



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

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

TEMA:

**ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON
MATERIALES DE LAS MINAS: “LAS PEÑAS” EN EL CANTÓN TULCÁN,
PROVINCIA DEL CARCHI Y “RAMÍREZ”, UBICADA EN EL CANTÓN IBARRA,
PROVINCIA DE IMBABURA.”**

AUTOR: Katterin Julieth Erazo López

TUTOR: Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño

AMBATO - ECUADOR

Agosto- 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, con el tema **“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: “LAS PEÑAS” EN EL CANTÓN TULCÁN, PROVINCIA DEL CARCHI Y “RAMÍREZ”, UBICADA EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA.”** elaborado por la Srta. Katterin Julieth Erazo López, portadora de la cédula de ciudadanía: 0401818273 , estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Agosto 2021

Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Katterin Julieth Erazo López, con CI. 0401818273 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el **“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: “LAS PEÑAS” EN EL CANTÓN TULCÁN, PROVINCIA DEL CARCHI Y “RAMÍREZ”, UBICADA EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA.”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Agosto 2021

Katterin Julieth Erazo López

C.I. 0401818273

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, Agosto 2021

Katterin Julieth Erazo López

C.I. 0401818273

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Katterin Julieth Erazo López de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: “LAS PEÑAS” EN EL CANTÓN TULCÁN, PROVINCIA DEL CARCHI Y “RAMÍREZ”, UBICADA EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA.”**

Ambato, Agosto 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandún
Miembro Calificador

Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A Dios, que me ha permitido ser una mujer perseverante y valiente, brindándome la oportunidad poder aprender y mejorar cada día.

A mi madre Giovanna López por guiarme y educarme con principios y valores, por enseñarme a ser una mujer guerrera, con metas y brindarme las herramientas para poder ser independiente.

A mis hermanas Dani y Pamelita por ser ese pilar para mi vida, por el amor incondicional, por ser únicas e invencibles y mi principal motivación en todo lo que hago.

A mi abuelita Judith por ser mi motor, mi fuerza, mi amiga, por su cariño, consejos, ánimos y oraciones que me impulsaron a continuar luchando por mis sueños.

Julieth Erazo

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Ambato, especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por cada una de sus enseñanzas compartidas durante la carrera Universitaria.

A mi tutor, Ing. Byron Cañizares, por su predisposición, paciencia y conocimientos brindados a lo largo del desarrollo de mi trabajo experimental hasta la culminación del mismo.

A mis colegas de Altivo por todo el conocimiento brindado, el apoyo y las experiencias compartidas.

A todas las personas que estuvieron pendientes de mí, de mi bienestar y me ayudaron a lo largo de esta etapa, por la hospitalidad y los gratos momentos en los que me hicieron sentir en familia.

Julieth Erazo

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación	8
1.1.3. Fundamentación Teórica	10
1.1.3.1. Módulo de elasticidad del hormigón	10
1.1.3.2. Agregados o áridos	11
1.1.3.2.1. Origen de los áridos	12
1.1.3.2.2. Agregados finos	14
1.1.3.2.3. Agregados gruesos	15
1.1.3.2.4. Propiedades de los agregados	18
1.1.3.3. Cemento portland	23
1.1.3.4. Agua	23
1.1.3.5. El hormigón	24
1.1.3.5.1. Dosificación mediante el método de la densidad óptima	25
1.1.4. Hipótesis	25
1.2. Objetivos	25
1.2.1. Objetivo general	25
1.2.2. Objetivos específicos	25
CAPÍTULO II	27
METODOLOGÍA	27
2.1. Nivel o tipo de investigación.	27
2.2. Población y muestra	28
2.2.1. Población	28
2.2.2. Muestra	28

2.3. Materiales y Equipos	28
2.3.1. Materiales	28
2.3.2. Equipos	29
2.4. Métodos	30
Plan de recolección de datos	30
Muestreo	30
Ensayos de caracterización de agregados y recolección de datos para el diseño de hormigones.	30
Elaboración de cilindros etapa inicial y final y ensayos en estado fresco y endurecido	31
2.5. Procesamiento de datos y análisis de la información.	31
Muestreo	31
Ensayos de caracterización de agregados y recolección de datos para el diseño de hormigones.	32
CAPÍTULO III	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1. Análisis y discusión de resultados.	33
3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento.	33
3.1.2. Ensayos en los agregados.	33
3.1.2.1. Toma y reducción de muestras.	34
3.1.2.2. Determinación del material más fino que pasa por el tamiz No. 200.	35
3.1.2.3. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para la elaboración de hormigón.	36
3.1.2.4. Análisis granulométrico de los agregados	37
3.1.2.5. Determinación de la Gravedad Específica o densidad relativa.	45
3.1.2.6. Determinación de la capacidad de absorción de los áridos.	46
3.1.2.7. Determinación de la densidad aparente de los agregados.	47
3.1.2.8. Resistencia a la abrasión del agregado grueso	50
3.1.3. Dosificación del hormigón con el método de la densidad máxima	51
3.1.3.1. Características principales de los agregados	51
3.1.3.3. Resultados de mezclas de prueba	52
3.1.4. Diseño final de la mezcla	53
3.1.4.1. Ensayos con la dosificación definitiva	58
3.1.5.1. Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón.	66
3.2 Validación de la hipótesis	69
CAPÍTULO IV	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
4.1. Conclusiones específicas.	70
RECOMENDACIONES	72

Bibliografía	73
ANEXOS	75
Anexo 1. Ubicación Minas	75
Anexo 3. Diseño de Mezclas de prueba.	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Módulo secante del hormigón	11
Gráfico 2. Origen de los áridos.....	12
Gráfico 3. Obtención de áridos.....	13
Gráfico 4. La arena.	14
Gráfico 5. El ripio.....	16
Gráfico 6. Agregados angulares y redondeados.	17
Gráfico 7. Granulometría de la grava	18
Gráfico 8. Granulometría de la arena	20
Gráfico 9. Máquina de los Ángeles	21
Gráfico 10. El hormigón.....	24
Gráfico 11. Curva granulométrica del árido fino mina Las Peñas.	38
Gráfico 12. Curva granulométrica del árido fino mina Ramírez.....	39
Gráfico 13. Curva granulométrica del árido grueso mina Las Peñas.	41
Gráfico 14. Curva granulométrica del árido grueso mina Ramírez.....	43
Gráfico 15. Resistencias alcanzadas a los 7 y 14 días de edad para un $f'c$ de 28Mpa ...	52
Gráfico 16. Resistencias alcanzadas a los 7 y 14 días de edad para un $f'c$ de 21Mpa ...	53
Gráfico 17. Curva esfuerzo vs. deformación 21Mpa mina Las Peñas	59
Gráfico 18. Curva esfuerzo vs. deformación $f'c$ 28 Mpa mina Las Peñas	60
Gráfico 19. Curva esfuerzo vs. deformación 21Mpa mina Ramírez	61
Gráfico 20. Curva esfuerzo vs. deformación $f'c$ 28 Mpa mina Ramírez.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Probetas por elaborarse en la etapa final	28
Tabla 2. Resultados del ensayo de densidad real del cemento.	33
Tabla 3. Ensayos en los agregados para su caracterización	33
Tabla 4. Mina Las Peñas. Material más fino que pasa el tamiz No.200.....	35
Tabla 5. Mina Ramírez. Material más fino que pasa el tamiz No.200	35
Tabla 6. Impurezas orgánicas en el árido fino mina Las Peñas.....	36
Tabla 7. Impurezas orgánicas en el árido fino mina Ramírez	36
Tabla 8. Granulometría de árido fino en mina Las Peñas	37
Tabla 9. Granulometría de árido fino en mina Ramírez	39
Tabla 10. Granulometría de árido grueso en mina Las Peñas.	41
Tabla 11. Granulometría de árido grueso en mina Ramírez.....	43
Tabla 12. Gravedad específica (SSS) del agregado fino.	45
Tabla 13. Gravedad específica (SSS) del agregado grueso.	45
Tabla 14. Capacidad absorbente del árido fino.	46
Tabla 15. Capacidad absorbente del árido grueso.	46
Tabla 16. Densidad aparente del agregado fino	47
Tabla 17. Densidad aparente del agregado grueso	47
Tabla 18. Densidad aparente compactada de la mezcla, Mina Las Peñas.....	48
Tabla 19. Densidad aparente compactada de la mezcla, Cantera Ramírez.	49
Tabla 20. Resultados porcentuales de desgaste del árido grueso de mina Las Peñas	50
Tabla 21. Resultados porcentuales de desgaste del árido grueso de mina Ramírez.....	50
Tabla 22. Resumen comparativo de las propiedades de los áridos finos.	51
Tabla 23. Resumen comparativo de las propiedades de los áridos gruesos.	51
Tabla 24. Densidades aparentes para la mezcla y porcentajes óptimos.	51
Tabla 25. Condiciones de diseño mina Las Peñas.....	53
Tabla 26. Datos requeridos de diseño mina Las Peñas.....	54
Tabla 27. Resultados mina Las Peñas para f'c 210	55
Tabla 28. Resultados mina Las Peñas para f'c 280	55
Tabla 29. Condiciones de diseño mina Ramírez	56
Tabla 30. Datos requeridos de diseño mina Ramírez.	56
Tabla 31. Resultados mina Ramírez f'c 210.....	57
Tabla 32. Resultados mina Ramírez para f'c 280.....	57
Tabla 33. Ensayos en estado fresco.....	58
Tabla 34. Resistencia la compresión en probetas f'c 21 Mpa mina Las Peñas	58
Tabla 35. Resistencia la compresión en probetas f'c 28 Mpa mina Las Peñas	59
Tabla 36. Resistencia la compresión en probetas f'c 21 Mpa mina Ramírez.....	60
Tabla 37. Resistencia la compresión en probetas f'c 28 Mpa mina Ramírez.....	61
Tabla 38. Módulo de elasticidad estático para f'c 21 Mpa mina Las Peñas.....	62
Tabla 39. Módulo de elasticidad estático para f'c 28 Mpa mina Las Peñas.....	63
Tabla 40. Módulo de elasticidad estático para f'c 21 Mpa mina Ramírez	64
Tabla 41. Módulo de elasticidad estático para f'c 28 Mpa mina Ramírez	65
Tabla 42. Resumen comparativo MEE experimental y teórico.....	66
Tabla 43. Factores de zona obtenidos para el módulo de elasticidad estático.....	68
Tabla 44. Factores de zona obtenidos para el módulo de elasticidad estático.....	68
Tabla 45. Factores ka y kb calculados	69

RESUMEN

En el presente trabajo se elaboró de acuerdo a las siguientes normativas vigentes. Como aspecto principal se determinó el módulo de elasticidad estático, experimental, cuyo proceso se ilustra en ASTM-C469 y teórico, empleando las ecuaciones propuestas en ACI-318, para el hormigón fabricado con los agregados de las minas Ramírez y Las Peñas para su posterior comparación y análisis. Se inició con una inspección visual y toma de muestras, de acuerdo con lo especificado en la norma NTE-INEN-695, se realizó la reducción a tamaño de ensayo, norma NTE-INEN-2566; se iniciaron los ensayos de caracterización de los agregados con la intención de conocer sus propiedades y prever su comportamiento en el hormigón estructural, acatando lo dispuesto en NTE-INEN-872; así también, se determinó la densidad real del cemento basándonos en lo expuesto en NTE INEN-156. Finalmente se realizó el diseño de mezclas, utilizando el método de la densidad máxima, para resistencias a la compresión de 21 y 28 Mpa a los 28 días de edad.

Una vez obtenidas las dosificaciones definitivas, se elaboraron probetas cilíndricas estándar, cumpliendo el proceso de NTE-INEN-3124, y a la vez se realizaron los ensayos del hormigón en estado fresco, así como: la toma de muestras según NTE-INEN-1763, determinación del asentamiento de acuerdo con NTE-INEN-1578, densidad, rendimiento y contenido de aire, siguiendo lo expuesto en NTE-INEN-1579; También se realizaron los respectivos ensayos en el concreto endurecido, obteniendo su resistencia a la compresión para las edades de 7, 14, 21 y 28 días, acorde con lo especificado en NTE-INEN-1573.

ABSTRACT

The present experimental work was elaborated according to what is stated in the different regulations in force. As a main aspect, the experimental, static modulus of elasticity was determined, the process of which is illustrated in ASTM C469 and theoretical, using the equations proposed in ACI 318, for the concrete manufactured with aggregates from the Ramírez and Las Peñas mines, for subsequent comparison. and analysis. To achieve this, a process was passed that began with a visual inspection and sampling, in accordance with what is specified in the NTE INEN 695 standard, later, the reduction to test size was carried out as indicated by NTE INEN 2566; The tests of the aggregates were started with the intention of knowing their properties and anticipating their behavior in structural concrete, complying with the provisions of NTE INEN 872; Likewise, the real density of the cement was determined based on what was stated in NTE INEN 156. Finally, the design of mixtures was carried out, using the maximum density method, for compressive strengths of 21 and 28 Mpa at 28 days of age.

Once the final dosages were obtained, cylindrical specimens were made, fulfilling the process in accordance with NTE INEN 3124. While simultaneously taking concrete tests in fresh conditions as well as sampling; according to NTE INEN 1763, slump determination in accordance with NTE INEN 1578, and density, performance, air content, following the provisions of NTE INEN 1579. The respective tests were also carried out on the concrete in the hardened condition, obtaining its compressive strengths for the ages of 7, 14, 21 and 28 days, according with what was specified in NTE INEN 1573.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

A lo largo de la historia, la necesidad del ser humano por sobrevivir, refugiándose en sitios cada vez más seguros lo ha llevado a evolucionar sus condiciones de vida, es así que, hace ya varios miles de años descubrió, primitivamente, el hormigón, material que empleó en sus viviendas y que fue perfeccionando progresivamente hasta la actualidad en que es un material vigente y cuyo futuro junto al ser humano es prácticamente un hecho. Es lógico pensar que, relativamente no mucho tiempo después del paso de nómada a sedentario, el ser humano empezó a usar sustancias cementantes como la arcilla o la mezcla de arena y cal para edificar sus primeras viviendas. Es ilusorio querer establecer una fecha exacta de cuándo se usó un material aglomerante por primera vez, la historia refiere que la más antigua obra de concreto, data de hace 7600 años aproximadamente, en las zonas centro orientales de Europa. [1]

El origen del concreto, como tal comenzó a descubrirse hace miles de años en el antiguo imperio romano, cuando el hombre tuvo la necesidad de mejorar sus condiciones de vida y mejorar las condiciones de vida de sus ciudades, creando en un principio sus viviendas con una especie de mortero primitivo que empleaba para unir ladrillos de piedra. Este “concreto” era en realidad puzolana mezclada con agua y también con cal viva, constituyendo un hormigón pobre comparado con el actual pero cuyas edificaciones estuvieron en pie durante siglos. Muchas otras edificaciones romanas fueron también puestas en pie con la ayuda de hormigones prístinos, el ejemplo que resalta más a la vista es el legendario Coliseo Romano que hasta la actualidad de nuestros días constituye una maravilla de la ingeniería, pero, quizás los acueductos de Roma, levantados también con hormigón y piedras, fueron los más trascendentales y los que permitieron gran parte del éxito de la civilización romana durante siglos. Pero, el evento que dio paso el cemento que actualmente se conoce y se usa, sucedió en el año 1824 cuando después de una serie

de muchos complejos y exhaustivos experimentos en albañil británico J. Aspdin obtuvo finalmente una patente del cemento al que bautizó portland por su origen en la isla británica del mismo nombre y de donde obtuvo las materias primas. Lo fabricó en su propia estufa con ciertas cantidades de arcilla y piedra caliza que quemó y pulverizó obteniendo un polvo muy fino. [2]

En la actualidad, mucho se habla del hormigón como un material en su ocaso, como un material que en pocos años será reemplazado por nuevos materiales como el acero, madera, fibras, o incluso por polímeros producto del reciclaje, pero, lo cierto es que pocos materiales pueden brindar las cualidades que este brinda por lo que no se lo puede descartar del futuro, y es precisamente por esto que su estudio está aun ampliamente considerado parte esencial de la ingeniería civil. Al ser un material constituido por varios elementos (cemento, arena, ripio, agua y eventualmente aditivos), resulta menester estudiar a estos, y principalmente los áridos pues estos representan la mayor incertidumbre en cuando a sus características físicas y mecánicas que posteriormente influirán directamente en la fabricación y calidad del hormigón puesto en obra. El cemento es un material que no representan muchas dudas puesto que su nivel de fabricación está industrializado bajo parámetros específicos y controlados en fábricas regidas por estándares internacionales; de igual forma el agua, siempre y cuando sea potable, es una sustancia que ofrece certidumbre, no obstante, los áridos.

