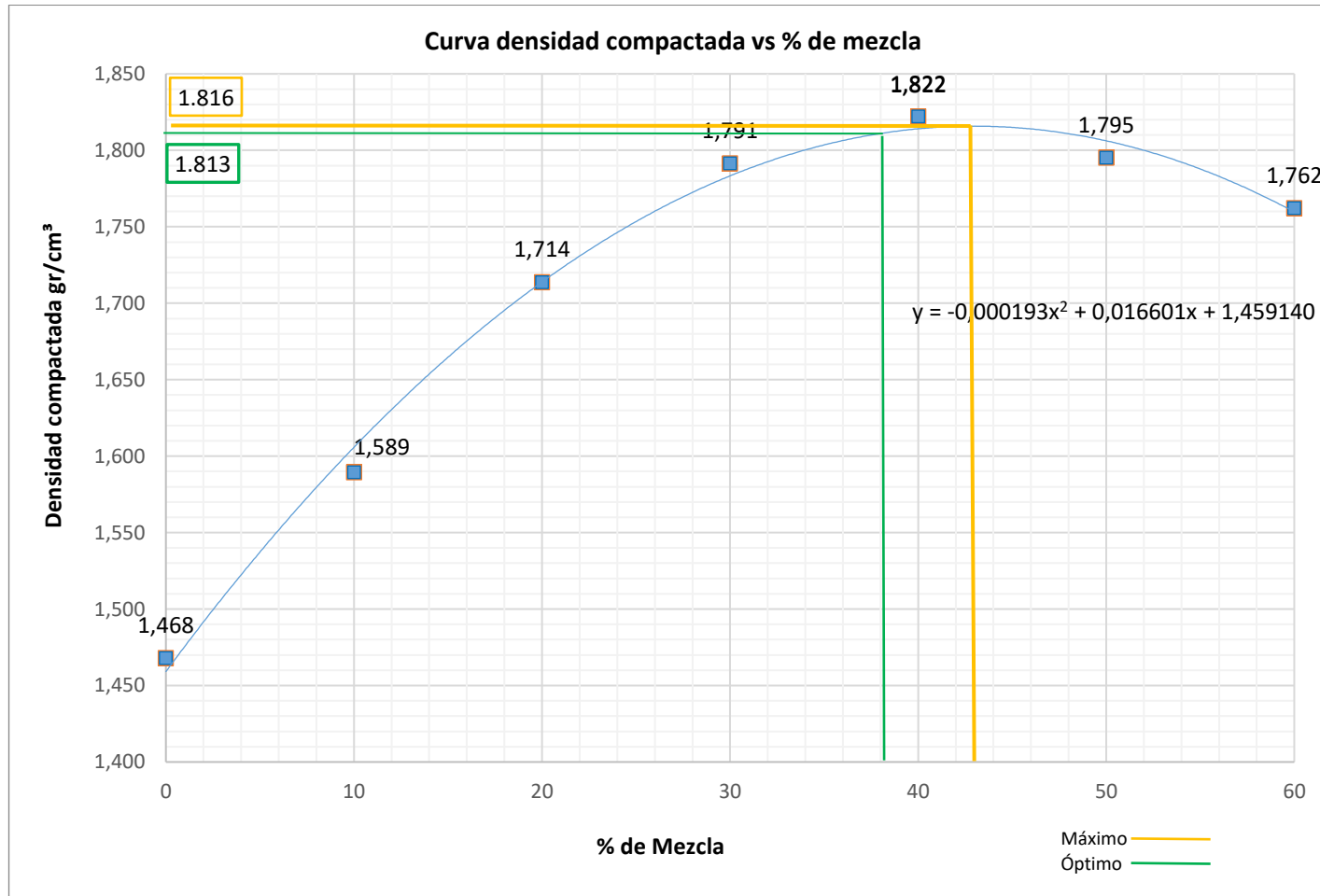
Mina Erick Joel

Tabla 52. Densidad aparente de la mezcla para mina Erick Joel

% de Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(Kg)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm ³)	DA promedio (gr/cm ³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	40400	30500	1.477	1.468
					40025	30125	1.459	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43020	33120	1.604	1.589
					42425	32525	1.575	
80	20	40000	10000	5555.56	44960	35060	1.698	1.714
					45620	35720	1.730	
70	30	40000	17142.86	7142.86	46365	36465	1.766	1.791
					47420	37520	1.817	
60	40	40000	26666.67	9523.81	47510	37610	1.821	1.822
					47545	37645	1.823	
50	50	40000	40000	13333.33	46700	36800	1.782	1.795
					47240	37340	1.808	
40	60	40000	60000	20000	46290	36390	1.762	1.762
					46290	36390	1.762	

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 53. Curva densidad compactada vs % de mezcla para mina Erick Joel.