El concreto, una vez endurecido tiene la capacidad de resistir esfuerzos de compresión realmente considerables, es así que, sus propiedades físico-mecánicas, su durabilidad e incluso su relativo bajo costo, lo han llevado a afianzarse a nivel mundial como el material estructural más usado en todo tipo de construcción, desde una vivienda simple hasta una represa. El hormigón, es un material económico, precisamente porque su principal constituyente en términos de volumen, son los áridos, que conforman en hormigones comunes de masa normal, al menos el 70% del total de su composición. Los áridos suelen ser obtenidos en canteras que están ubicadas en variedad de zonas geográficas lo que hace que tengan diferentes propiedades y por eso su estudio específico es importante y hasta cierto punto necesario. En el presente trabajo experimental se realiza un análisis de los áridos ofertados por las canteras Las Peñas y Ramírez ubicadas en la Sierra Norte del

Ecuador, específicamente en las ciudades de Tulcán e Ibarra respectivamente. Los áridos pueden variar de forma representativa en sus cualidades físicas y mecánicas de una mina a otra, a pesar de su cercanía y, por lo tanto, en el comportamiento de hormigón. Por ello la importancia de realizar un análisis detallado de las minas que proporcionan estos, principalmente en su composición mineralógica, granulometría, textura y forma. El análisis de estas características en laboratorio, bajo un ambiente controlado, brindará la precisión necesaria para lograr la mayor exactitud posible en el cálculo de cualquier estructura de hormigón en que se empleen estos agregados pues se influirá directamente en la determinación analítica-experimental del módulo de elasticidad, parámetro sobre el cual gira el presente trabajo. [1]

El módulo de elasticidad o también conocido módulo de Young es un preponderante parámetro que gobierna el diseño y construcción de toda obra de concreto armado. Generalmente, existe una proporcionalidad entre el módulo de elasticidad y la resistencia y densidad del hormigón, es decir que, a mayor resistencia y densidad, mayor sería el módulo de elasticidad, sin embargo, esto no es una ley, pues se sabe que estos valores pueden variar hasta en un 20% dependiendo de los agregados y de la dosificación del hormigón o del mortero. No obstante, investigaciones, han determinado que este valor máximo puede variar también en función de otros parámetros como la hidratación in situ que no siempre se puede calcular con ayuda de ensayos destructivos. [3]

Resulta lógico pensar que el módulo de elasticidad influye esencialmente en el comportamiento estático y dinámico de una estructura de hormigón armado, y es verdad, pues esto se ve reflejado desde su pre-dimensionamiento mismo, así como también directa o inversamente proporcional por ejemplo en las deflexiones, derivas de piso, rigideces y deformaciones que producen las cargas sobre las estructuras. Es importante entonces, determinar con cuidado los valores del módulo de elasticidad. El Código Ecuatoriano de la Construcción NEC 2015, así como el código ACI 318-19, plantean constantes referenciales para la determinación del módulo de elasticidad, con la intención de hallar valores lo más cercanos posibles a la realidad, aunque con un margen de error que puede llegar a ser considerable por sus obvias generalidades.

El código ACI 318 determina una relación para el módulo de elasticidad, la resistencia a la compresión simple y el peso unitario del hormigón, proponiendo la ecuación:

$$E_c = W_c^{1.5} * 0.14 \sqrt{f'_c} \frac{kg}{cm^2}$$

para hormigones con una densidad de entre 1440 y 2560 kg/cm^3 y,

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'_c} \frac{kg}{cm^2}$$

para hormigones de densidad normal. [4]

Si bien, las ecuaciones propuestas anteriormente son las más usadas por su facilidad de cálculo y disponibilidad, en términos de la propia ACI estas son “estimativas”, por lo que las diferencias con las condiciones reales de los materiales, tales como el tipo de agregado, los contribuyentes del concreto, la dosificación de la mezcla, la adherencia entre la pasta y el agregado y la edad del concreto, pueden ser influyentes en el cálculo del E_c . Además, la ACI aclara que estas ecuaciones son bastante acertadas para hormigones de pesos normales y resistencias inferiores a 56 Mpa, pero que, para hormigones de alta resistencia, hormigones livianos y aquellos con bajas cantidades de agregado grueso, los valores medidos con los calculados presentan las mayores discrepancias. Con el afán de salvar estas variabilidades, y también prevenir diferencias entre los valores medidos y los valores calculados de la deflexión, deriva, periodo de vibración y otros parámetros que dependen de E_c , el código ACI permite especificar el módulo de elasticidad en base a ensayos de mezclas de concreto. [4]

En cualquier proyecto, puede calcularse mediante ensayos el módulo de elasticidad E_c , sin embargo, existen ciertos casos específicos de sistemas estructurales, que pueden conducir a la necesidad de realizarlos, incluyendo construcciones donde las deflexiones son críticas o los edificios son altos, influenciados también por acciones de vibraciones aceptables y movimientos sísmicos. [4]

Es responsabilidad entonces, y discreción del profesional, determinar y emplear un módulo de elasticidad coherente que esté acorde a las condiciones que presenta cada proyecto. En el Ecuador, por las diferentes condiciones geográficas, geológicas, y

sísmicas, es primordial la especificidad en cuanto a la calidad de los agregados empleados en la fabricación de hormigón, pues su influencia es innegable sobre la resistencia a la compresión y demás propiedades mecánicas y físicas como el módulo de Young E_c . Por esto, desde hace varios años ya, las universidades del país, a través de sus tesis, han tratado de adaptar a la realidad nacional el cálculo del módulo de elasticidad, es así, que, en algunas de las provincias de la Sierra centro, a través de la Universidad Técnica de Ambato se ha realizado ya el análisis de agregados de distintas canteras como las minas Playa Llagchoa, Villacrés, El Salvador, La Playa, entre otras canteras. [5]

Andachi [5], en su tesis “ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: LA PLAYA, UBICADA EN EL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI Y EL SALVADOR, UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, determinó una constante para calcular el módulo de elasticidad del hormigón en función de resistencias a la compresión a 28 días de edad f'_c de 210 y 280 kg/cm^2 , usando para esto áridos de las minas La Playa y El Salvador, y cemento puzolánico portland tipo IP. El proceso empleado y cuyas conclusiones se destacan en los siguientes párrafos, fue ensayar a compresión cilindros de 7, 14, 21 y 28 días de edad, graficar con ello la curva edad vs resistencia, y de esta forma determinar el módulo de elasticidad estático experimental de cada muestra, y compararlo con las ecuaciones que ofrece ACI 318.

Se obtuvieron resistencias a compresión a 28 días de edad superiores a las originalmente esperadas de 210 y 280 kg/cm^2 , especialmente en la mina La Playa, debido a la excelente calidad de los agregados, concluyendo así que los agregados principalmente influyeron en el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón y que cumplen con los requerimientos especificados, exceptuando los límites granulométricos. [5]

Para la ecuación $E_c = Wc^{1.5} * 0.14\sqrt{f'_c} \frac{kg}{cm^2}$, correspondiente a hormigones con una densidad de entre 1440 y 2560 kg/cm^3 , se sugirieron valores de constantes de 0.1162 y 0.1166, para las minas La Playa y El Salvador respectivamente, estas son menores al 0.14 propuesto por el código ACI 318 para calcular el módulo de elasticidad. Por otra parte,

para la ecuación $E_c = 15100 * \sqrt{f'c} \frac{kg}{cm^2}$ correspondiente a hormigones de peso normal, se sugirió los valores de 13600 y 13200 para las minas La Playa y El Salvador respectivamente. [5]

Se sugirió en cambio, para la ecuación $E_c = Wc^{1.5} * 0.043\sqrt{f'c}$ (Mpa) que es la correspondiente a hormigones con una densidad de entre 1440 y 2560 kg/cm^3 , valores de constantes de 0.0364 y 0.0365, para las minas La Playa y El Salvador respectivamente, estas son menores al 0.043 propuesto por el código ACI 318 para calcular el módulo de elasticidad. Por otra parte, para la ecuación $E_c = 4700 * \sqrt{f'c}$ (Mpa) correspondiente a hormigones de peso normal, se sugirió los valores de 4200 y 4100 para las minas La Playa y El Salvador respectivamente. [5]

De igual manera, Sánchez [6], utilizando agregados de la cantera Playa Llagchoa, realizó un proceso similar a Andachi, con dosificaciones también de 210, 280 pero además de 240 kg/cm^2 , para trazar la curva edad vs resistencia, sin embargo, se obtuvo resultados antagónicos a Andachi, inferiores a los expuestos por los códigos ACI 318 y 363. Se determinaron resistencias a la compresión inferiores, aunque cercanas, a las estimadas de 210, 240 y 280 kg/cm^2 . Esta baja resistencia hallada se justificó explicando que el agregado grueso usado presentaba una porosidad considerable.

En su trabajo de tesis, Ortega [7]“LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS DE TRES MINAS DE LA CIUDAD DE AMBATO Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES”, analiza las características mecánicas de los áridos de las minas Villacrés, Playa Llagchoa y la Planta de trituración de áridos, encontrando algunos parámetros destacables que valen la pena mencionar como:

Mina Playa Llagchoa:

Con un 67% de agregado grueso y 33% de agregado fino, se determinó un peso unitario óptimo de 1.799 gr/cm^2 . [7]

Un peso específico aceptable para agregados grueso y fino de 2.554 y 2.512 gr/cm^3 respectivamente. [7]

En estado natural, un peso unitario suelto para agregados grueso y fino de 1.395 y 1.306 gr/cm³ respectivamente. [7]

Un valor de 2.5 que es aceptable, aunque relativamente bajo, para el módulo de finura de la arena. [7]

Una adecuada gradación de ripio, con un TNM de 1½". [7]

Mina Villacrés:

Con un 61% de agregado grueso y 39% de agregado fino, se determinó un peso unitario óptimo de 1.890gr/cm². [7]

Un peso específico aceptable para agregados grueso y fino de 2.585 y 2.568 gr/cm³ respectivamente. [7]

En estado natural, un peso unitario suelto para agregados grueso y fino de 1.382 y 1.326 gr/cm³ respectivamente. [7]

Un valor de 3.0, que resulta totalmente competente, para el módulo de finura del agregado fino. [7]

Una adecuada gradación de ripio, con un TNM de 1½". [7]

Planta industrial de trituración de áridos:

Un peso específico aceptable para agregados grueso y fino de 2.611 y 2.624 gr/cm³ respectivamente. [7]

Un valor de 2.9, que resulta totalmente competente, para el módulo de finura del agregado fino. [7]

Una adecuada gradación de ripio, con un TNM aceptable de 1". [7]

García, [8], en su tesis “Módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión 2 40 kg/cm²fabricado con materiales de la mina Villacrés, ubicada en el sector de la parroquia La Península, cantón Ambato, en la provincia de Tungurahua y cemento Holcim”, determinó:

Las propiedades físicas, experimentalmente, de los agregados grueso y fino. Mediante el método de la densidad optima, se calculó con los resultados obtenidos, las dosificaciones

iniciales de mezclas para una resistencia de 240 kg/cm². Se obtuvo el módulo de elasticidad estático del hormigón de cada una de las probetas ensayadas a los 28 días de edad según lo estipulado en la norma ASTM C469, y se los cotejó con las ecuaciones establecidas por el código ACI. [8]

El módulo de elasticidad estático del hormigón con un $f'c = 240$ kg/cm² determinado con materiales de la mina Villacrés y cemento Holcim, se calcularían así: [8]

$$Ec = 10361 * \sqrt{f'c} \frac{kg}{cm^2} \quad (1)$$

$$Ec = 3246 * \sqrt{f'c} MPa \quad (2)$$

Una vez más los resultados obtenidos experimentalmente, difieren a los resultados obtenidos analíticamente de acuerdo a la normativa ACI.

1.1.2. Justificación

Las propiedades del hormigón de los elementos estructurales pueden verse notablemente influenciadas por las diferencias entre un agregado y otro, esto hace que sea importante conocer las características de cada material de forma específica puesto que el hormigón es el material más usado en el mundo y por lo tanto el nivel de generalidades para su fabricación es alto. El concreto en obras de construcción constituye una serie de procesos que va desde su cálculo y diseño, hasta el manejo, compactado y curado, en donde el tipo de material empleado puede alterar representativamente todos los procesos mencionados, generando un grado de incertidumbre cuya consecuencia puede ser un hormigón de calidad inferior a la conceptualizada, de ahí la necesidad de que un profesional competente adapte sus conocimientos y su experiencia a cada tipo de agregado para garantizar la buena preparación del hormigón ya sea concreto vibrado o concreto auto compactante. La mano de obra, maquinaria, y aspectos ambientales como la temperatura que afecta el asentamiento, son otros factores a considerar.

Es necesario entonces, también considerar y controlar por parte del técnico, las propiedades de los áridos como el tamaño, coeficiente de forma, porcentaje de absorción, textura, adherencia, entre otros, pues estos gobernarán tanto la trabajabilidad como la resistencia final de hormigón en obra. [9]

Las formas de los agregados pétreos, específicamente de la grava, influye directamente en la trabajabilidad del hormigón fresco. Las formas principales en que se pueden clasificar son: esférica, irregular, prismática y elíptica. De estas, la elíptica es la que mayores inconvenientes puede atraer puesto que la trabajabilidad se verá disminuida al tener que manejar partículas planas y alargadas que se disponen en un solo plano, haciendo que bajo estas el agua y espacios huecos puedan quedarse. Las formas angulares y cúbicas son las que generalmente mejores resistencias han proporcionado. [10]

A nivel mundial existen múltiples estudios donde la calidad del concreto se notó deficiente por no tomar en cuenta los anteriormente mencionados factores, entre ellos se destaca el estudio realizado a los almacenes A. Char localizados en Bangladesh, en donde la influencia de los agregados fue notoria, es así que la arena empleada, no cumplía con los límites establecidos de granulometría, mientras que el ripio contenía altos valores de sal y porosidad, esto debido a que resultaron ser trozos de ladrillos que se trituraron y emplearon en la obra de construcción. Es por esto que surge la necesidad de analizar cuidadosamente los agregados que proporcionan las diferentes minas de nuestras localidades para garantizar la fabricación y vida útil del hormigón y prevenir calamitosas situaciones. [11]

Un factor sobre el cual influye directamente la calidad de los agregados es el módulo de elasticidad del concreto, que aumenta conforme se incrementa la resistencia del concreto, a mitad que transcurre el tiempo y alcanza su máxima resistencia. También se puede relacionar que a mayor densidad del concreto mayor será el módulo de elasticidad, estos en términos generales, puesto que los valores pueden variar considerablemente dependiendo de factores como los agregados y la dosificación del concreto. Otros factores importantes que vale la pena considerar son aspectos como el aumento de hidratación in situ que puede influir en la resistencia estimada por ensayos no destructivos como el realizado con el martillo esclerométrico que suele arrojar resistencias mayores a las determinadas por ensayos destructivos de compresión de cilindros [3].

Entender el funcionamiento y el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón es de vital importancia puesto que, si bien éste se determina bajo la acción de cargas estáticas, en un futuro podrían ayudar en investigaciones para cargas dinámicas. Esto resulta de suma importancia principalmente por la zona en que vivimos, debido a que gran parte del territorio ecuatoriano está ubicado en una zona de amenaza sísmica alta, es entonces prudente y justificable un análisis de los agregados de las minas Las Peñas y

Ramírez, porque será una investigación que brinde un aporte que garantice en cierta forma la resistencia del hormigón y esto se traducirá en seguridad, tranquilidad y ganancia económica a largo plazo [1].

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. Módulo de elasticidad del hormigón

El módulo de elasticidad o módulo de Young, es una propiedad de los materiales que establece la proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones dentro del rango elástico. El módulo de elasticidad está en función del ángulo de la línea de la gráfica esfuerzo vs. deformación y es un parámetro que determina la resistencia a la deformación permanente de todo material.

Para calcular el módulo de elasticidad del hormigón, el código ACI 318 propone la siguiente ecuación para concretos con una densidad entre 1440 y 2560 $\frac{kg}{m^3}$:

$$E_c = 0.14 * w^{1.5} * \sqrt{f'_c} \frac{kg}{cm^2} \quad (3)$$

Para hormigones de pesos “normales”, esto es alrededor de 2300 $\frac{kg}{m^3}$, la ACI propone la siguiente fórmula:

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'_c} \frac{kg}{cm^2} \quad (4)$$

Donde:

“w” corresponde al peso unitario del concreto.

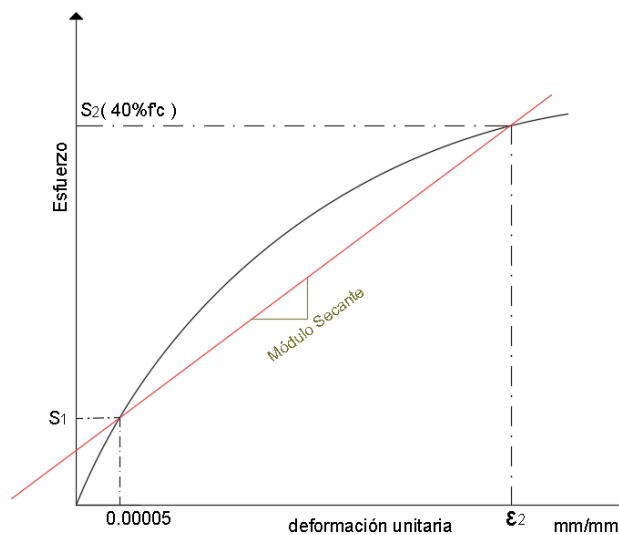
“f’c” resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de edad.

El hormigón presenta un comportamiento en el cual no existe una proporción directa entre los esfuerzos y deformaciones al ser este un material elasto-plástico. Para lograr determinar entonces, un valor adecuado del módulo de elasticidad estático del concreto ha resultado necesario involucrar también términos como son el módulo tangente y el módulo secante del concreto. [12]

El módulo secante es la pendiente que marca una recta secante a la curva, desde el punto de esfuerzo inicial cero y un punto cualquiera de la curva esfuerzo deformación, siendo relativamente más fácil determinarlo y por lo tanto más usado que el módulo tangente. El módulo tangente, por otra parte, se puede definir como la pendiente en cualquier punto de la recta tangente a la curva esfuerzo deformación. La determinación del módulo tangente cuando el esfuerzo es nulo es difícil, pues la recta tangente no está claramente definida, esta tangente se la conoce como tangente inicial. [5]

Según lo estipulado en la norma ASTM C4649, y que se representa en figura 1, la recta secante se traza desde, el punto con una deformación unitaria de 0.00005 mm/mm y que corresponde a un esfuerzo por determinar, y, hasta el punto que corresponde a un esfuerzo del 40% de la carga máxima a aplicarse y sobre el cual también se debe determinar el valor de la deformación unitaria.

Gráfico 1. Módulo secante del hormigón



Fuente: elaboración propia

1.1.3.2. Agregados o áridos

Los agregados pueden considerarse como el armazón granular y principal constituye del hormigón hablando en términos de volumen, abarcando entre el 75 y 80% y también en términos de peso constituyendo entre un 80 y 90% de su peso total. La calidad de los áridos o agregados es fundamental pues estos, al estar tan presentes en el hormigón pueden afectar considerablemente su resistencia, propiedades físicas y químicas, y reflejar esto en su durabilidad. [13] y [14]

La norma NTE INEN 694, define a los áridos como un “material granular (grava, arena, piedra triturada) que al unirse con un cementante forma un hormigón o un mortero. La escoria de altos hornos de hierro también puede ser considerado como un árido. [15]

También se los puede definir como cualquier sustancia sólida o partículas añadidas al concreto y que ocupan un espacio rodeado de pasta cementante, de tal forma que proporcionen resistencia mecánica al mortero endurecido. Además, los agregados, reducen el precio final del hormigón al disminuir la cantidad de pasta, controlan la retracción del fraguado y las variaciones en el contenido de humedad. [16]

Para obtener un concreto adecuado se debe buscar una estructura, forma y tamaños óptimos de los agregados para que conformen un hormigón con la mayor compacidad relativa posible puesto que de esta forma las partículas se acomodarán correctamente a la pasta cementante garantizando la homogeneidad, trabajabilidad y adherencia de la mezcla. Es necesario tomar en cuenta que una buena adherencia puede ser producida por materiales porosos que a la larga se traduzcan en un hormigón de mayor desgaste por lo que es un parámetro que se debe manejar con cuidado.

1.1.3.2.1. Origen de los áridos

Una clasificación común que se suele dar a los áridos implica en clasificarlos por su origen, estos pueden ser obtenidos por desintegración natural que son los que proceden de la erosión propia de las rocas a través del desgaste causado en ellas por los ríos y que suelen ser redondeados y de superficies lisas y tamaños variables; o artificial, en cuya obtención interviene la trituración mecánica produciendo generalmente áridos de superficie rugosa y varias aristas.

Gráfico 2. Origen de los áridos



Fuente: elaboración propia

Los áridos obtenidos naturalmente suelen brindar mayor trabajabilidad con menor cantidad de agua y ser más económicos, por otra parte, los áridos obtenidos por trituración suelen necesitar mayor agua, pero pueden generar hormigones de mayor calidad y resistencia, razón por la cual suelen tener un mayor precio.

Gráfico 3. Obtención de áridos



Fuente: elaboración propia

En cualquier caso, los agregados empleados en la fabricación del hormigón para construcciones de cualquier tipo deben cumplir con lo especificado en la normativa NTE

INEN 872, garantizando una adecuada granulometría, dureza, limpieza, integridad y durabilidad. [17]

1.1.3.2.2. Agregados finos

Arena

La arena puede ser considerada el árido más importante pues es posible decir que no se puede fabricar hormigones buenos si ésta no lo es. Son arenas las partículas que pasan por el tamiz de 9.5 mm o 3/8” y cuya mayor cantidad de fracciones atraviesan el tamiz 4.75mm No. 4 y no pasan el tamiz No. 200. [12]

Gráfico 4. La arena.



Fuente: elaboración propia

La calidad de la arena es muy importante por lo que es recomendable tener en cuenta algunas consideraciones:

- La arena debe estar libre de partículas orgánicas, arcilla, limo.
- Las arenas obtenidas de ríos suelen generalmente ser mejores que las arenas procedentes de minas

- Arenas con densidades mayores a $2.6 \frac{gr}{cm^3}$ son buenas, inferiores a $2.3 \frac{gr}{cm^3}$ no son recomendables pues sus densidades son proporcionales a su resistencia a la compresión. [18]
- Si la arena proviene de la trituración de rocas artificialmente, se debe tener especial cuidado en su granulometría.
- La cantidad de agua en la arena influye en la dosificación del hormigón.

Módulo de finura

El módulo de finura de los agregados finos es un índice que permite clasificarlos de acuerdo a su granulometría. Técnicamente, es la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices normalizados según la norma ASTM C125, divididos para 100. Las series estandarizadas empleadas son las #100, #50, #30, #16, #8, #4, #3/8", cada una del doble de tamaño de la anterior, siendo, respectivamente sus medias: 150 μ m, 300 μ m, 600 μ m, 1.18mm, 2.36mm, 2.36mm, 5mm, 9.5mm. [13]

De acuerdo a la norma NTE INEN 872: 2011, los valores adecuados para el módulo de finura están en un rango entre 2.3 y 3.1. valores superiores a 3.1 constituyen arenas muy gruesas y por otra parte valores inferiores a 2.3 implican arenas muy finas. Una consideración importante es que el hecho de que las arenas sean muy finas, conlleva además que se deberá cubrir una mayor superficie específica, variando así las cantidades de agregados en las mezclas para la fabricación del concreto. La arena que atraviesa los tamices No. 50 y No. 100 influirá en la trabajabilidad, textura y sangrado del hormigón. Generalmente las especificaciones estiman que por el tamiz N0. 50 deberán atravesar entre un 10 y 30% de las partículas. [13]

1.1.3.2.3. Agregados gruesos

Ripios o gravas

Árido en que la mayor cantidad de sus partículas quedan contenidas el tamiz No. 4 de 4.755 mm. Pueden ser de origen natural obtenidas de ríos o canteras, o artificial producto de la trituración de rocas. [19]

Gráfico 5. El ripio.



Fuente: elaboración propia

La calidad del ripio es muy importante en la fabricación del hormigón por lo que es recomendable tener en cuenta algunas consideraciones:

- La grava o ripio debe estar libre de partículas orgánicas.
- Las gravas procedentes de la trituración de rocas suelen brindar mayores ventajas por su forma y superficie.
- No son recomendables las gravas demasiadas lisas y livianas pues brindan poca adherencia y resistencia
- Gravatas con densidades mayores a $2.6 \frac{gr}{cm^3}$ son buenas, inferiores a $2.3 \frac{gr}{cm^3}$ no son recomendables pues sus densidades son proporcionales a su resistencia a la compresión. [18]

Tamaño nominal máximo (TNM)

El TNM es el tamaño de malla anterior a la primera, en el que hubo un porcentaje retenido acumulado de al menos el 15%. Existen varias consideraciones que se debe tener en cuenta en cuanto al TNM de las partículas que se emplearán en la fabricación del hormigón tanto fresco como endurecido.

En hormigón fresco, puede producirse segregación de la mezcla, así como limitaciones en el armado del acero por las separaciones debidas a las varillas.

En el hormigón endurecido, la consideración principal a tener en cuenta será la resistencia final de este, así, mientras menor sea el TNM de la grava, mayor será la resistencia a la compresión del concreto pues requerirá una cantidad de cemento y una menor cantidad de agua.

Las experiencias en nuestro medio determinan que para concretos convencionales, un agregado grueso de tamaño nominal máximo de entre $\frac{3}{4}$ " y $1\frac{1}{2}$ " es el recomendable. En el hormigón endurecido, la consideración principal a tener en cuenta será la resistencia final de éste, así, mientras menor sea el TNM de la grava, mayor será la resistencia a la compresión del concreto pues requerirá una cantidad de cemento y una menor cantidad de agua. [20]

Texturas y formas

La textura de las partículas tiene directa relación con la compactación y con la adherencia. Una textura rugosa incrementa la fricción entre partículas y mejora la unión del ripio y el objetivos aglomerante; por otro lado, generalmente son más difíciles compactar que las partículas lisas.

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

Gráfico 6. Agregados angulares y redondeados.



Fuente: elaboración propia

1.1.3.2.4. Propiedades de los agregados

Las propiedades de los agregados pueden clasificarse de acuerdo a sus características física, químicas y mecánicas. Una consideración importante que se debe tener en cuenta es que las propiedades de los áridos pueden determinarse tanto en forma aislada como también constituyendo un material combinado. No se puede suponer que, teniendo un excelente agregado, el hormigón también lo será puesto que existen muchos otros factores durante todo el proceso de fabricación que influirán en su resistencia final [16]

Granulometría

También conocida como gradación, consiste en hacer pasar el agregado a través de los tamices estandarizados de mayor a menor, para que se quede un volumen determinado en cada tamiz y poder concluir qué agregados existen y en qué cantidad, esto según la norma NTE INEN 696. [15]

Se puede suponer que mientras mejor sea la granulometría de los agregados, mejor será la calidad del hormigón fabricado puesto que habrá una adecuada compacidad relativa de los sólidos, lo que permitirá ventajas en su resistencia.

Granulometría de la grava

Gráfico 7. Granulometría de la grava



Fuente: elaboración propia

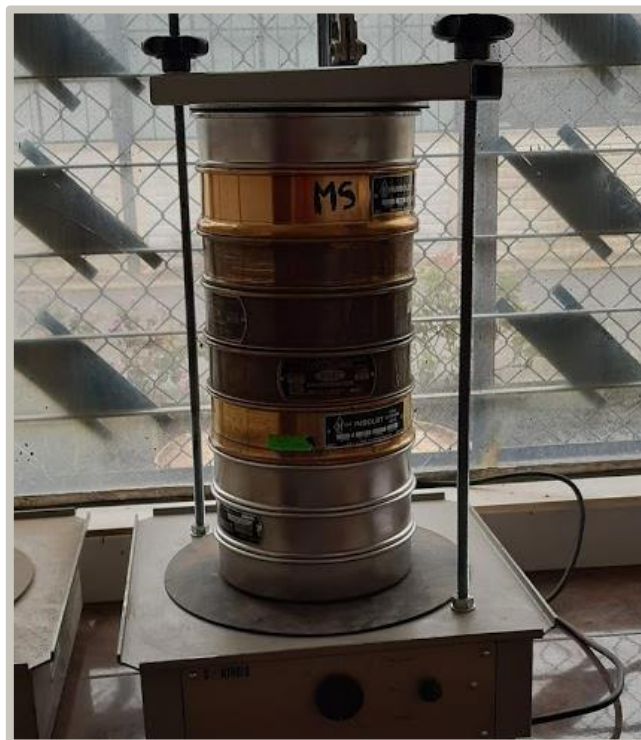
La granulometría de la grava es una propiedad que se debe manejar con mucho cuidado pues de esta depende el grado de segregación que pueda tener el hormigón, así también, su influencia es evidente en la trabajabilidad, la dosificación y el costo del hormigón. Poder representar la granulometría de los áridos mediante la curva granulométrica es un proceso controlado en laboratorio que analiza la constitución de los agregados desde el punto de vista del tamaño, en donde las partículas mayores se clasifican a través de tamices de tamaño normado y posteriormente se pesan. En las mezclas de hormigón de consistencia plástica, se procura que la curva granulométrica sea prudentemente continua y heterogénea, pues esto asegura que existen partículas de todo tamaño, logrando que la curva granulométrica no presente desviaciones significativas. [13]

Existen ciertas contemplaciones granulométricas que son frecuentemente recomendables aplicarlas:

- Es común que el ripio se manipule en una sola fracción que contenga completamente su intervalo nominal, para tamaños de hasta $\frac{3}{4}$ ". [5]
- Por medio de selección manual, y para acoplar la granulometría a un cierto modelo favorable, es recomendable dividir el agregado grueso en por lo menos dos fracciones para tamaños superiores de $\frac{3}{4}$ " [5]

Granulometría de la arena

Gráfico 8. Granulometría de la arena



Fuente: elaboración propia

Las especificaciones referentes a la graduación granulométrica de la arena, dadas por la norma NTE INEN 872 [21] determinan el proceso por el cual, al pasar el material fino por las mallas estandarizadas #100, #50, #30, #16, #8, #4 y 3/8”, se consiguen las cantidades de cada tamaño para relacionar el porcentaje retenido en cada tamiz y con respecto a un límite superior e inferior empíricamente fijados por la norma antes mencionada y que además brinda algunas recomendaciones:

Cuando el agregado fino tiene porcentajes más pequeños que los retenidos por el tamiz #100 se puede tener problemas con la docilidad, bombeo y exudación del hormigón.

El rango adecuado recomendado para el módulo de finura es entre 2.3 a 3.1.

Consistencia y durabilidad

Un material debe ser tan consistente como durable a través del tiempo. Ante la meteorización, para estimar qué tan durable y consistente es, la norma NTE INEN 863 del 2011 simula mediante la prueba de consistencia la meteorización, enfrentando a los

agregados a sulfatos de sodio y magnesio que emulan la congelación mediante el recrecimiento de cristales en las partículas. [22]

Tenacidad

La tenacidad de los agregados, técnicamente constituye una magnitud de energía que se pueden definir como la capacidad que tiene los áridos para absorber deformaciones sin pérdidas considerables de resistencia, es decir que un agregado es tenaz cuando tienes buena resistencia a ser rotos o molidos. La tenacidad es proporcional a la cohesión que tengan las moléculas que forman sus agregados.

Dureza

El ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles, normada de acuerdo a la norma NTE INEN 860 del 2011, [23] sirve para determinar la resistencia ante abrasión de los agregados gruesos que, previo un tamizado, se coloca en un tambor giratorio con esferas de acero normadas con un diámetro de 47mm y una masa de entre 390 y 445 gramos, se los hace girar durante 500 revoluciones a una velocidad entre 30 y 33rpm. Acto seguido, se tamiza el material con el tamiz #12 y el porcentaje perdido de masa será equivalente a la degradación que ha sufrido el agregado. [24]

Gráfico 9. Máquina de los Ángeles



Fuente: elaboración propia

Absorción

La cantidad de agua presente en los áridos es muy importante pues de esta depende la cantidad de agua con que se debe mezclar al hormigón, pero, esta humedad almacenada en los poros de los agregados no reaccionará con el cemento ni mejorarán la trabajabilidad. En nuestro medio se recomienda un porcentaje de absorción de 0.2 a 2% y de 0.2 a 4% en los agregados finos y gruesos respectivamente. [25]

Las condiciones de humedad en que pueden estar el agregado son:

- SH Totalmente seco: el agregado no contiene humedad alguna, ha sido secado en horno hasta obtener su masa original
- SA Secado al aire: Se encuentra con la humedad natural ambiental y los poros del agregado contienen algo de humedad.
- SSS Saturado superficie seca: los poros de los agregados están saturados de humedad, pero la superficie está seca. Es este el estado estándar sobre el cual se dosifica el hormigón.
- SSH Saturado superficie húmeda: tanto los poros como la superficie del agregado presentan humedad. En este estado el agregado incrementa agua de amasado al hormigón.