Realizado por: Marlon Constante

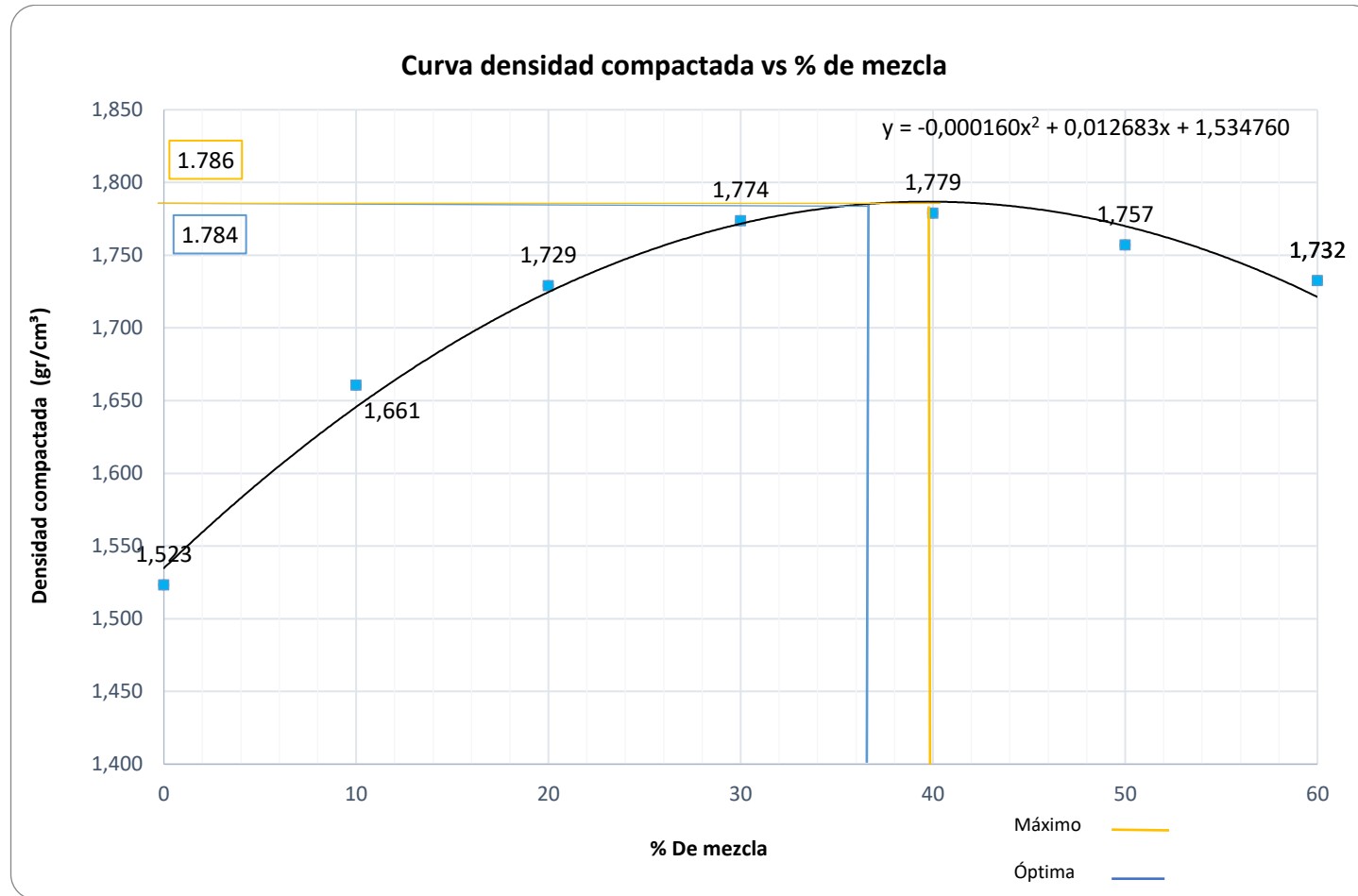
Mina Virginia

Tabla 54. Densidad aparente de la mezcla para mina Virginia.

% Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(gr)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm ³)	DA promedio (gr/cm ³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41400	31500	1.525	1.523
					41305	31405	1.521	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43990	34090	1.651	1.661
					44395	34495	1.670	
80	20	40000	10000	5555.56	45750	35850	1.736	1.729
					45455	35555	1.722	
70	30	40000	17142.86	7142.86	46860	36960	1.790	1.774
					46195	36295	1.758	
60	40	40000	26666.67	9523.81	46380	36480	1.767	1.779
					46885	36985	1.791	
50	50	40000	40000	13333.33	46190	36290	1.757	1.757
					46175	36275	1.757	
40	60	40000	60000	20000	45570	35670	1.727	1.732
					45780	35880	1.738	

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 55. Curva densidad compactada vs % de mezcla para mina Virginia.



Realizado por: Marlon Constante

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

3.1.3.1. Condiciones de diseño

Tabla 56. Condiciones de diseño

f'c(Kg/cm ²)	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento
240	0.56	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU
280	0.52	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU

Realizado por: Marlon Constante

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

3.1.3.2. Valores obtenidos en laboratorio

Mina Erick Joel

Tabla 57. Valores obtenidos para mina Erick Joel

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento	2.967	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino	2.542	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso	2.567	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino	1.438	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso	1.337	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada)	1.533	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada)	1.463	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino	39	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso	61	%
Densidad óptima de la mezcla	1.813	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena	2.8	%
Contenido de humedad del agregado fino	1.82	%
Contenido de humedad del agregado grueso	2.22	%
Capacidad de absorción del agregado fino	1.80	%
Capacidad de absorción del agregado grueso	2.67	%

Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

Tabla 58. Valores obtenidos para mina Virginia.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento	2.967	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino	2.541	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso	2.532	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino	1.545	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso	1.327	(gr/cm ³)
Densidad aparente compactada del agregado fino	1.695	(gr/cm ³)
Densidad aparente compactada del agregado grueso	1.462	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino	36	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso	64	%
Densidad óptima de la mezcla	1.784	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena	2.5	%
Contenido de humedad del agregado fino	1.489	%
Contenido de humedad del agregado grueso	1.951	%
Capacidad de absorción del agregado fino	1.49	%
Capacidad de absorción del agregado grueso	2.54	%

Realizado por: Marlon Constante

3.1.3.3. Cantidades para mezclar

Mina Erick Joel

$F'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 59. Cantidades a mezclar para 1m³ para mina Erick Joel $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Resultados para $f'c 240 \text{ Kg/cm}^2$					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	208.71	0.56	28	28	litros
C	372.70	1.00	50	1	Saco
AF	659.96	1.77	88.54	2.5	Parihuela
AG	1042.39	2.80	139.84	4	Parihuela

Realizado por: Marlon Constante

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

Tabla 60. Cantidades para mezclar para 1m^3 para mina Erick Joel $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Resultados para $f'c$ 280 Kg/cm^2 (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	202.85	0.52	26	26	litros
C	390.09	1.00	50	1	Saco
AF	659.96	1.69	84.59	2.5	Parihuela
AG	1042.39	2.67	133.61	4.0	Parihuela

Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

$$F'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$$

Tabla 61. Cantidades para mezclar para 1m^3 para mina Virginia $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Resultados para $f'c$ 240 Kg/cm^2					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	212.35	0.56	28	28	Litros
C	379.20	1.00	50	1	Saco
AF	603.50	1.59	79.58	2.0	Parihuela
AG	1069.23	2.82	140.99	3.5	Parihuela

Realizado por: Marlon Constante

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

Tabla 62. Cantidades a mezclar para 1m^3 para mina Virginia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Resultados para $f'c$ 280 Kg/cm^2 (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	206.39	0.52	26	26	Litros
C	396.89	1.00	50	1	Saco
AF	603.50	1.52	76.03	1.8	Parihuela
AG	1069.23	2.69	134.70	3.8	Parihuela

Realizado por: Marlon Constante

3.1.4. Elaboración de probetas

3.1.4.1. Para fase de prueba

Se elaboraron probetas para ser ensayadas a los 7 y 14 días de edad, con esto se puede verificar que la dosificación obtenida es adecuada. Las tablas 63 y 64 muestran el esfuerzo alcanzado después del ensayo a compresión para cada una de las minas.

Determinación de la resistencia a la compresión de los cilindros de prueba.

Mina Erick Joel

Tabla 63. Resultados obtenidos a los 7 y 14 días para mina Erick Joel.

Mina			Erick Joel							
Ensayado por			Marlon Constante							
Normativa			NTE INEN 1573:2010							
COD	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros				Resultados obtenidos		
				#	ϕ (cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio
EJ24	7	5/15/2022	5/22/2022	1	10.15	20.05	3.70	129	16.0	15.9
EJ24	7			2	10.05	20.05	3.59	124	15.6	
EJ24	7			3	9.95	19.95	3.49	124	16.0	
EJ28	7		5/22/2022	1	10.30	19.90	3.55	157	18.9	18.8
EJ28	7			2	10.00	20.00	3.51	149	19.0	
EJ28	7			3	10.00	20.00	3.54	145	18.5	
EJ24	14	5/15/2022	5/29/2022	1	10.00	20.05	3.50	156	19.8	19.6
EJ24	14			2	10.00	19.95	3.61	155	19.7	
EJ24	14			3	10.05	19.90	3.47	152	19.2	
EJ28	14		5/30/2022	1	10.05	20.10	3.52	178	22.5	22.8
EJ28	14			2	10.15	20.00	3.75	185	22.9	
EJ28	14			3	10.15	20.05	3.78	186	23.0	

Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

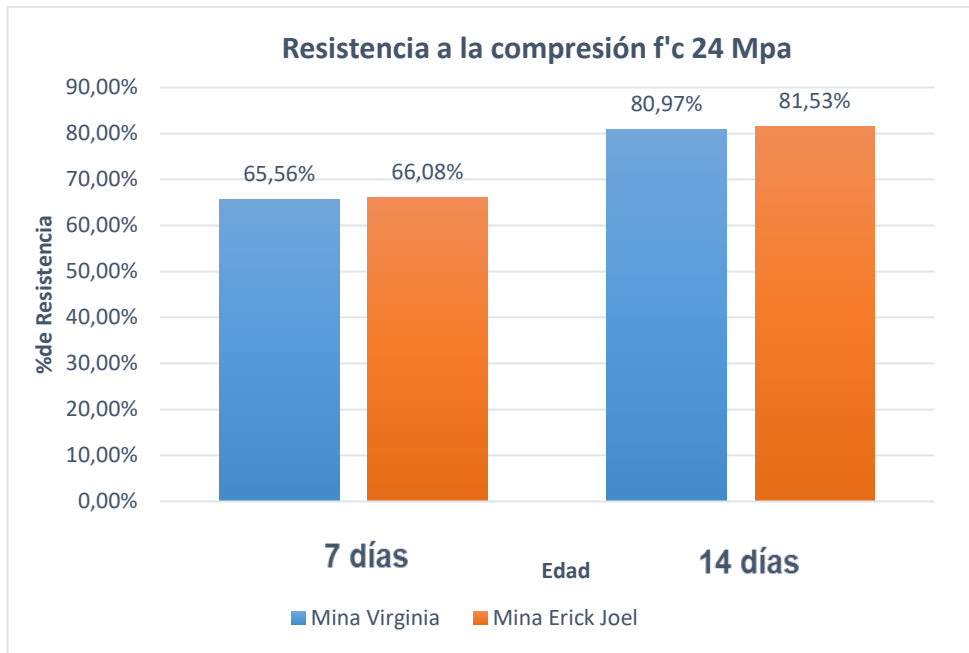
Tabla 64. Resultados obtenidos a los 7 y 14 días para mina Virginia.

Mina			Mina Virginia							
Ensayado por			Marlon Constante							
Normativa			NTE INEN 1573:2010							
COD	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros				Resultados obtenidos		
				#	ϕ (cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio
V24	7	5/15/2022	5/22/2022	1	10.10	20.10	3.68	127	15.8	15.7
V24	7			2	10.15	19.95	3.58	128	15.8	
V24	7			3	10.00	20.00	3.70	123	15.6	
V28	7		5/22/2022	1	10.05	20.00	3.59	144	18.2	18.5
V28	7			2	9.95	20.00	3.55	142	18.3	
V28	7			3	10.00	19.95	3.75	148	18.9	
V24	14	5/15/2022	5/29/2022	1	10.10	20.10	3.55	155	19.3	19.4
V24	14			2	10.15	20.20	3.80	159	19.6	
V24	14			3	10.05	20.05	3.61	154	19.4	
V28	14		5/29/2022	1	10.15	20.10	3.72	183	22.6	22.7
V28	14			2	10.20	20.00	3.60	188	23.0	
V28	14			3	10.10	20.00	3.58	180	22.5	

Realizado por: Marlon Constante

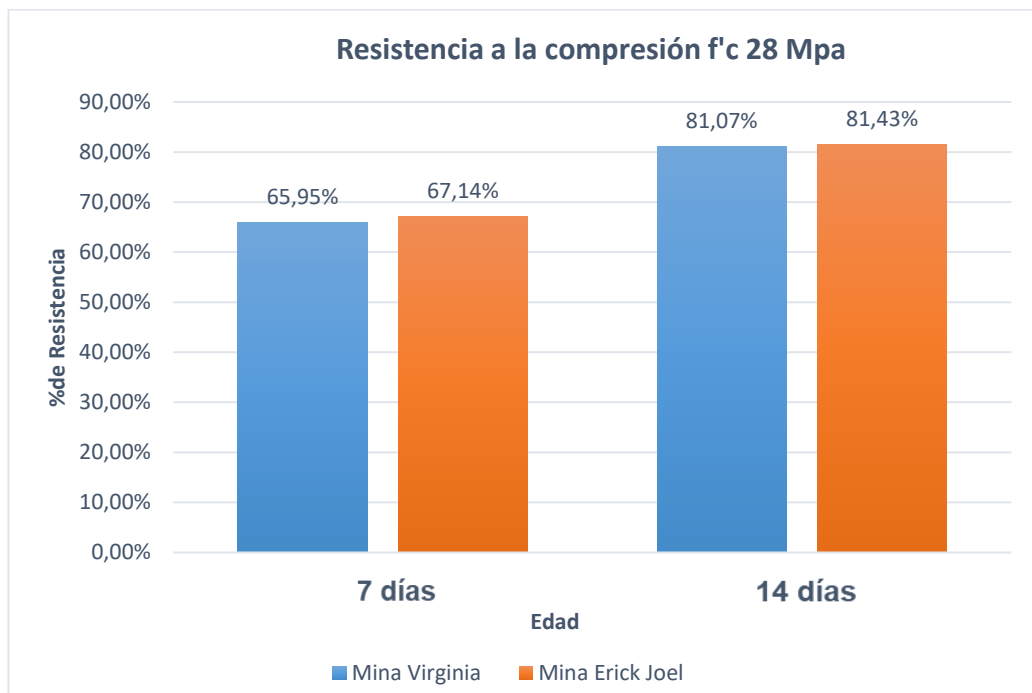
Porcentaje de resistencia alcanzado

Figura 10. Porcentaje de resistencia alcanzado para $f'c$ 24 Mpa.



Realizado por: Marlon Constante

Figura 11. Porcentaje de resistencia alcanzado para $f'c$ 28 Mpa.



Realizado por: Marlon Constante

3.1.4.2. Para fase final

Ensayos realizados en el hormigón en estado fresco.

Mina Erick Joel

Tabla 65. Ensayos en estado fresco para mina Erick Joel

Origen	Mina Erick Joel					
Ensayado por	Marlon Constante					
Norma	NTE INEN 1579:2013					
Dato	Resistencia					
	EJ24-1	EJ24-2	EJ24-3	EJ28-1	EJ28-2	EJ28-3
Fecha Elaboración	15/06/2022			15/06/2022		
Hora Elaboración	14h00			14h00		
Densidad teórica (Kg/m ³)	2283.750			2295.290		
Peso (Kg)	3.75	3.70	3.74	3.71	3.69	3.65
Volumen Molde(m ³)	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Densidad H. fresco experimental (Kg/m ³)	2387.33	2355.5	2380.9 6	2361.86	2349.13	2323.6 6
Densidad promedio	2374.594			2344.885		
Asentamiento(cm)	8.4	8	7.8	8	8.5	8
Consistencia	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Homogeneidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Contenido de aire (%)	3.98			2.16		
Rendimiento Relativo	1.0			1.0		

Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

Tabla 66. Ensayos en estado fresco para mina Virginia

Origen	Mina Virginia					
Ensayado por	Marlon Constante					
Norma	NTE INEN 1579:2013					
Dato	Resistencia					
	V24-1	V24-2	V24-3	V28-1	V28-2	V28-3
Fecha de elaboración	16/06/2022			16/06/2022		
Hora de elaboración	14h00			14h00		
Densidad teórica (Kg/m ³)	2264.270			2276.000		
Peso(Kg)	3.60	3.75	3.85	3.60	3.68	3.75
Volumen Molde(m ³)	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Densidad H. fresco experimental (Kg/m ³)	2291.83	2387.33	2450.99	2290.56	2342.76	2387.33
Densidad promedio	2376.716			2340.216		
Asentamiento(cm)	8.5	7.5	7.8	7.2	8.5	8.2
Consistencia	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
Trabajabilidad	Regular	Buena	Buena	Regular	Buena	Buena
Homogeneidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Contenido de aire (%)	4.97			2.82		
Rendimiento Relativo	1.000			1.000		

Realizado por: Marlon Constante

Ensayos realizados en el hormigón endurecido.