Gravedad específica

Representa la masa de un material dividida entre la masa de un volumen igual de agua. Existe tres tipos de gravedad específica que se emplean en el diseño de hormigón de cemento portland y asfáltico, dosificado en base al volumen absoluto: en estado seco, saturado superficie seca y gravedad específica aparente. La gravedad específica se calcula de acuerdo la especificación de la normativa NTE INEN 856:2010, sumergiendo durante unas 24 ± 4 horas, hasta llenar sus poros una porción de agregado previamente secada; a continuación, se retira del agua, se seca su superficie (SSS), se pesa, y finalmente se calcula por el método gravimétrico su volumen. [24]

Peso volumétrico y porcentaje de vacíos

De acuerdo a la norma NTE INEN 858 de 2010, se llena un recipiente con árido seco, se procede a compactarlo con una varilla de apisonamiento de cabeza redonda. El porcentaje de vacíos será equivalente al espacio no ocupado por el agregado. [26]

1.1.3.3.Cemento portland

El cemento portland, usado en la actualidad es un producto resultante principalmente de la combinación de materiales arcillosos como el sílice, alúmina, y la cal, junto a óxido de hierro. La calcificación a unos 1500 °C reestructura la composición química de la caliza y la arcilla dando lugar el Clinker, este se pulveriza adicionando un 3% de yeso que regulará el proceso de fraguado.

Tipos de cemento portland

Dependiendo del tipo de aplicación del cemento, este ha sido desarrollado con distintas cualidades aplicables para situaciones específicas como para obtener una ganancia rápida de resistencia, o un bajo calor de hidratación, a continuación, se explica los tipos y aplicaciones del cemento: [16]

- I Normal: Trabajos en general, para suelos, hormigón reforzado, pavimentos. Cuando no se requieren de las propiedades que proveen los otros tipos.
- II Resistencia moderada a los sulfatos: Protección ante un peso de entre 0.1 y 0.2% de sulfatos solubles en agua en suelos o 150 a 1500ppm de sulfato en agua (de mar). Es adecuado para muelles y grandes contrafuertes.
- III Alta resistencia inicial: en ambientes fríos reduce el tiempo requerido de curado controlado. Se usa cuando se requiere desencofrar prematuramente para poner en servicio antes la estructura.
- IV Bajo calor de hidratación: para presas, cuando se requiere un control exhaustivo del calor de hidratación
- V Alta resistencia a sulfatos: Exposición de entre 0.2 y 2% de sulfatos solubles en agua para suelos, o de 1500 a 10800 ppm de sulfatos de agua.

1.1.3.4.Agua

El agua puede ser considerado el ingrediente primordial y cuyo uso debe ser tan minucioso pues de este depende en gran parte la resistencia final del hormigón pues la

relación agua cemento es en base a la cual se la calcula. Durante el mezclado, es el factor que gobierna la trabajabilidad. De acuerdo al volumen de agua usada, la fluidez será mayor o menor y cuando se endurezca una porción formará parte de la estructura y otra será agua libre.

Aunque se puede calcular analíticamente una cantidad de agua exacta para la fabricación de un hormigón de una resistencia específica, en obra el agua presente en los agregados por la humedad ambiental, puede hacer que ésta varíe, haciendo menester el criterio y experiencia del profesional para incrementar o reducir el agua, teniendo en cuenta que esto puede afectar a la resistencia final. El agua potable es la recomendada para toda construcción durante el mezclado y posteriormente durante el curado. [13]

1.1.3.5.El hormigón

La mezcla de concreto a emplear debe ser personalizada para cada caso dependiendo de las características de la construcción y de los agregados, garantizando seguridad estructural a un costo conveniente pues, aunque el cemento constituye solo un 10% de la mezcla, representa más del 70% del costo del hormigón y también ofrece a la mezcla homogeneidad, consistencia, estabilidad, aptitud para compactarse, y textura adecuada para el acabado. [27]

Gráfico 10. El hormigón.



Fuente: elaboración propia

1.1.3.5.1. Dosificación mediante el método de la densidad óptima

También conocido como método de densidad máxima o de laboratorio, se fundamenta en recrear una roca artificial de buena calidad usando una adecuada combinación de agregados, que, con la menor cantidad posible de pasta de cemento (agua y cemento), deje el menor porcentaje de vacíos posible [18]. El proceso, a groso modo, para dosificar el hormigón mediante este método es el siguiente: [28]

1. Determinar la relación agua – cemento para la resistencia requerida a los 28 días.
2. Calcular la densidad real de la mezcla de los agregados.
3. Calcular el porcentaje óptimo de vacíos.
4. Determinar, de acuerdo al asentamiento, el porcentaje de pasta requerido.
5. Calcular las cantidades de agua(W), cemento(C), ripio(R) y arena(A), para fabricar un metro cúbico de hormigón.
6. Determinar la dosificación al peso y volumen relacionando las cantidades calculadas y la cantidad de cemento a usar (un saco generalmente).

1.1.4. Hipótesis

El módulo de elasticidad estático del hormigón, calculado mediante las normas ASTM C469 y mediante las fórmulas empíricas del código ACI 318, variarán en un rango de hasta 20%, al utilizar agregados de las minas Las Peñas de Tulcán provincia de Carchi, y Ramírez de Ibarra provincia de Imbabura.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el módulo de elasticidad estático del hormigón estructural elaborado con agregados de las minas “Las Peñas”, “Ramírez” y cemento portland para las provincias del Carchi e Imbabura.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los agregados de las minas: “Las Peñas”, “Ramírez” requeridas para la dosificación del hormigón.

- Diseñar la mezcla de hormigón para resistencias a la compresión a los 28 días de: 21 y 28 Mpa aplicando el método de la densidad máxima.
- Proponer una constante para el cálculo del módulo elástico estático del hormigón para las provincias de Carchi e Imbabura, que reemplace los valores dados en la normativa ACI-318-14 y NEC-SE-HM 2015 correlacionados con la raíz cuadrada de la resistencia especificada a la compresión del hormigón y su peso unitario.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Nivel o tipo de investigación.

Carrasco [29] en su libro “Metodología de investigación científica”, define cuatro etapas que atraviesa el proceso de investigación científica: exploratorio, descriptivo, explicativo y experimental.

Nivel exploratorio o preliminar: Mediante el estudio de los agregados de las minas “Las Peñas” del cantón Tulcán y “Ramírez” de Ibarra, que aportan gran cantidad de material a sus provincias, se busca determinar una constante experimental aplicable a estas, para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, empleando la normativa ASTM C469, y en base a ello comparar su variación con respecto a las fórmulas empíricas propuestas por la normativa ACI 318.

Nivel descriptivo: Se plantea determinar las propiedades de los áridos de las minas en estudio.

Nivel explicativo: Se describe cómo las propiedades y calidad de los áridos en estudio influirán en el módulo de elasticidad estático del hormigón obtenido mediante la normativa ASTM C 469.

Nivel experimental: A partir de los áridos utilizados, su peso unitario y la resistencia a la compresión del hormigón, se sugiere un constante propia, que, como alternativa a las referidas por la normativa ACI 318, permita determinar un módulo de elasticidad estático del hormigón, realista y aplicable a las minas en estudio.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Se elaborarán 3 cilindros para cada resistencia y para cada mina, entendiéndose que serán 12 en total, que se ensayarán a compresión a las edades de 7 y 14 días, bajo la condición de que si no se llegare a cumplir con las resistencias para las cuales se dosificó, se necesitarán realizar los ajustes necesarios y se procederá a repetir nuevamente los ensayos.

2.2.2. Muestra

A continuación, se detalla el número de muestras total que se realizará en el presente trabajo de tesis.

Tabla 1. Probetas por elaborarse en la etapa 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		
Ramírez	210	3	3	3	3	9	21
	280	3	3	3	3	9	21
Las Peñas	210	3	3	3	3	9	21
	280	3	3	3	3	9	21
Total		12	12	12	12	36	84

Fuente: elaboración propia

2.3. Materiales y Equipos

Para la ejecución del trabajo experimental presente, se detallan a continuación los materiales y equipos necesarios, esto en concordancia con los lineamientos para los respectivos ensayos propuestos por las normativas INEN y ASTM, con el fin de determinar las respectivas propiedades de los agregados y, en consecuencia, del hormigón.

2.3.1. Materiales

Ripios y arenas de las minas Las Peñas y Ramírez.

Sacos de 50kg de cemento hidráulico tipo GU

Agua (potable)

Gasolina

Hidróxido de sodio al 3%

2.3.2. Equipos

- Tamices cuadrados metálicos (2", 1½", 1", 3/4", 3/8", 1/2", #4)
- Tamices redondos (#4, #8, #12, #16, #30, #100 y #200)
- Tamizadora
- Máquina de los ángeles
- Horno
- Balanza granataria manual
- Balanza de 30kg, precisión de 1g
- Balanza de 6kg, precisión de 1g
- Balanza analógica de 100kg de capacidad
- Pesas
- Moldes cilíndricos 10x20
- Comparador de colores
- Termómetro de mercurio
- Molde metálico de 22lt
- Picnómetro
- Pipeta
- Teléfono con cámara
- Computador
- Martillo de goma 300 gramos
- Cono truncado metálico
- Compactado de acero de cara circular plana
- Recipiente cilíndrico metálico
- Probetas de 1 litro
- Varilla de compactación punta redonda 16mm
- Cono de Abrams
- Máquina de compresión
- Pala de mano pequeña
- Palustre
- Cepillo de acero
- Brochas

- Embudo
- Canastilla metálica
- Recipientes
- Cámara de curado
- Carretilla
- Bandejas metálicas
- Flexómetro 3m

2.4. Métodos

Plan de recolección de datos

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

Muestreo

1. Acorde la norma NTE INEN 695, recoger agregados fino y grueso de las minas Ramírez y Las Peñas.
2. Transporte hacia la ciudad de Ambato en sacos de yute.
3. Almacenamiento en un lugar cerrado y fresco.
4. Reducir la cantidad para realizar el ensayo con la norma NTE INEN 2566.
5. Cotejamiento de datos y etiquetado de muestras.
6. Traslado a laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la UTA.

Ensayos de caracterización de agregados y recolección de datos para el diseño de hormigones.

7. Secado al aire libre de los áridos.
8. Detección de las impurezas en el agregado fino, de acuerdo a NTE INEN 855.
9. Análisis granulométrico, en concordancia con la norma NTE INEN 696.
10. Determinación de los materiales más pequeños, que atraviesan el tamiz #200, acorde a la norma NTE INEN 697.
11. Determinación de la absorción y densidad relativa del agregado fino, según NTE INEN 856.

12. Determinación de la absorción y densidad relativa del agregado grueso, según NTE INEN 857.
13. Determinación de la masa unitaria para el estado suelto y compactado, acorde a NTE INEN 858.
14. Ensayo de abrasión con máquina de Los Ángeles, normativa NTE INEN 860-861.
15. Determinación de la densidad del cemento NTE INEN 156.
16. Diseño y dosificación de mezcla mediante el método de la densidad máxima, para resistencias a la compresión a los 28 días de edad de 210 y 280 kg/cm².

Elaboración de cilindros etapa inicial y final y ensayos en estado fresco y endurecido

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

2.5. Procesamiento de datos y análisis de la información.

Muestreo

Para un manejo óptimo de la información se brinda la nomenclatura R para la mina Ramírez y L para la mina Las Peñas, simbología que se usará durante todos los ensayos desde la etapa inicial.

Ensayos de caracterización de agregados y recolección de datos para el diseño de hormigones.

Para la segunda etapa de los ensayos, será necesario realizar un registro específico para la elaboración de cada uno de los ensayos, con ayuda de una hoja de cálculo que permita, acorde a las normativas competentes, crear, controlar e interpretar aspectos como rangos tolerables, así como desviaciones estándar y coeficientes. También será útil la elaboración de tablas que ayuden a controlar y a comparar las características de los agregados ensayados de cada mina para que las dosificaciones presenten menores incertidumbres y se pueda relativamente trabajar con resultados esperados.

Finalmente, se realizará una minuciosa tabulación y se trazará la curva edad vs resistencia del hormigón para determinar de la manera más precisa posible, y excluyendo valores irreales, el módulo de elasticidad que relacione la resistencia especificada y su peso unitario.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados.

3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento.

Tabla 2. Resultados del ensayo de densidad real del cemento.

Parámetros de Control		
Parámetro	Valor	Precisión 1 Op INEN 156
Rango	0.008	<0.03
Desviación estándar	0.006	<0.012
Coefficiente de variación (%)	0.002	<1%
Resultado(gr/cm³)	2.978	

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Ensayos en los agregados.

Acorde a la normativa NTE INEN 872, se realizaron los siguientes ensayos para la caracterización de los agregados:

Tabla 3. Ensayos en los agregados para su caracterización

No.	Título del ensayo	Normas	
		INEN	ASTM
1	Muestreo	695:2010	D 75-09
2	Reducción de muestras a tamaño de ensayo	2566:2010	C 702-03
3	Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No. 200), mediante lavado	697:2010	C 117-04
4	Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón	855:2010	C 40-04
5	Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso	696:2011	C 136-06
6	Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino	856:2010	C 128-07a
7	Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso	857:2010	C 127-07
8	Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico)	858:2010	C 29-09
9	Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles	860:2011	C 131-06

Fuente: INEN NTE 872 [21]

3.1.2.1. Toma y reducción de muestras.

Para la toma de muestras, se respetó los criterios propuestos por la normativa NTE INEN 695, de tal manera que el muestreo, una vez hecha una breve inspección visual, se realizó del producto terminado y sin una posterior trituración o reducción manual del tamaño de las partículas. Esto antes mencionado tanto para la mina Ramírez, como para Las Peñas, las cuales no contaban con un equipo idóneo para el muestreo, pero sin embargo se consiguió realizarlo competentemente con equipo propio.

Para ambas minas, el muestreo se lo realizó directamente de los contenedores de estas:

Arena

De acuerdo a la normativa NTE INEN 695, para áridos finos la masa mínima de muestra es de 10 kg y el volumen mínimo 10 litros, los cuales se superaron ampliamente en las dos minas pues la variedad de ensayos que se realizan en el presente trabajo experimental así lo demandan. Para cada mina se mezclaron cuatro porciones al azar de similares cantidades para formar una sola masa homogénea que represente lo mejor posible las características de cada una.

Ripio

De igual manera, obedeciendo la normativa mencionada, se realizó el muestreo con 4 porciones de ripio tomadas al azar y mezcladas luego, para cada mina.

Para la mina Ramírez, al tener un tamaño de partículas de aproximadamente 19mm, la normativa exige un muestreo de por lo menos 25 kg, y para la mina Las Peñas, al tener un tamaño de partículas aproximado de 25mm, de 50 kg; cantidades que al igual y por las mismas razones que para la arena, fueron ampliamente superadas.

3.1.2.2. Determinación del material más fino que pasa por el tamiz No. 200.

Mina Las Peñas

Tabla 4. Mina Las Peñas. Material más fino que pasa el tamiz No.200

Parámetros de control		
Parámetro	Mina Las Peñas	Precisión 1 Op INEN 697
Rango	0.20	<0.43
Desviación estándar	0.13	<0.15
Coefficiente de variación (%)	3.11	--
Resultado (%)	4.33	<7%

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Mina Ramírez. Material más fino que pasa el tamiz No.200

Parámetros de control		
Parámetro	Cantera Ramírez	Precisión 1 Op INEN 697
Rango	0.23	<0.43
Desviación estándar	0.12	<0.15
Coefficiente de variación (%)	2.40	--
Resultado(%)	4.94	<7%




Fuente: elaboración propia

Comentario

En ambas minas, al tratarse de polvo de piedra triturada, la normativa NTE INEN 872 expresa un incremento en el límite permisible de hasta 7% de material que pase el tamiz No. 200, las dos minas se encuentran dentro del rango tolerado, la mina Las Peñas con un 4.33% y la mina Ramírez con un 4.94%. [21]

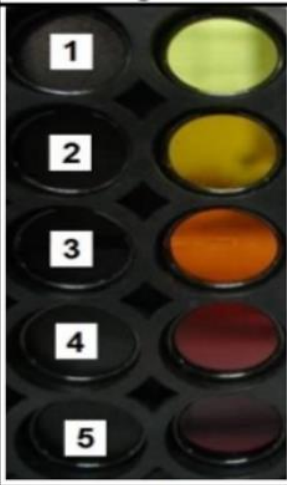


3.1.2.3. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para la elaboración de hormigón.

Tabla 6. Impurezas orgánicas en el árido fino mina Las Peñas

Origen	Mina Las Peñas		
No. comparador	3	Escala Gardner	11
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha Muestreo:	15-Mar-21
Norma	NTE INEN 855:2010	Fecha Ensayo:	15-Mar-21
Paca No.	Muestra #1		Muestra# 2
			
Color	Ambar		
Contenido orgánico aceptable	Si		
Propiedad ASTM C-40: Agregado fino de muy buena calidad al no contener materia orgánica, limoso arcillas.			

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Impurezas orgánicas en el árido fino mina Ramírez

Origen	Cantera Ramirez		
No. comparador	2	Escala Gardner	8
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha Muestreo:	15-Mar-21
Norma	NTE INEN 855:2010	Fecha Ensayo:	15-Mar-21
Paca No.	Muestra #1		Muestra# 2
			
Color	Gris Claro.		
Contenido orgánico aceptable	Si		
Propiedad ASTM C-40: Agregado fino aceptable para su uso en la elaboración de hormigón.			

Fuente: elaboración propia

3.1.2.4. Análisis granulométrico de los agregados

Granulometría del árido fino

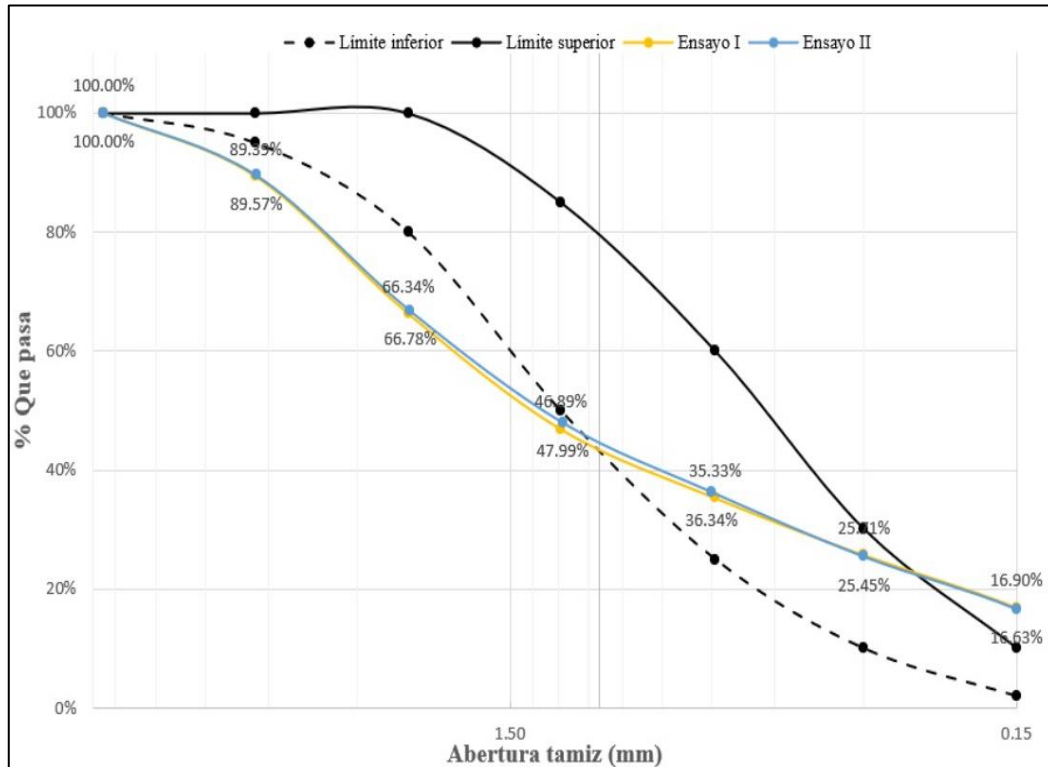
Mina Las Peñas

Tabla 8. Granulometría de árido fino en mina Las Peñas

TAMIZ	Abertura(mm) NTE INEN 154	% Que pasa		Límites NTE INEN 872	
		Ensayo I	Ensayo II	L. inferior	L. superior
3/8 "	9.50	100	100	100%	100%
No. 4	4.75	89.27	89.57	95%	100%
No. 8	2.36	65.96	66.78	80%	100%
No. 16	1.18	46.29	47.99	50%	85%
No. 30	0.60	34.60	36.34	25%	60%
No. 50	0.30	24.87	25.45	10%	30%
No. 100	0.15	15.96	16.63	2%	10%
Módulo de finura				3.23	3.17
Módulo de finura promedio				3.20	

Fuente: elaboración propia

Gráfico 11. Curva granulométrica del árido fino mina Las Peñas.



Fuente: elaboración propia

Comentario

De acuerdo a la normativa NTE INEN 872, las características granulométricas no cumplen con la distribución óptima para todos los tamaños, de tal manera que solo los porcentajes que pasan por los tamices No. 30 y 50 se consideran dentro de un rango adecuado, sin embargo, no se puede decretar que este árido no sirva para realizar un hormigón de características totalmente aceptables.

Otra recomendación que exige la normativa mencionada es que ningún tamiz puede retener más del 45% del material, lo cual se cumple sin problemas en los siete tamices en los cuales ni siquiera se aproxima a este valor.

En cuanto al módulo de finura, este excede por 0.11 al límite superior permitido que es 3.1, esto se puede interpretar porque los tamices No. 4,8 y 16 retienen más material de lo recomendado y las consecuencias para la elaboración de hormigones y morteros se verán

reflejadas en una dificultosa trabajabilidad especialmente en lo que respecta a los enlucidos.

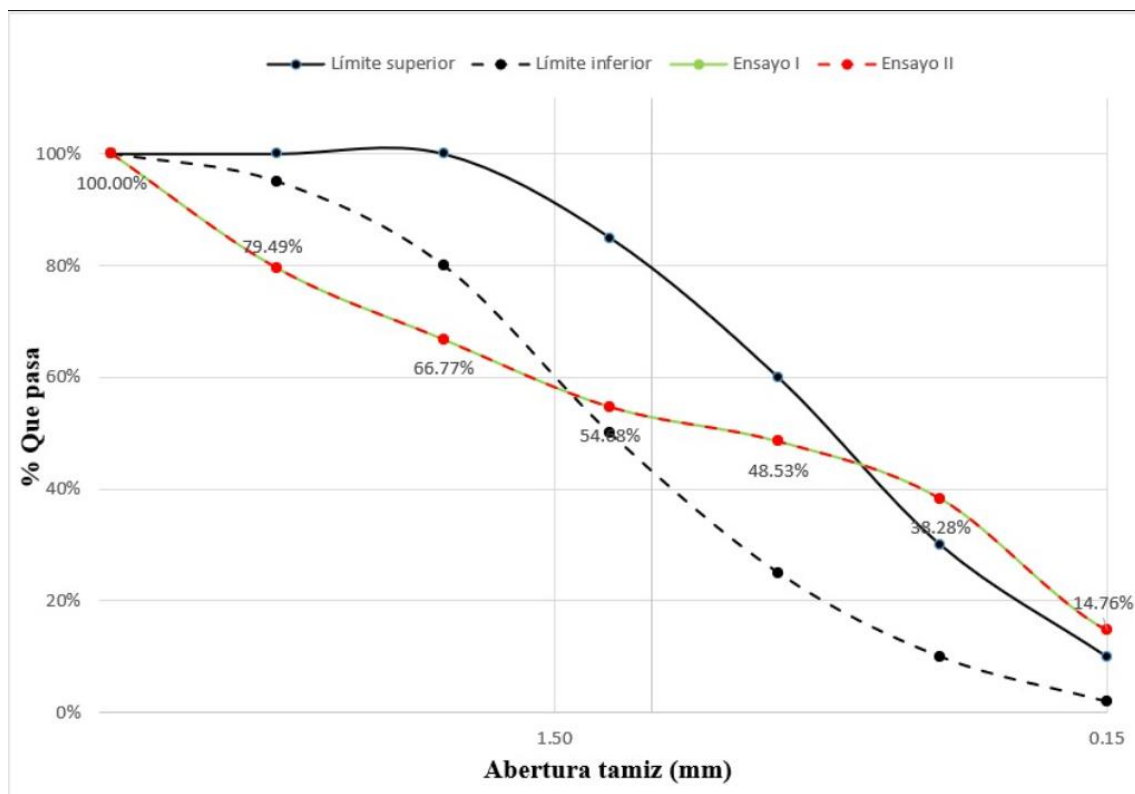
Mina Ramírez

Tabla 9. Granulometría de árido fino en mina Ramírez

TAMIZ	Abertura(mm) NTE INEN 154	% Que pasa		Límites NTE INEN 872	
		Ensayo I	Ensayo II	Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	100	100	100%	100%
No. 4	4.75	79.49	79.58	95%	100%
No. 8	2.36	66.77	65.71	80%	100%
No. 16	1.18	54.68	57.47	50%	85%
No. 30	0.60	48.53	51.37	25%	60%
No. 50	0.30	38.28	41.11	10%	30%
No. 100	0.15	14.76	17.69	2%	10%
Módulo de finura				2.97	2.87
Módulo de finura promedio				2.92	

Fuente: elaboración propia

Gráfico 12. Curva granulométrica del árido fino mina Ramírez.



Fuente: elaboración propia

Comentario

De acuerdo con la normativa NTE INEN 872, las características granulométricas de esta mina tampoco cumplen con la distribución óptima para todos los tamaños, de tal manera que solo los porcentajes que pasan por los tamices No. 16 y 30 se consideran dentro de un rango adecuado, sin embargo, tampoco se puede decretar que este árido sea inservible para realizar un hormigón de características totalmente aceptables.

Según recomendación que exige la normativa mencionada de que ningún tamiz puede retener más del 45% del material, esta también se cumple sin problema en los siete tamices en los cuales ni siquiera se aproxima a este valor.

En cuanto al módulo de finura, a diferencia de la mina Las Peñas, en la mina Ramírez se obtuvo un módulo de finura de 2.93, el cual se encuentra dentro del rango aceptable de entre 2.3 y 3.1, pese a que en solo dos tamices se obtuvo un porcentaje adecuado. Se esperaría entonces que el hormigón fabricado con la arena de la mina Ramírez, tenga mayor densidad y por lo tanto resistencia que el hormigón fabricado con arena de la mina Las Peñas.

Granulometría del agregado grueso

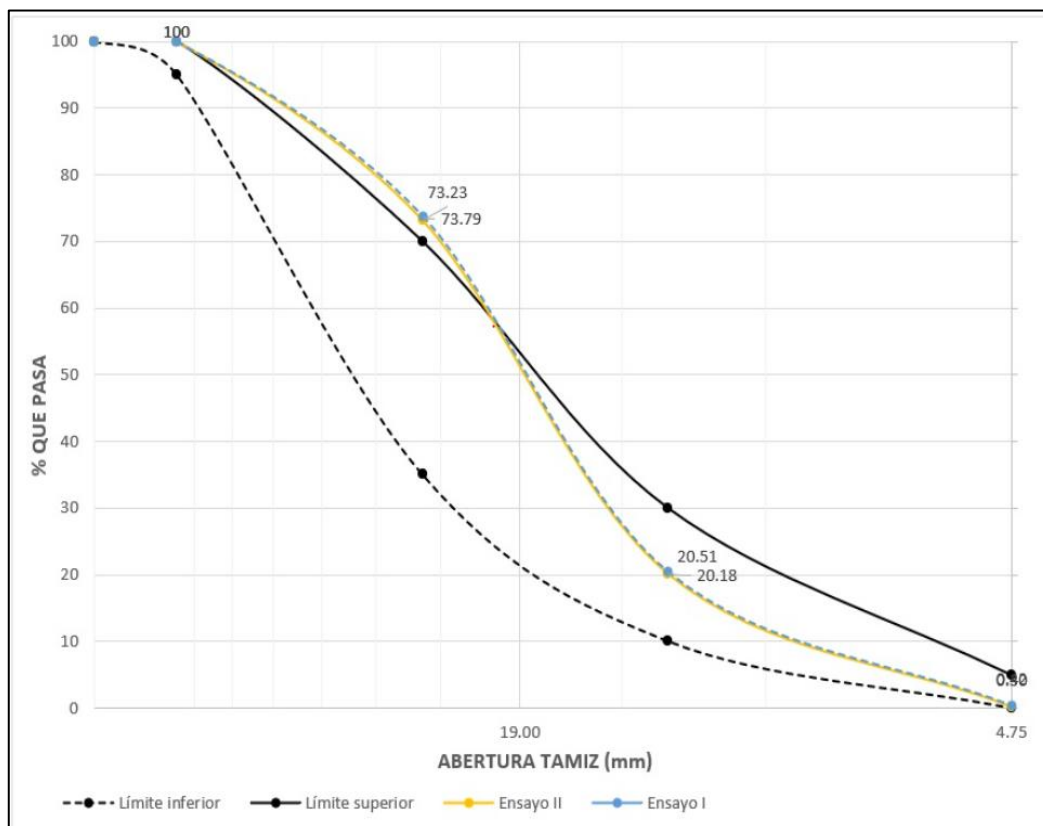
Mina Las Peñas

Tabla 10. Granulometría de árido grueso en mina Las Peñas.

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Límites ASTM 872		Porcentaje que pasa (%)	
		Límite inferior	Límite superior	Ensayo I	Ensayo II
2 1/2"	63.00	100%	100%	100	100
2"	50.00	95%	100%	100	100
1"	25.00	35%	70%	73.79	73.23
1/2"	12.50	10%	30%	20.51	20.18
No. 4	4.75	0%	5%	0.42	0.30
Tamaño Nominal máximo:				1 1/2"	

Fuente: elaboración propia

Gráfico 13. Curva granulométrica del árido grueso mina Las Peñas.



Fuente: elaboración propia.

Comentario

La curva granulométrica de la mina Las Peñas, describe una gradación con tendencia hacia el límite superior de la curva, e inclusive sobrepasan este límite los tamices más grandes que 1 pulgada lo que quiere decir que las partículas pasan estos tamices en un 100%, esto no necesariamente puede concluir en que el hormigón fabricado con este agregado será de mala calidad, pero sin embargo deja una incertidumbre que deberá ser verificada en la fabricación del concreto. En la parte baja de la curva se aprecia que existe una buena gradación pues no se invaden los límites superior ni inferior.

En cuanto a la trabajabilidad, muchos autores refieren que la gradación del agregado grueso es sustancialmente menos invasiva que lo que puede influenciar la gradación del agregado fino principalmente en los requerimientos de agua y cemento. Se ha establecido un tamaño nominal máximo TNM de $1\frac{1}{2}$ " , que es bastante aceptable puesto que partículas demasiado grandes afectarían la trabajabilidad, es mayor la probabilidad que estas presenten fisuras internas, y también aspectos en cuanto al hormigón armado pues podría presentarse atascamientos en el acero de refuerzo durante el colado del hormigón.

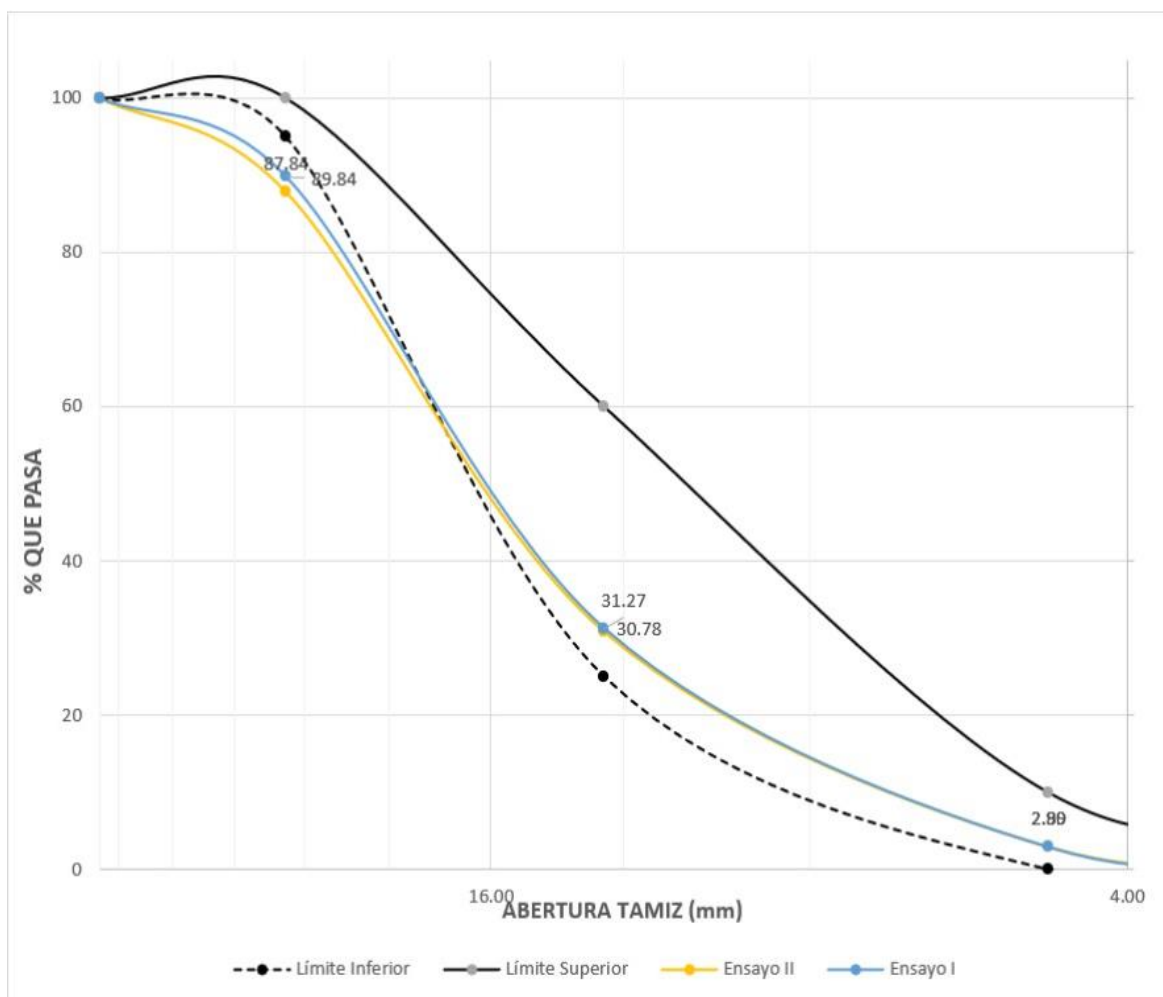
Mina Ramírez

Tabla 11. Granulometría de árido grueso en mina Ramírez.