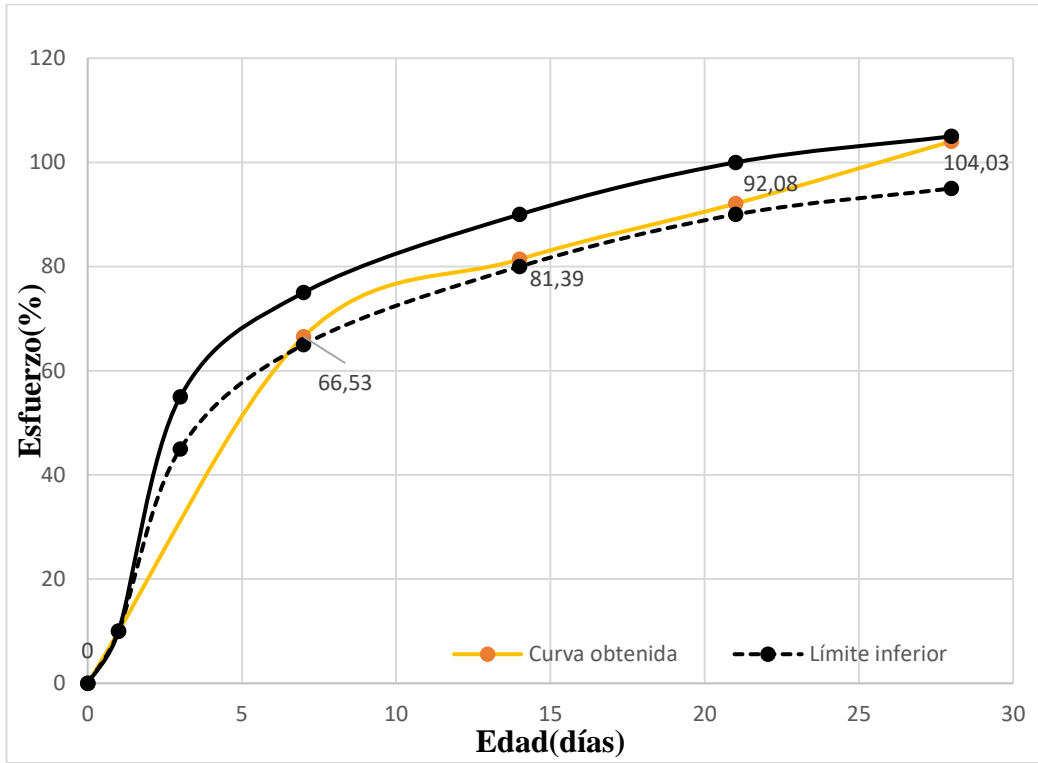
Determinación de la resistencia a la compresión

Tabla 67. Resistencia a la compresión obtenida para mina Erick Joel

Mina			Erick Joel							
Ensayado por			Marlon Constante							
Normativa			NTE INEN 1573:2010							
COD	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados de ensayo			
				#	Φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio
EJ24	7	6/15/2022	6/22/2022	1	10.05	20.05	3.61	125	15.80	15.97
EJ24	7			2	10.00	20.00	3.47	126	16.00	
EJ24	7			3	10.15	19.90	3.52	130	16.10	
EJ24	14	6/15/2022	6/29/2022	1	10.05	20.00	3.59	155	19.60	19.53
EJ24	14			2	9.95	20.00	3.49	152	19.60	
EJ24	14			3	10.30	20.05	3.55	162	19.40	
EJ24	21	6/15/2022	7/6/2022	1	10.00	1.95	3.51	176	22.40	22.10
EJ24	21			2	10.00	19.90	3.54	174	22.10	
EJ24	21			3	10.00	20.10	3.50	171	21.80	
EJ24	28	6/15/2022	7/13/2022	1	10.00	20.00	3.55	196	24.90	24.97
EJ24	28			2	10.05	20.05	3.47	204	25.70	
EJ24	28			3	10.15	20.00	3.52	197	24.30	
EJ28	7	6/15/2022	6/22/2022	1	10.05	20.10	3.50	148	18.60	18.63
EJ28	7			2	9.95	20.10	3.55	145	18.70	
EJ28	7			3	10.30	20.15	3.49	155	18.60	
EJ28	14	6/15/2022	6/29/2022	1	10.00	20.00	3.52	180	22.90	23.27
EJ28	14			2	10.00	20.00	3.59	187	23.80	
EJ28	14			3	10.00	20.00	3.49	181	23.10	
EJ28	21	6/15/2022	7/6/2022	1	10.00	19.95	3.65	203	25.80	26.00
EJ28	21			2	10.20	20.10	3.51	211	25.80	
EJ28	21			3	10.05	20.20	3.54	209	26.40	
EJ28	28	6/15/2022	7/13/2022	1	10.15	20.05	3.50	235	29.00	28.87
EJ28	28			2	10.15	20.10	3.61	231	28.70	
EJ28	28			3	9.95	20.00	3.47	218	28.90	