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Límites ASTM 872		Porcentaje que pasa (%)	
		Límite inferior	Límite superior	Ensayo I	Ensayo II
1 1/2"	37.50	100%	100%	100	100
1"	25.00	95%	100%	89.84	87.84
1/2"	12.50	25%	60%	31.27	30.78
No. 4	4.75	0%	10%	2.89	2.90
No. 8	2.36	0%	5%	1.00	1.40
Tamaño Nominal máximo:				1"	

Fuente: elaboración propia

Gráfico 14. Curva granulométrica del árido grueso mina Ramírez.



Fuente: elaboración propia

Comentario

La curva granulométrica de la mina Ramírez, describe una gradación con tendencia hacia el límite inferior de la curva, e inclusive sobrepasan este límite el tamiz de 1 pulgada, lo que quiere decir que la cantidad de partículas que pasan este tamiz, aproximadamente 89%, es inferior a la deseable que es al menos un 95%, esto tampoco necesariamente puede resultar en que el hormigón fabricado con este agregado será de mala calidad, pero sin embargo deja también una incertidumbre que deberá ser verificada en la fabricación del concreto. En la parte baja de la curva se aprecia que existe una buena gradación pues no se invaden los límites superior ni inferior.

Se ha establecido un tamaño nominal máximo TNM de 1 plg, lo que es muy bueno, incluso mejor que el TNM de la mina Las Peñas, puesto que será menor la probabilidad que estas presenten fisuras internas, y también en cuanto al hormigón armado será menor la posibilidad de presentarse atascamientos en el acero de refuerzo durante el colado del hormigón. Contrariamente, esta grava podría requerir mayor cantidad de agua y cemento pues tiene mayor superficie específica.

3.1.2.5. Determinación de la Gravedad Específica o densidad relativa.

Agregado fino.

Tabla 12. Gravedad específica (SSS) del agregado fino.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	Las peñas	Ramírez	
Rango	0.01	0.002	<0.027
Desviación estándar	0.0086	0.0015	<0.0095
Coeficiente de variación (%)	0.34	0.06	-
Resultado(gr/cm³)	2.525	2.584	-

Fuente: elaboración propia

Agregado grueso.

Tabla 13. Gravedad específica (SSS) del agregado grueso.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 857
	Las Peñas	Ramírez	
Rango	0.004	0.009	<0.02
Desviación estándar	0.003	0.007	<0.007
Coeficiente de variación (%)	0.11	0.26	-
Resultado(gr/cm³)	2.549	2.596	-

Fuente: elaboración propia

Comentario

Tanto para la mina Las Peñas como para la mina Ramírez, la gravedad específica de los agregados, ensayados en un estado SSS, presentan una densidad normal y relativamente común según los parámetros de la normativa NTE INEN 856 y 857. Se puede apreciar que la mina Ramírez, presenta valores más altos por lo que se esperaría obtener un hormigón de mayor resistencia si solo este factor influyera, sin embargo, como ya se ha mencionado son varios los factores que determinarán esto.

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

Árido fino

Tabla 14. Capacidad absorbente del árido fino.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	Las peñas	Ramírez	
Rango	0.15	0.06	<0.31
Desviación estándar	0.13	0.03	<0.11
Coefficiente de variación (%)	5.65	1.25	-
Resultado (%)	2.24	2.29	-

Fuente: elaboración propia.

Comentario

Las minas Las Peñas y Ramírez, presentan un porcentaje superior al 2% de capacidad de absorción que es el límite superior recomendado. Lo óptimo es que el agregado fino tenga una capacidad de absorción de entre 0.2 y 2%, al encontrarse sobre este límite se puede afirmar que son de menor calidad.

Árido grueso

Tabla 15. Capacidad absorbente del árido grueso.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 857
	Las Peñas	Ramírez	
Rango	0.04	0.04	<0.31
Desviación estándar	0.03	0.02	<0.11
Coefficiente de variación (%)	1.14	0.93	-
Resultado (%)	2.34	2.67	-

Fuente: elaboración propia.

Comentario

Las minas Las Peñas y Ramírez, presentan un porcentaje de capacidad de absorción dentro del rango recomendado de entre 0.2 y 4% para agregados gruesos. Lo óptimo es que el agregado fino tenga una capacidad de absorción más cercana al 0.2 que al 4%, pero

al tener valores de 2.34 y 2.67% respectivamente, se afirma que son agregados totalmente competentes en este aspecto.

3.1.2.7. Determinación de la densidad aparente de los agregados.

Tabla 16. Densidad aparente del agregado fino

Parámetro	Suelta		Compactada		Precisión 1 Op INEN 858
	Ramírez	Las peñas	Ramírez	Las peñas	
Rango	0.039	0.005	0.005	0.005	<0.04
Desviación estándar	0.027	0.003	0.003	0.003	<0.014
Coefficiente de variación (%)	1.83	0.22	0.20	0.20	<1%
Resultado(gr/cm3)	1.499	1.550	1.707	1.700	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Densidad aparente del agregado grueso

Parámetro	Suelta		Compactada		Precisión 1 Op INEN 858
	Ramírez	Las peñas	Ramírez	Las peñas	
Rango	0.002	0.015	0.002	0.002	<0.04
Desviación estándar	0.002	0.010	0.002	0.002	<0.014
Coefficiente de variación (%)	0.13	0.77	0.12	0.12	<1%
Resultado(gr/cm3)	1.333	1.332	1.471	1.466	-

Fuente: Elaboración propia

Comentario

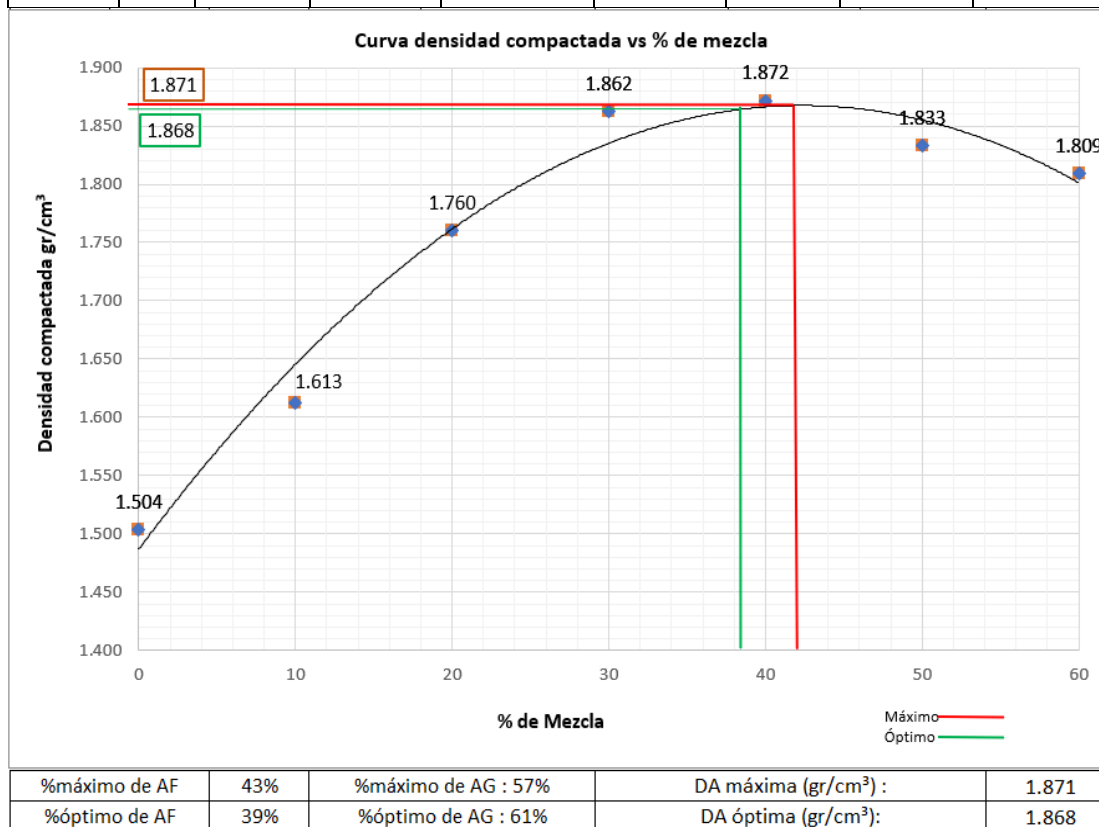
Los resultados obtenidos en los ensayos denotan valores esperados y adecuados para los agregados, al estar dentro del rango sugerido de entre 1.120 gr/cm³ y 1.920 gr/cm³. Como es de esperarse, las densidades compactadas son superiores a las densidades sueltas en todos los casos.

Ensayo de mezcla compactada agregado grueso + agregado fino

Mina Las Peñas

Tabla 18. Densidad aparente compactada de la mezcla, Mina Las Peñas.

% 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	41000	31100	1.506	1.504
					40900	31000	1.501	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43100	33200	1.608	1.613
					43300	33400	1.617	
80	20	40000	10000	5555.56	46400	36500	1.768	1.760
					46100	36200	1.753	
70	30	40000	17142.86	7142.86	48100	38200	1.850	1.862
					48600	38700	1.874	
60	40	40000	26666.67	9523.81	48800	38900	1.884	1.872
					48300	38400	1.860	
50	50	40000	40000	13333.33	47900	38000	1.840	1.833
					47600	37700	1.826	
40	60	40000	60000	20000	47500	37600	1.821	1.809
					47000	37100	1.797	

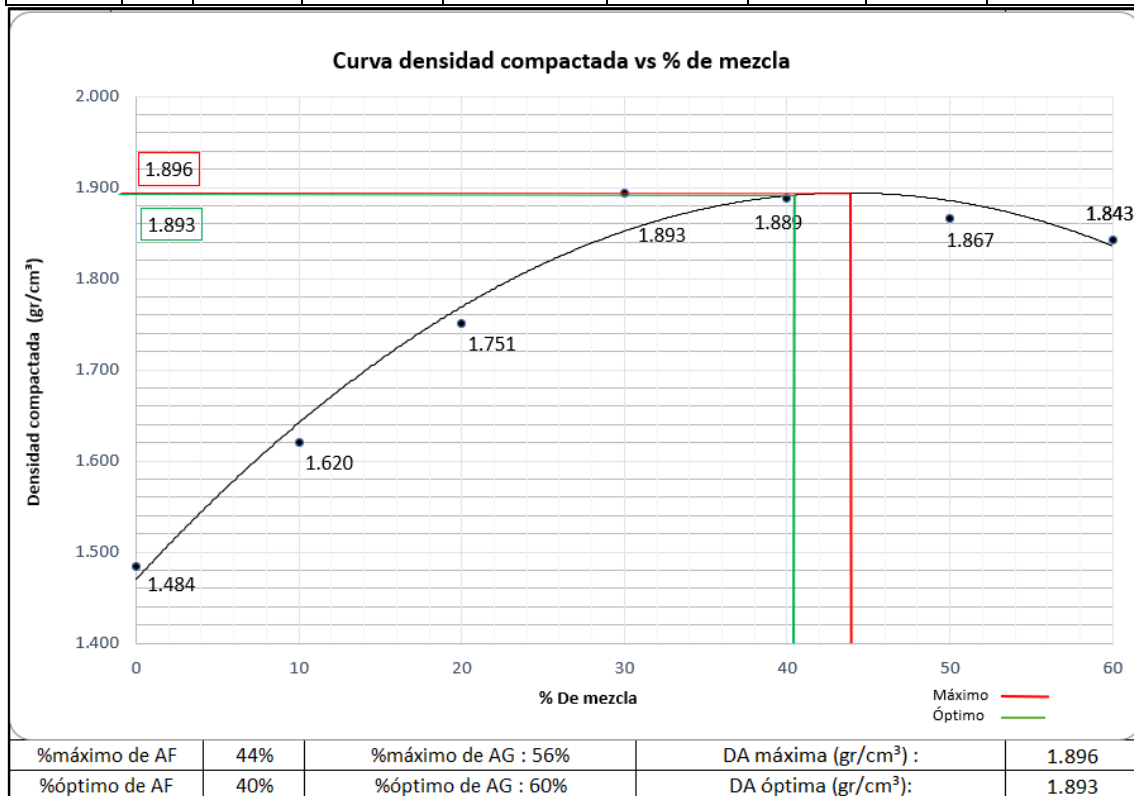


Fuente: elaboración propia

Mina Ramírez

Tabla 19. Densidad aparente compactada de la mezcla, Cantera Ramírez.

% 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	40800	30900	1.496	1.484
					40300	30400	1.472	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43400	33500	1.622	1.620
					43300	33400	1.617	
80	20	40000	10000	5555.56	46000	36100	1.748	1.751
					46100	36200	1.753	
70	30	40000	17142.86	7142.86	48900	39000	1.889	1.893
					49100	39200	1.898	
60	40	40000	26666.67	9523.81	48800	38900	1.884	1.889
					49000	39100	1.893	
50	50	40000	40000	13333.33	48400	38500	1.864	1.867
					48500	38600	1.869	
40	60	40000	60000	20000	47900	38000	1.840	1.843
					48000	38100	1.845	



Fuente: elaboración propia

3.1.2.8. Resistencia a la abrasión del agregado grueso

Desgaste del agregado grueso en partículas menores a 37.5 mm empleando Máquina de los Ángeles

Tabla 20. Resultados porcentuales de desgaste del árido grueso de mina Las Peñas

Parámetro	Cantera Ramírez	Precisión 1 Operador INEN 860
Rango	0.172	<0.045
Desviación estándar	0.122	---
Coefficiente de variación	0.57%	<2%
Porcentaje de desgaste	21.22%	≤50% ASTM C131

Fuente: elaboración propia

Desgaste del agregado grueso en partículas menores a 25 mm empleando Máquina de los Ángeles

Tabla 21. Resultados porcentuales de desgaste del árido grueso de mina Ramírez.

Parámetro	Mina Las Peñas	Precisión 1 Operador INEN 861
Rango	0.326	---
Desviación estándar	0.230	---
Coefficiente de variación	0.62%	---
Porcentaje de desgaste	37.09%	≤50% ASTM C131

Fuente: elaboración propia

Comentario

La normativa ASTM C131, acuerda que las gravas que poseen un desgaste menor al 50% son adecuados para la elaboración de hormigones. Una vez realizado el ensayo de desgaste a la abrasión, el agregado grueso de la mina Las Peñas presentó un desgaste de 37.09%, mientras que para el agregado grueso de la mina Ramírez, se obtuvo un valor de apenas 21.22%, lo que denota que este último tiene una mayor dureza y, por lo tanto, asumiendo que también tiene partículas más pequeñas, garantiza de mejor manera la resistencia del hormigón.

3.1.3. Dosificación del hormigón con el método de la densidad máxima

3.1.3.1. Características principales de los agregados

Las características presentadas a continuación son un resumen de los ensayos hechos previamente, la arena y ripio de las minas Las Peñas y Ramírez cumplen en la mayoría de los ensayos los requerimientos de las normativas, sin embargo, hay parámetros que no se cumplieron y cuya influencia en la dosificación y resistencia del hormigón será obvia.

Arena

Tabla 22. Resumen comparativo de las propiedades de los áridos finos.

Propiedad		Mina	
		Ramírez	Las Peñas
Material más fino que pasa tamiz#200		4.94%	4.33%
Módulo de finura		2.92	3.2
Cumple granulometría		No	No
Densidad SSS (gr/cm ³)		2.584	2.525
Porcentaje de absorción (%)		2.29	2.24
Densidad aparente (gr/cm ³)	Suelta	1.499	1.55
	Compactada	1.707	1.700

Fuente: elaboración propia.

Ripio

Tabla 23. Resumen comparativo de las propiedades de los áridos gruesos.

Propiedad		Mina	
		Ramírez	Las Peñas
Análisis Granulométrico	TM	1 ½"	2"
	TNM	1"	1 ½"
	Cumple límite INEN 872	No	No
Densidad (SSS) (gr/cm ³)		2.596	2.549
Porcentaje de absorción (%)		2.67	2.34
Densidades aparentes	Suelta(gr/cm ³)	1.333	1.332
	Compactada(gr/cm ³)	1.471	1.466
Porcentaje de desgaste		21.22%	37.09%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 24. Densidades aparentes para la mezcla y porcentajes óptimos.