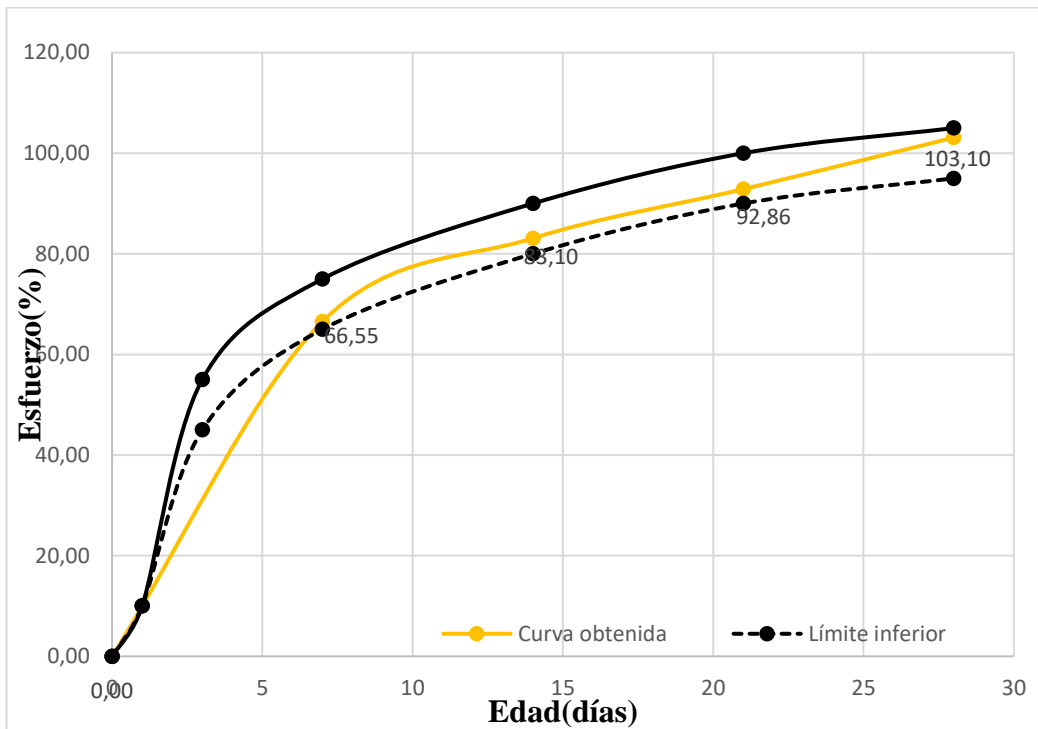
Realizado por: Marlon Constante

Figura 12. Curva edad vs Esfuerzo para mina Erick Joel $f'c = 24 \text{ Mpa}$



Realizado por: Marlon Constante

Figura 13. Curva edad vs Esfuerzo para mina Erick Joel $f'c = 28 \text{ Mpa}$



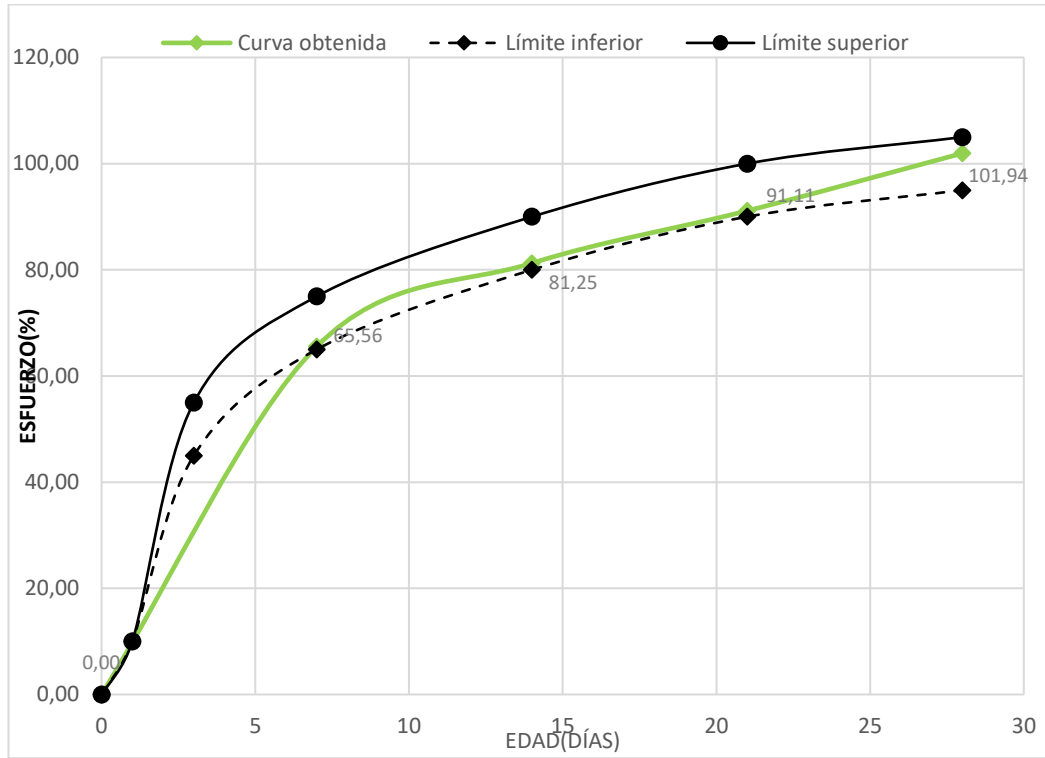
Realizado por: Marlon Constante

Tabla 68. Resistencia a la compresión obtenida para mina Virginia.

Mina		Virginia								
Ensayado por		Marlon Constante								
Normativa		NTE INEN 1573:2010								
COD	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados de ensayo			
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio
V24	7	6/16/2022	6/23/2022	1	10.05	20.00	3.47	125	15.70	15.73
V24	7			2	10.25	19.95	3.62	131	15.90	
V24	7			3	10.30	20.00	3.50	130	15.60	
V24	14	6/16/2022	6/30/2022	1	10.00	20.00	3.55	151	19.20	19.50
V24	14			2	10.00	20.00	3.49	155	19.70	
V24	14			3	10.10	20.00	3.52	157	19.60	
V24	21	6/16/2022	7/7/2022	1	10.00	19.95	3.59	173	22.00	21.87
V24	21			2	10.20	20.10	3.49	177	21.70	
V24	21			3	10.05	20.20	3.65	174	21.90	
V24	28	6/16/2022	7/14/2022	1	10.15	20.05	3.51	198	24.50	24.47
V24	28			2	10.00	20.10	3.53	192	24.50	
V24	28			3	10.00	20.00	3.51	192	24.40	
V28	7	6/16/2022	6/23/2022	1	10.05	20.00	3.87	147	18.50	18.50
V28	7			2	9.95	20.00	3.86	146	18.80	
V28	7			3	10.30	20.00	3.47	152	18.20	
V28	14	6/16/2022	6/30/2022	1	10.00	20.20	3.52	179	22.80	22.77
V28	14			2	10.00	20.00	3.59	178	22.60	
V28	14			3	10.00	19.95	3.55	180	22.90	
V28	21	6/16/2022	7/7/2022	1	9.90	20.10	3.49	194	25.20	25.70
V28	21			2	10.20	20.20	3.49	212	25.90	
V28	21			3	10.05	20.05	3.59	206	26.00	
V28	28	6/16/2022	7/14/2022	1	10.15	20.10	3.49	235	29.00	28.57
V28	28			2	10.00	20.00	3.65	225	28.60	
V28	28			3	10.00	20.00	3.51	227	28.10	

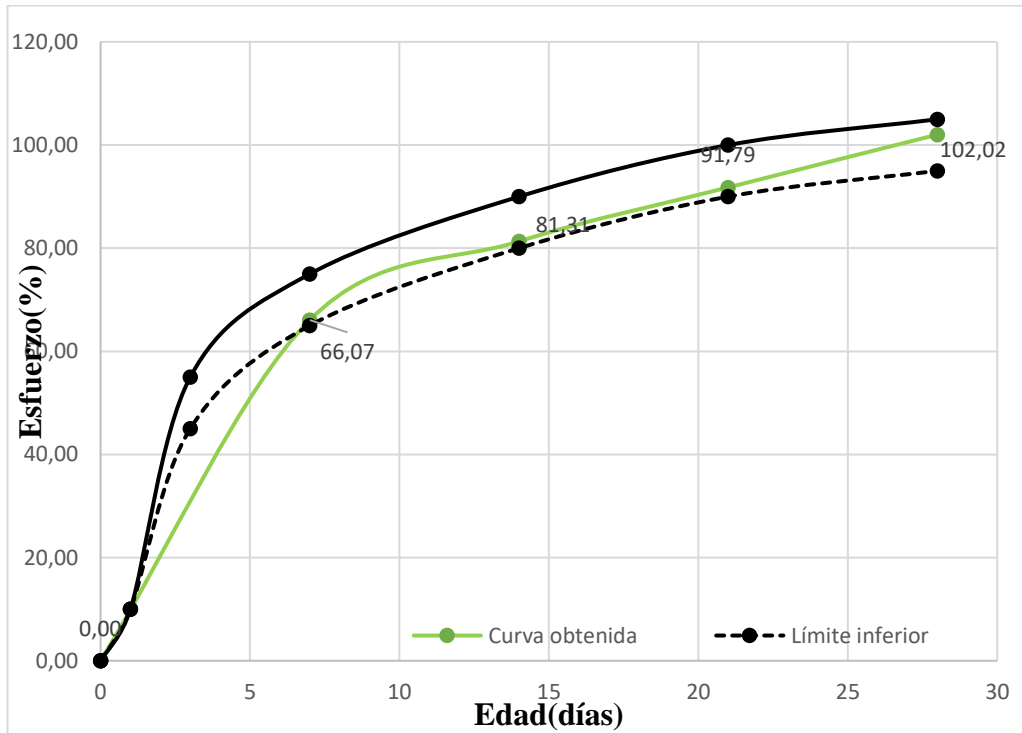
Realizado por: Marlon Constante

Figura 14. Curva edad vs Esfuerzo para mina Virginia $f'c = 24$ Mpa.



Realizado por: Marlon Constante

Figura 15. Curva edad vs Esfuerzo para mina Virginia $f'c = 28$ Mpa.



Realizado por: Marlon Constante

3.1.5. Determinación del módulo de elasticidad del hormigón.

Mina Erick Joel

Tabla 69. Valores obtenidos del MEE para Mina Erick Joel $f'_c = 24\text{Mpa}$

Código			EJ24			Norma:	ASTM C-469
Fecha de elaboración:			6/15/2022			Fecha Ensayo	7/13/2022
Edad:			28 días			e1	0.00005
Resistencia obtenida(Mpa):			24.97			S2(Mpa):	9.987
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m ³	MEE (Mpa)
	Ø (cm)	h (cm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
1M	10.05	20.05	3.832	1.43162	47.20	2395.00	20272.6
2M	10	20	3.822	1.48926	46.72	2388.75	20367.7
3M	10.15	19.9	3.855	1.48818	46.67	2409.38	20394.7
4M	10.05	20	3.813	1.51651	47.89	2383.13	19748.6
5M	9.95	20	3.922	1.52567	46.92	2451.25	20185.6
6M	10.3	20.05	3.805	1.46158	47.80	2378.13	19918.4
7M	10	1.95	3.821	1.41186	48.34	2388.13	19785.0
8M	10	19.9	3.812	1.49154	45.80	2382.50	20820.2
9M	10	20.1	3.895	1.51963	45.91	2434.38	20696.7
Parámetros de control			Rango			73.1	1071.6
			Desviación estándar			25.6	377.7
			Coeficiente de variación			1%	1.87%
			Promedio			2401.2	20243.3
			Mediana			2388.75	20272.63

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 70. Valores obtenidos del MEE para Mina Erick Joel $f'c = 28\text{Mpa}$

Código		EJ28		Norma:	ASTM C-469		
Fecha de elaboración:		6/15/2022		Fecha Ensayo	7/13/2022		
Edad:		28 días		e1	0.00005		
Resistencia obtenida (Mpa):		28.87		S2(Mpa):	11.55		
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m ³	MEE (Mpa)
	Ø (cm)	h (cm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
10M	10.05	20.1	3.772	1.36918	52.16	2357.50	21580.8
11M	9.95	20.1	3.822	1.39056	51.62	2388.75	21783.9
12M	10.3	20.15	3.895	1.37835	52.22	2434.38	21533.9
13M	10	20	3.883	1.39654	51.73	2426.88	21718.9
14M	10	20	3.872	1.40222	51.10	2420.00	22005.6
15M	10	20	3.861	1.41271	52.19	2413.13	21473.0
16M	10	19.95	3.821	1.44579	51.39	2388.13	21773.2
17M	10.2	20.1	3.762	1.38888	51.84	2351.25	21686.1
18M	10.05	20.2	3.754	1.38196	50.93	2346.25	22128.9
Parámetros de control				Rango		88.1	656.0
				Desviación estándar		33.9	246.6
				Coeficiente de variación		1%	1%
				Promedio		2391.8	21740.2
				Mediana		2388.75	21686.15

Realizado por: Marlon Constante

Mina Virginia

Tabla 71. Valores obtenidos del MEE para Mina Virginia $f'c= 24Mpa$

Código		V24		Norma:	ASTM C 469		
Fecha de elaboración:		6/16/2022		Fecha Ensayo	7/14/2022		
Edad:		28 días		e1	0.00005		
Resistencia obtenida (Mpa):		24.47		S2(Mpa):	9.787		
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m ³	MEE (Mpa)
	Ø (cm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
1M	10.05	20.00	3.74	1.45301	45.38	2338.75	20638.1
2M	10.25	19.95	3.72	1.48617	49.00	2326.25	18864.8
3M	10.30	20.00	3.76	1.40867	46.50	2346.88	20188.0
4M	10.00	20.00	3.88	1.38682	47.30	2426.88	19857.8
5M	10.00	20.00	3.68	1.31953	45.80	2301.25	20752.8
6M	10.10	20.00	3.69	1.35245	48.92	2307.50	19203.6
7M	10.00	19.95	3.72	1.29242	49.83	2325.63	18947.7
8M	10.20	20.10	3.76	1.35232	47.20	2351.25	19986.6
9M	10.05	20.20	3.75	1.39261	46.50	2346.25	20226.6
Parámetros de control			Rango		125.6	1888.0	
			Desviación estándar		36.6	699.4	
			Coeficiente de variación		2%	4%	
			Promedio		2341.2	19851.8	
			Mediana		2338.75	19986.61	

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 72. Valores obtenidos del MEE para Mina Virginia $f'c= 28\text{Mpa}$.

Código				V28		Norma:	ASTM C-469
Fecha de elaboración:				6/16/2022		Fecha Ensayo	7/14/2022
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 x10⁻⁵		
10M	10.05	20.00	3.712	1.35233	53.16	2320.00	20918.5
11M	9.95	20.00	3.722	1.31210	51.42	2326.25	21788.3
12M	10.30	20.00	3.755	1.30346	51.22	2346.88	21902.2
13M	10.00	20.20	3.683	1.35867	52.23	2301.88	21315.1
14M	10.00	20.00	3.792	1.28715	50.99	2370.00	22045.3
15M	10.00	19.95	3.812	1.38041	52.19	2382.50	21287.1
16M	9.90	20.10	3.721	1.39917	51.00	2325.63	21798.9
17M	10.20	20.20	3.803	1.38097	53.87	2376.88	20554.3
18M	10.05	20.05	3.754	1.42408	50.93	2346.25	21776.0
Parámetros de control				Rango		80.6	1491.0
				Desviación estándar		28.0	502.3
				Coefficiente de variación		1%	2%
				Promedio		2344.0	21487.3
				Mediana		2346.25	21775.99

Realizado por: Marlon Constante

Cálculos Típicos

Datos:

$$S_2 = 11.427 \text{ Mpa}$$

$$S_1 = 1.424 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_2 = 0.0005093$$

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

$$E = \frac{(11.427 - 1.42408)}{(0.0005093 - 0.000050)}$$

$$E = 21776 \text{ Mpa}$$

En dónde:

E = Módulo de elasticidad secante, en Mpa

S_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal ε_1 , de las 50 millonésimas, en Mpa.