Propiedad	Mina
-----------	------

	Ramírez	Las Peñas
Densidad aparente máxima (gr/cm ³)	1.869	1.875
Densidad aparente óptima (gr/cm ³)	1.893	1.868
Porcentaje óptimo de A. fino (%)	40	39
Porcentaje óptimo de A. grueso (%)	60	61

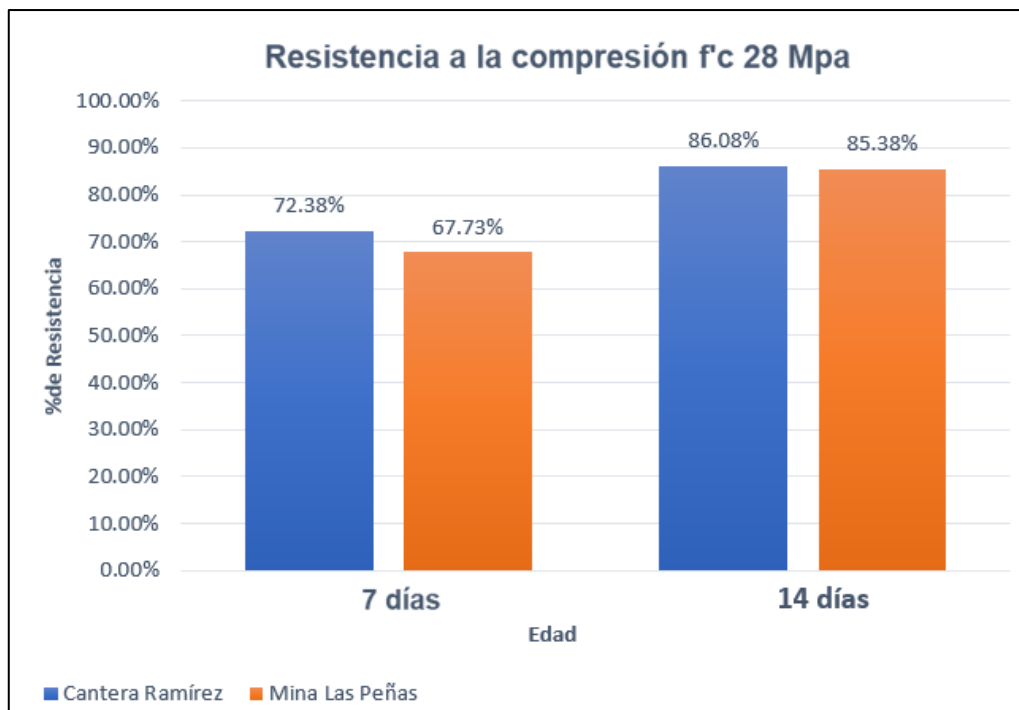
Fuente: elaboración propia.

3.1.3.3. Resultados de mezclas de prueba

Resistencias obtenidas para una dosificación de f'c 28Mpa a los 7 y 14 días de edad

La resistencia alcanzada por las minas Las Peñas y Ramírez, para una dosificación de 28 Mpa, a los siete días de edad supera la esperada del 65%, es así que la mina Las Peñas alcanza un 67.83% de resistencia mientras que la mina Ramírez alcanza un 74.52%; a los 14 días la mina Las Peñas alcanzó un 86.70% de resistencia y la mina Ramírez 87.43%, superando la especificada de al menos 80%.

Gráfico 15. Resistencias alcanzadas a los 7 y 14 días de edad para un f'c de 28Mpa



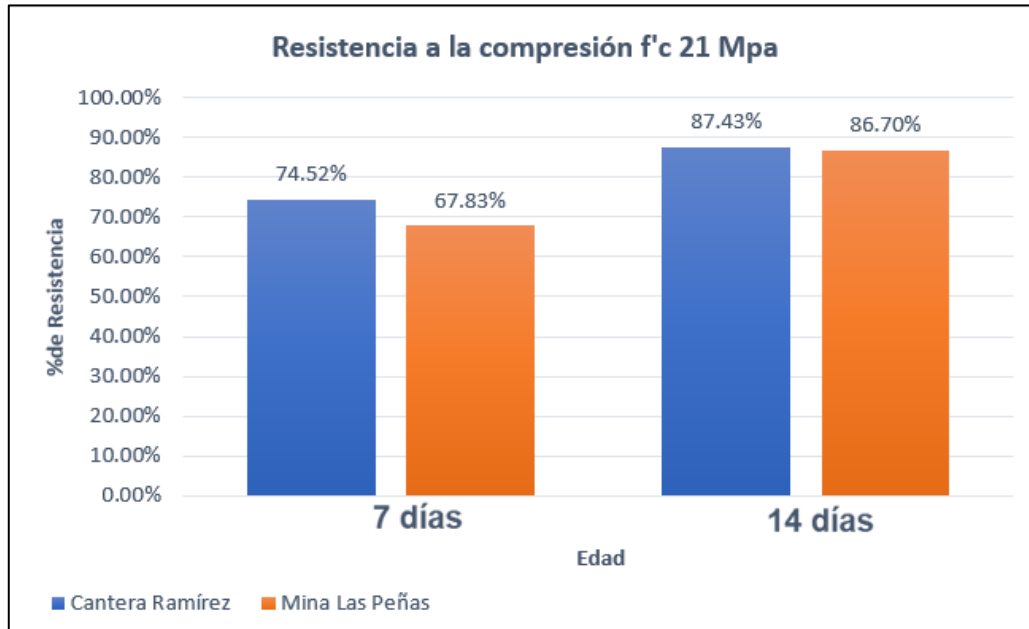
Fuente: elaboración propia

Resistencias obtenidas para una dosificación de f'c 21Mpa a los 7 y 14 días de edad

La resistencia alcanzada por las minas Las Peñas y Ramírez a los siete días de edad, para una dosificación de 21 Mpa, supera la esperada del 65%, es así que la mina Las Peñas

alcanza un 67.73% de resistencia mientras que la mina Ramírez alcanza un 72.38%; a los 14 días la mina Las Peñas alcanzó un 85.38% de resistencia y la mina Ramírez 86.08%, superando la especificada de al menos 80%.

Gráfico 16. Resistencias alcanzadas a los 7 y 14 días de edad para un f'c de 21Mpa



Fuente: elaboración propia

Los valores superiores de la mina Ramírez, tanto a los 7 siete como a los 14 días de edad podían llegar a esperarse pues, sus agregados presentaron, en términos generales, mejores cualidades en los ensayos de caracterización de los agregados. En la sección de anexos se muestra más detalladamente el diseño de mezclas de prueba realizado y los resultados obtenidos en las resistencias.

3.1.4. Diseño final de la mezcla

Mina Las Peñas

a. Condiciones de diseño

Tabla 25. Condiciones de diseño mina Las Peñas

f _c (Kg/cm ²)	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento
210	0.58	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

Fuente: elaboración propia

b. Datos requeridos

Tabla 26. Datos requeridos de diseño mina Las Peñas

Descripción	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.978	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino: DRA	2.525	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.549	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.550	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso: DAR	1.332	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada): DAA	1.700	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada): DAR	1.466	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	39.00	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	61	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.868	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	3.2	-
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	1.816	%
Contenido de humedad del agregado grueso: CHR	1.413	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	2.24	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	2.34	%

Fuente: elaboración propia

c. Resultados

Tabla 27. Resultados mina Las Peñas para f'c 210

Resultados para f'c 210 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	193.60	0.58	29	29	Litros
C	333.79	1.00	50	1	Saco
AF	683.75	2.05	102.42	2.4	Parihuela
AG	1079.70	3.23	161.73	4.5	Parihuela

Fuente: elaboración propia

Tabla 28. Resultados mina Las Peñas para f'c 280

Resultados para f'c 280 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	185.74	0.52	26	26	litros
C	357.20	1.00	50	1	Saco
AF	683.75	1.91	95.71	2.3	Parihuela
AG	1079.70	3.02	151.14	4.2	Parihuela

Fuente: elaboración propia

Mina Ramírez

a. Condiciones de diseño

Tabla 29. Condiciones de diseño mina Ramírez

f _c (Kg/cm ²)	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento
210	0.58	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

Fuente: elaboración propia

b. Datos requeridos

Tabla 30. Datos requeridos de diseño mina Ramírez.

Descripción	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.978	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino: DRA	2.584	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.596	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.499	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso: DAR	1.333	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada): DAA	1.707	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada): DAR	1.471	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	40.00	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	60	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.893	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	2.9	-
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	1.618	%
Contenido de humedad del agregado grueso: CHR	1.403	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	2.29	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	2.67	%

Fuente: elaboración propia

c. Resultados

Tabla 31. Resultados mina Ramírez f'c 210

Resultados para f'c 210 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	196.98	0.58	29	29	litros
C	339.61	1.00	50	1	Saco
AF	712.05	2.10	104.83	2.6	Parihuela
AG	1072.99	3.16	157.97	4.4	Parihuela

Fuente: elaboración propia

Tabla 32. Resultados mina Ramírez para f'c 280

Resultados para f'c 280 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	188.98	0.52	26	26	litros
C	363.42	1.00	50	1	Saco
AF	712.05	1.96	97.96	2.4	Parihuela
AG	1072.99	2.95	147.62	4.1	Parihuela

Fuente: elaboración propia

3.1.4.1. Ensayos con la dosificación definitiva

Ensayos del hormigón fresco

Tabla 33. Ensayos en estado fresco.

Ítems	Mina			
	P210	P280	R210	R280
Fecha elaboración	19-05-21	19-05-21	20-05-21	20-05-21
Hora	15H00	15h00	15h00	15h00
Docilidad	Media	Buena	Media	Buena
Homogeneidad	Media	Media	Media	Media
Temperatura °C	18	19	20	18
Asentamiento(cm)	8.5	8.5	7.5	7.5
Consistencia	Media	Media	Media	Media
Densidad (Kg/m ³)	2280.162	2296.714	2323.664	2357.617

Fuente: elaboración propia

Ensayos del hormigón endurecido

Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico según la norma NTE INEN 1573.

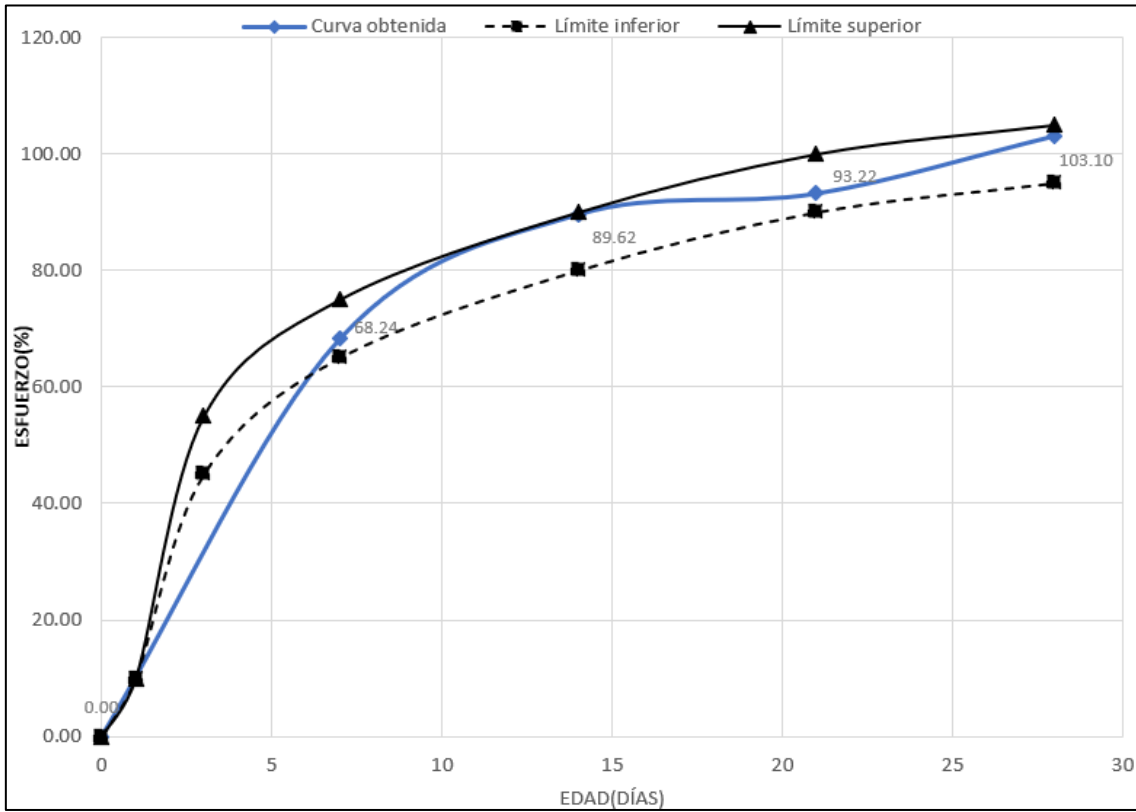
Mina Las Peñas

Tabla 34. Resistencia la compresión en probetas f'c 21 Mpa mina Las Peñas

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio (Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	14.33	68.24%	7	65%	75%
14	18.82	89.62%	14	80%	90%
22	19.58	93.22%	21	90%	100%
28	21.65	103.10%	28	95%	105%

Fuente: elaboración propia

Gráfico 17. Curva esfuerzo vs. tiempo 21Mpa mina Las Peñas



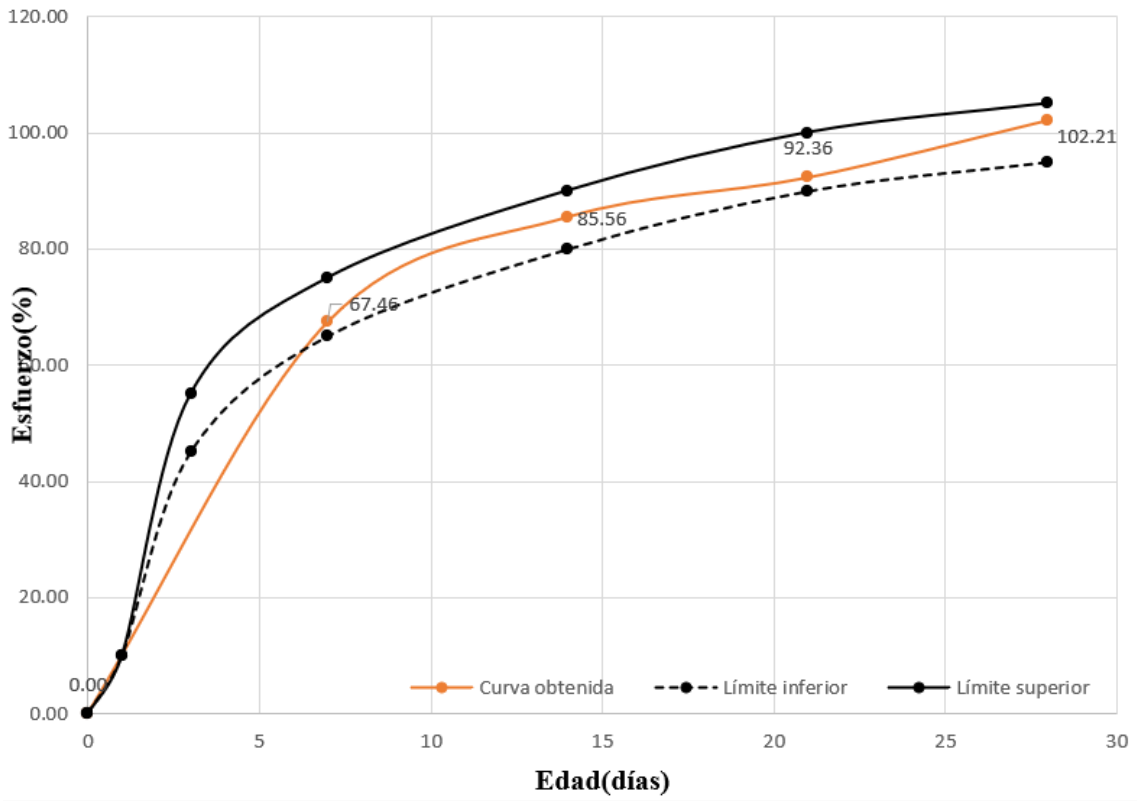
Fuente: elaboración propia

Tabla 35. Resistencia la compresión en probetas f'c 28 Mpa mina Las Peñas

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	18.89	67.46%	7	65%	75%
14	23.96	85.56%	14	80%	90%
21	25.86	92.36%	21	90%	100%
28	28.62	102.21%	28	95%	105%