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

ε_2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S_2 .

Nota: Para el desarrollo del ejemplo de un cálculo típico, se seleccionó una probeta al azar, la probeta 18M, corresponde a la mina Virginia $f_c = 28 \text{ Mpa}$, cuyos datos se muestran en la tabla 72.

Factores locales Ka y Kb

Las tablas 73 y 74 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/m³

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

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

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

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

(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/m³.

Tabla 73. Factores locales K_a y k_b para mina Erick Joel

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para E_c en Mpa		Para E_c en Kg/cm ²	
		K_a	K_b	K_a	K_b
Erick Joel	EJ24	0.034	4051.4	0.110	12937.2
	EJ28	0.035	4046.4	0.110	12921.3
Parámetros de control	Rango	0.000	5.0	0.001	15.9
	Desv. estándar	0.000	3.53	0.000	11.3
	Coef Variación	0.3%	0.09%	0.33%	0.09%
	Mediana	0.035	4048.9	0.110	12929
	Promedio	0.035	4048.9	0.110	12929

Realizado por: Marlon Constante

Tabla 74. Factores locales K_a y k_b para mina Virginia.

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para E_c en Mpa		Para E_c en Kg/cm ²	
		K_a	K_b	K_a	K_b
Virginia	V24	0.0354	4013.4	0.113	12816.0
	V28	0.0354	4020.2	0.113	12837.9
Parámetros de control	Rango	0.000	6.8	0.000	21.9
	Desv. estándar	0.000	4.84	0.000	15.5
	Coef Variación	0.0%	0.12%	0.01%	0.12%
	Mediana	0.035	4016.8	0.113	12827
	Promedio	0.035	4016.8	0.113	12827

Realizado por: Marlon Constante

3.1.5.1. Análisis del módulo de elasticidad del hormigón

La tabla 75 muestra la comparación de los valores de módulo de elasticidad obtenidos tanto de forma teórica mediante ACI y de forma experimental mediante ASTM C469.

Tabla 75. Comparación método teórico vs método experimental.

Asignación		MEE Experimental ASTM C469			MEE Teórico ACI 318-14			
Mina	Código	Resistencia (Mpa)	Densidad (Kg/m ³)	MEE (Mpa)	(a) wc entre 1440 y 2560 Kg/m ³	% de variación	(b) Concreto de peso normal	% de variación
Erick Joel	EJ24	24.97	2401.18	20243.3	25280.5	20%	23484.3	14%
	EJ28	28.87	2391.81	21740.2	27024.4	20%	25252.0	14%
Virginia	V24	24.47	2341.18	19851.8	24094.0	18%	23248.0	15%
	V28	28.57	2344.03	21487.3	26082.1	18%	25120.5	14%

Realizado por: Marlon Constante

Valores propuestos

Tabla 76. Constante para el cálculo del MEE

Mina	(a) $E_c = w_c^{1.5} * k_a * \sqrt{f'_c}$		(b) $E_c = k_b * \sqrt{f'_c}$	
	Factor k_a		Factor k_b	
	Mpa	Kg/cm ²	Mpa	Kg/cm ²
Erick Joel	0.0345	0.1102	4049	12900
Virginia	0.0354	0.1131	4017	12800

Realizado por: Marlon Constante

Verificación de la hipótesis

La tabla 75 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 15%.

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

- La densidad real del agregado fino, determinada mediante ensayos de laboratorio sujetos a la normativa INEN 858, arrojó respectivamente valores de 2.542 y 2.541 gr/cm³ para las minas Erick Joel y Virginia.
- La densidad real del agregado grueso, determinada mediante ensayos de laboratorio sujetos a la normativa INEN 858, arrojó respectivamente valores de 2.567 y 2.532 gr/cm³ para las minas Erick Joel y Virginia.
- Se verificó, mediante ensayos de laboratorio, gobernados por la normativa INEN 696, que la granulometría de los agregados grueso y fino de las minas Erick Joel y Virginia ofrecen resultados acordes a las exigencias técnicas para ser calificados como aptos para ser empleados en la fabricación de hormigón. Los resultados obtenidos, sin embargo, permiten calificar a los agregados de la mina Erick Joel como áridos de mejor calidad que los de la mina Virginia, al ofrecer partículas mejor gradadas y con densidades superiores.
- Se obtuvo, para la mina Erick Joel, porcentajes óptimos de agregado fino y grueso de 39% y 61% respectivamente, que permitirán obtener a su vez una densidad óptima para la mezcla de hormigón.
- Se obtuvo, para la mina Virginia, porcentajes óptimos de agregado fino y grueso de 36% y 64% respectivamente, que permitirán obtener a su vez una densidad óptima para la mezcla de hormigón.
- Se desarrolló con éxito mediante el método de la densidad óptima, dosificaciones apropiadas para 240 y 280 Kg/cm², acorde a las características de los agregados de las minas Erick Joel y Virginia, demostrando la decisiva

influencia de las propiedades físicas y mecánicas los áridos en la resistencia final del hormigón endurecido.

- Se propone, para la mina Erick Joel, los valores de $k_a=0.1102$ reemplazable en la ecuación $E_c = w c^{1.5} * k_a * \sqrt{f'c} (Kg/cm^2)$ y $k_b=12900$, para la ecuación $E_c = k_b * \sqrt{f'c} (Kg/cm^2)$, mismos que difieren a los valores propuestos por ACI, pero que reflejarán con mayor exactitud el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón en nuestro medio.
- Se propone, para la mina Virginia, los valores de $k_a=0.1131$ reemplazable en la ecuación $E_c = w c^{1.5} * k_a * \sqrt{f'c} (Kg/cm^2)$ y $k_b=12800$, para la ecuación $E_c = k_b * \sqrt{f'c} (Kg/cm^2)$, mismos que difieren a los valores propuestos por ACI, pero que reflejarán con mayor exactitud el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón en nuestro medio.
- Se concluye que, los factores propuestos por ACI para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, aunque sí son aplicables, no reflejan con precisión la realidad de nuestro medio. El factor $k_b=15100$ de la ecuación de ACI $E_c = 15100 * \sqrt{f'c} (Kg/cm^2)$, y que es el más empleado, es también superior a los valores de las minas La Playa (13600), Salvador (13200), Isabel (13300), Trópico de Capricornio (14200), Ramírez (14239), Las Peñas (12938), entre otros, que fueron determinados con anterioridad en trabajos experimentales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda aplicar el método de la densidad óptima por sobre el método propuesto por ACI, para dosificar mezclas, pues este resulta más simple y acorde a las posibilidades de los laboratorios locales.
- Es importante realizar los ensayos para la determinación del módulo de elasticidad estático, a los 28 días conforme la norma ASTM 496-02, pues a esta edad se estima se alcanzará la resistencia de diseño. Una diferencia considerable de tiempo podría afectar los resultados.
- Se recomienda iniciar el proceso de curado lo más pronto posible, evitando que el hormigón pierda agua en ningún momento pues esto podría interrumpir la reacción química del cemento con el agua y afectar el máximo de resistencia potencial del hormigón.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. Gonzáles y F. Robles, Aspectos fundamentales del concreto reforzado, México D.F.: LIMUSA S.A., 2016.
- [2] UNAM, Manual de Tecnología del concreto., México: LIMUSA S.A., 1997.
- [3] S. A. Domínguez Villapudua, «Academia,» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/30005222/HORMIGONES._INGENIERIA_DE_EDIFICACION. [Último acceso: 12 07 2022].
- [4] J. C. McCormac y R. H. Brown, Diseño de concreto reforzado, México: Alfaomega, 2011.
- [5] S. Medina, *Hormigón*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [6] Escuela de Ingeniería Técnica Civil, 2007. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Focw.bib.upct.es%2Fpluginfile.php%2F6203%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2FHormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf&clen=346779&chunk=true. [Último acceso: 02 12 2021].
- [7] Structuralia, «Structuralia,» 21 01 2022. [En línea]. Available: <https://blog.structuralia.com/consistencia-del-hormigon#:~:text=La%20consistencia%20del%20hormig%C3%B3n%20se,agua%20que%20contenga%20la%20masa..> [Último acceso: 15 07 2022].
- [8] INECYC y APRHOEC, *El manual de Pepe Hormigón - Consejos prácticos sobre el hormigón*, Quito, 2007.
- [9] K. Andrade y K. Flores, «Propiedades físico-mecánicas del hormigón al complementar la mezcla con el compuesto del residuo factor de craqueo catalítico,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2016.
- [10] Construmática, «Construmática,» 09 01 2012. [En línea]. Available: https://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n:_Propiedades. [Último acceso: 04 12 2021].
- [11] Konkretes S.A.S, «Konkretes S.A.S Obras para toda la vida,» [En línea]. Available: <https://konkretes.com/concreto/peso-especifico-concreto/>. [Último acceso: 15 07 2022].
- [12] ACEROS AREQUIPA, «Construyendo seguro,» [En línea]. Available: <https://www.construyendoseguro.com/la-resistencia-mecanica-del-concreto/#:~:text=La%20resistencia%20mec%C3%A1nica%20del%20concreto%20es%20la%20propiedad%20que%20hace,con%20materiales%20de%20calidad!..> [Último acceso: 15 07 2022].

- [13 BECOSAN, «BECOSAN,» 21 07 2021. [En línea]. Available:
] https://www.becosan.com/es/durabilidad-del-hormigon/#Que_es_la_durabilidad_del_hormigon. [Último acceso: 15 07 2022].
- [14 J. Cintas, J. Montes y F. Cuevas, Ciencia e Ingeniería de los materiales, Madrid:
] Ediciones Paraninfo, 2014.
- [15 Instituto Mexicano del cemento y del concreto AC, «Determinación del módulo
] de elasticidad estático y relación de Poisson,» México, 2009.
- [16 A. Yancha, «Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su
] resistencia a la compresión ($f'_c=28$ MPa), fabricado con materiales de la mina San Ram[on, ubicada en la parroquia de Mulaló en la provincia de Cotopaxi y cemento Chimborazo.,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2013.
- [17 Instituto de Cemento Portland Argentino, «Instituto de Cemento Portland
] Argentino,» [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://web1.icpa.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/ICPA-FT-001.pdf>. [Último acceso: 12 07 2022].
- [18 M. Mastropietro, El hormigón para arquitectos, Bogotá: Ediciones de la U,
] 2019.
- [19 RUBIBLOG, «RUBIBLOG,» 24 05 2022. [En línea]. Available:
] <https://www.rubi.com/es/blog/cemento-portland-que-es/>. [Último acceso: 12 07 2022].
- [20 J. A. Polanco Madrazo, D. S. Cavia y C. T. García, «Open Course Ware,» [En
] línea]. Available:
<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/280/course/section/205/Leccion9b.pdf>.
[Último acceso: 19 11 2021].
- [21 G. A. Rivera, «Civilgeeks.com,» 28 08 2014. [En línea]. Available:
] <https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>. [Último acceso: 25 11 2021].
- [22 CEMEX, «CEMEX,» 19 06 2019. [En línea]. Available:
] <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>. [Último acceso: 12 07 2022].
- [23 ACEROS AREQUIPA, «Construyendo seguro,» [En línea]. Available:
] <https://www.construyendoseguro.com/conoce-los-diversos-tipos-de-cemento-usados-en-la-construccion/>. [Último acceso: 12 07 2022].
- [24 CEMENTOS TEQUENDAMA, «CEMENTOS TEQUENDAMA,» 10 09 2019.
] [En línea]. Available: <https://cetesa.com.co/blog/cuales-son-las-propiedades-del-cemento-2/>. [Último acceso: 13 07 2022].

- [25 R. Agromayor, C. Álvarez, A. Bernal, D. Baleato y S. Regueira, «Cementos y Hormigones,» 23 10 2012. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/cemyhor/el-cemento-portland-componentes/propiedades-fisicas-y-quimicas-del-cemento-portland>. [Último acceso: 12 07 2022].
- [26 Cursos Online Web, «Cursos Online Web,» [En línea]. Available: <https://cursosonlineweb.com/cemento-tipos-y-usos.html>. [Último acceso: 13 07 2022].
- [27 Y. Maldonado, «GEOLOGIAWEB,» 01 01 2018. [En línea]. Available: https://geologiaweb.com/materiales/cemento-portland/#Composicion_y_propiedades_quimicas. [Último acceso: 13 07 2022].
- [28 «DOCUMENT.SITE,» 18 04 2018. [En línea]. Available: https://documen.site/download/agregados-para-concreto_pdf. [Último acceso: 14 07 2022].
- [29 M. Morales y K. Martínez, «Slideshare,» 22 08 2012. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/moralesgaloc/reaccin-lcali-agregado-en-el-concreto>. [Último acceso: 14 07 2022].
- [30 F. Aguirre, O. Rojas, J. Calle y Á. Moscoso, «Consideraciones sobre la dosificación experimental de hormigones en base a materiales característicos de Cochabamba,» *I3*, vol. 1, n° 13, p. 16, Investigación y Desarrollo.
- [31 J. Mario, «Ingevil,» 7 10 2008. [En línea]. Available: <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html#:~:text=La%20densidad%20aparente%20del%20agregado,seg%C3%BAn%20la%20roca%20de%20origen..> [Último acceso: 29 11 2021].
- [32 A. Martínez Nieto, «Slideshare,» 20 9 2016. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/AxelMartnezNieto/humedad-de-los-agregados-axel-martinez-nieto>. [Último acceso: 01 12 2021].
- [33 Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 694 Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología.*, Quito, 2010.
- [34 Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 872 Áridos para hormigón. Requisitos.*, Quito, 2011.
- [35 Instituto de Cemento Portland Argentino, «Instituto de Cemento Portland Argentino,» [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmninnkagpcjclclefindmkaj/https://web1.icpa.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/ICPA-FT-002.pdf>. [Último acceso: 16 07 2022].
- [36 Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 2617 Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.*, Quito, 2012.

[37 M. V. Garzón Calderón, *Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón*, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2010.

ANEXOS

Ensayos de compresión



Determinación del MEE



Elaboración de probetas