Fuente: elaboración propia

Gráfico 18. Curva esfuerzo vs. tiempo f'c 28 Mpa mina Las Peñas



Fuente: elaboración propia

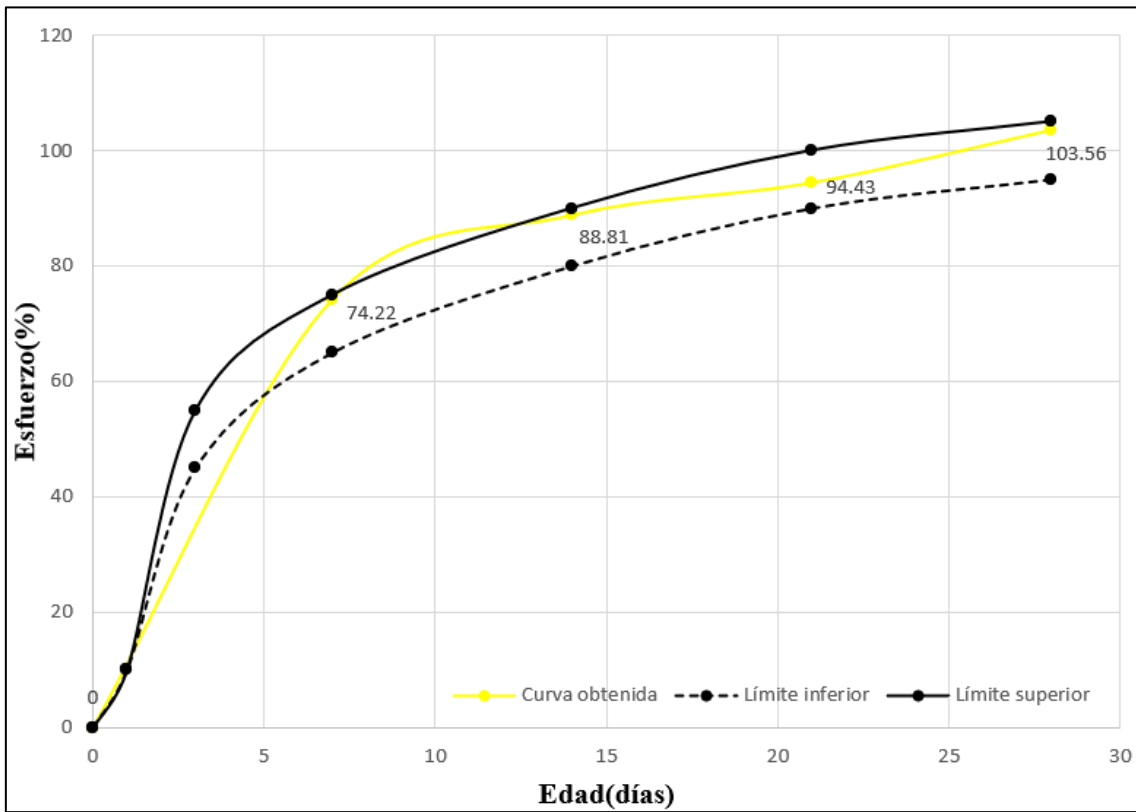
Mina Ramírez

Tabla 36. Resistencia la compresión en probetas f'c 21 Mpa mina Ramírez

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio (Mpa)	Porcentaje de esfuerzo	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	15.59	74.22%	7	65%	75%
14	18.65	88.81%	14	80%	90%
22	19.83	94.43%	21	90%	100%
28	21.75	103.56%	28	95%	105%

Fuente: elaboración propia

Gráfico 19. Curva esfuerzo vs. Tiempo 21Mpa mina Ramírez



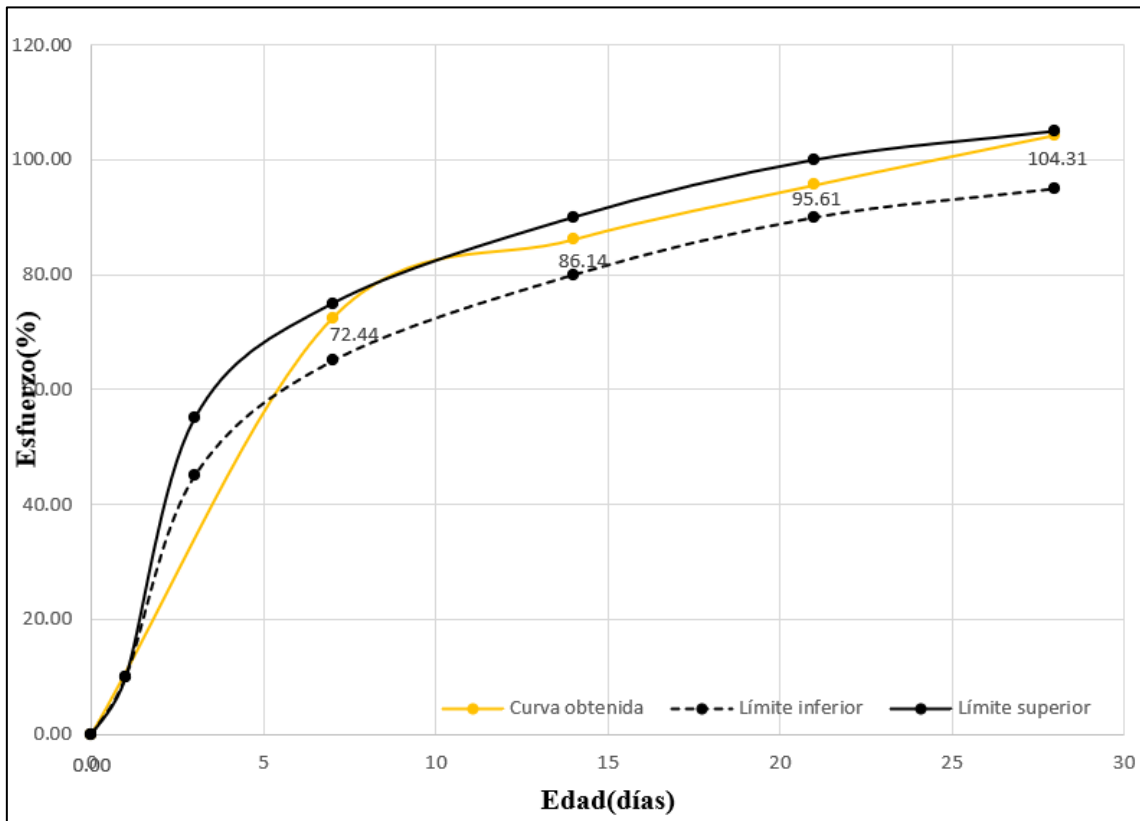
Fuente: elaboración propia

Tabla 37. Resistencia la compresión en probetas f'c 28 Mpa mina Ramírez

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio (Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	20.28	72%	7	65%	75%
14	24.12	86%	14	80%	90%
21	26.77	96%	21	90%	100%
28	29.21	104%	28	95%	105%

Fuente: elaboración propia

Gráfico 20. Curva esfuerzo vs. tiempo f'c 28 Mpa mina Ramírez



Fuente: elaboración propia

3.1.5. Cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón MEE

Mina Las Peñas

Tabla 38. Módulo de elasticidad estático para f'c 21 Mpa mina Las Peñas

Código	P210			Norma:	ASTM C 469		
Fecha de elaboración:	19-05-21			Fecha Ensayo	16-06-21		
Edad:	28 días			e1	0.00005		
Resistencia obtenida(Mpa):	21.65			S2(Mpa):	8.660		
Probeta N.º	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10⁻⁵		
1M	1040	201	3.74	1.81222	41.10	2338.75	18968.9
2M	103	203	3.72	1.82026	41.45	2326.25	18764.7
3M	102	201	3.76	2.01458	40.70	2346.88	18614.6
4M	103	204	3.88	1.95651	40.60	2426.88	18830.0

5M	100	202	3.68	1.94304	40.50	2301.25	18921.0
6M	101	203	3.69	1.89458	40.80	2307.50	18897.8
7M	102	201	3.72	1.91686	41.01	2325.63	18725.7
8M	104	203	3.76	1.98175	40.12	2351.25	19013.9
9M	101	202	3.75	2.17963	39.10	2346.25	19004.0
Parámetros de control			Rango			125.6	399.3
			Desviación estándar			36.6	136.8
			Coeficiente de variación			2%	1%
			Promedio			2341.2	18860.1
			Mediana			2338.75	18897.81

Fuente: elaboración propia

Tabla 39. Módulo de elasticidad estático para f'c 28 Mpa mina Las Peñas

Código			P280			Norma:	ASTM C-469
Fecha de elaboración:			19-05-21			Fecha Ensayo	16-06-21
Edad:			28 días			e1	0.00005
Resistencia obtenida (Mpa):			28.62			S2(Mpa):	11.45
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m ³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
10M	101	202	3.712	2.07276	48.22	2320.00	21690.5
11M	103	201	3.722	2.07715	47.90	2326.25	21843.5
12M	102	202	3.755	1.99479	49.00	2346.88	21484.6
13M	101	203	3.683	1.67910	49.64	2301.88	21883.7
14M	100	203	3.792	2.04758	48.15	2370.00	21788.0
15M	101	203	3.812	2.85847	44.85	2382.50	21554.7
16M	102	200	3.721	2.78260	45.40	2325.63	21449.0
17M	103	203	3.803	1.99140	49.10	2376.88	21443.5
18M	101	201	3.754	1.98451	48.30	2346.25	21855.6
Parámetros de control			Rango			80.6	440.2
			Desviación estándar			28.0	184.5
			Coeficiente de variación			1%	1%
			Promedio			2344.0	21665.9
			Mediana			2346.25	21690.50

Fuente: elaboración propia

Tabla 40. Módulo de elasticidad estático para f'c 21 Mpa mina Ramírez

Código		R210		Norma:	ASTM C-469		
Fecha de elaboración:		20-05-21		Fecha Ensayo	17-06-21		
Edad:		28 días		e1	0.00005		
Resistencia obtenida (Mpa):		21.75		S2(Mpa):	8.70		
Probeta Nº	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m ³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
1M	104	203	3.832	1.82438	38.10	2395.00	20768.2
2M	102	201	3.822	2.01810	37.10	2388.75	20811.7
3M	102	202	3.855	1.70060	38.60	2409.38	20827.6
4M	103	203	3.813	1.78411	38.10	2383.13	20889.9
5M	100	203	3.922	1.60446	39.20	2451.25	20743.3
6M	101	202	3.805	1.89438	37.60	2378.13	20872.0
7M	102	200	3.821	1.76835	38.42	2388.13	20737.0
8M	101	203	3.812	2.29025	35.70	2382.50	20874.3
9M	101	202	3.895	2.33454	35.90	2434.38	20595.9
Parámetros de control			Rango		73.1	294.0	
			Desviación estándar		25.6	92.8	
			Coeficiente de variación		1%	0.45%	
			Promedio		2401.2	20791.1	
			Mediana		2388.75	20811.72	

Fuente: elaboración propia

Tabla 41. Módulo de elasticidad estático para f'c 28 Mpa mina Ramírez

Código		R280		Norma:	ASTM C-469		
Fecha de elaboración:		20-05-21		Fecha Ensayo	17-06-21		
Edad:		28 días		e1	0.00005		
Resistencia obtenida (Mpa):		29.21		S2(Mpa):	11.68		
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m ³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
10M	101	200	3.772	1.76842	46.10	2357.50	24122.3
11M	103	201	3.822	1.79788	46.52	2388.75	23805.6
12M	100	204	3.895	1.84059	46.60	2434.38	23658.8
13M	101	203	3.883	1.51406	47.60	2426.88	23870.0
14M	100	203	3.872	1.50151	47.20	2420.00	24126.0
15M	101	202	3.861	1.49840	47.10	2413.13	24190.7
16M	103	200	3.821	1.38174	47.67	2388.13	24140.9
17M	103	203	3.762	1.61235	46.59	2351.25	24213.3
18M	101	202	3.754	1.30658	47.76	2346.25	24265.9
Parámetros de control			Rango		88.1	607.0	
			Desviación estándar		33.9	202.5	
			Coeficiente de variación		1%	1%	
			Promedio		2391.8	24102.5	
			Mediana		2388.75	24140.91	

Fuente: elaboración propia

Cálculos típicos

Para fines prácticos se ha escogido una sola probeta al azar, la 15M de la tabla 39. Los cálculos típicos se repiten para todas las probetas, en las dos minas.

Se ha estimado la media aritmética del total de las probetas ensayadas para seleccionar el valor del módulo de elasticidad estático y densidad.

Datos:

$$S1 = 1.4984 \text{ Mpa}$$

$$S2 = 11.684 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_2 = 0.0004710 \text{ m}$$

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.00005)}$$

$$E = \frac{(11.684 - 1.4984)}{(0.0004710 - 0.00005)}$$

$$E = 24190.7 \text{ Mpa}$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad secante, Mpa

S1: Esfuerzo de la deformación longitudinal, Mpa

S2: Esfuerzo al 40% de la carga última, Mpa

ε_2 : Deformación longitudinal producida por el esfuerzo *S*₂

3.1.5.1. Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que demuestra la variación entre los valores calculados analíticamente por el método de la normativa ACI, y, experimentalmente mediante el método ASTM C469.

Tabla 42. Resumen comparativo MEE experimental y teórico.

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
Ramírez	R210	21.75	2401.18	20791.1	23594.0	12%	21917.7	5%
	R280	29.21	2391.81	24102.5	27183.1	11%	25400.3	5%
Las Peñas	P210	21.65	2341.18	18860.1	22664.7	17%	21868.9	14%
	P280	28.62	2344.03	21665.9	26106.4	17%	25143.9	14%

Fuente: elaboración propia

Factores locales K_a y K_b

Los factores K_a y K_b son esenciales para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, sus ecuaciones parten de las ecuaciones propuestas por ACI 318 y se definen a continuación.

Para hormigones ligeros

$$E_c = w_c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'c} \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = w_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'c} \text{ Mpa}$$

$$E_c = w_c^{1.5} * k_a * \sqrt{f'c}$$

$$k_a = \frac{E_c}{w_c^{1.5} * \sqrt{f'c}}$$

Nota: la ecuación propuesta de k_a para hormigones ligeros, abarca hormigones de una densidad entre 1140 y 2560 Kg/m³.

Para hormigones de peso normal

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

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'c} \text{ Mpa}$$

$$E_c = k_b * \sqrt{f'c}$$

$$k_b = \frac{E_c}{\sqrt{f'c}}$$

Nota: la ecuación propuesta de k_b para hormigones ligeros, abarca hormigones de una densidad entre 2300 y 2400 Kg/m³.

Donde

E_c : Módulo de elasticidad estático del hormigón,

$f'c$: Resistencia a la compresión obtenida del concreto

W_c : Peso unitario del hormigón de acuerdo al método gavimétrico

Resultados obtenidos

Mina Las Peñas

Tabla 43. Factores de zona obtenidos para el módulo de elasticidad estático

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para Ec en Mpa		Para Ec en Kg/cm ²	
		Ka	Kb	Ka	Kb
Las Peñas	P210	0.0358	4053.4	0.114	12943.6
	P280	0.0357	4049.9	0.114	12932.5
Parámetros de control	Rango	0.000	3.5	0.000	11.1
	Desviación estándar	0.0001	2.46	0.000	7.9
	Coefficiente de Variación	0.2%	0.06%	0.19%	0.06%
	Mediana	0.036	4051.6	0.114	12938
	Promedio	0.036	4051.6	0.114	12938

Fuente: elaboración propia

Cantera Ramírez

Tabla 44. Factores de zona obtenidos para el módulo de elasticidad estático

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para Ec en Mpa		Para Ec en Kg/cm ²	
		Ka	Kb	Ka	Kb
Ramírez	R210	0.038	4458.4	0.121	14237.1
	R280	0.038	4459.9	0.122	14241.7
Parámetros de control	Rango	0.000	1.4	0.001	4.6
	Desviación estándar	0.0002	1.02	0.001	3.3
	Coefficiente de Variación	0.4%	0.02%	0.44%	0.02%
	Mediana	0.038	4459.1	0.121	14239.4
	Promedio	0.038	4459.1	0.121	14239.4

Fuente: elaboración propia

Valores propuestos para los factores ka y kb

Tabla 45. Factores ka y kb calculados

Procedencia	(a) $E_c = w_c^{1.5} * k_a * \sqrt{f'c}$		(b) $E_c = k_b * \sqrt{f'c}$	
	Factor ka		Factor kb	
	Mpa	Kg/cm ²	Mpa	Kg/cm ²
Cantera Ramírez	0.0380	0.1214	4459	14239
Mina Las Peñas	0.0357	0.1141	4052	12938

Fuente: elaboración propia

3.2 Validación de la hipótesis

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo experimental, se ratifica la hipótesis planteada, las características de los áridos de las minas Las Peñas y Ramírez influyen en el módulo de elasticidad estático del hormigón estructural.

En la hipótesis del presente trabajo de experimentación, se estableció una variación máxima del módulo de elasticidad estático de hasta 20% con respecto al valor calculado mediante la ecuación propuesta por ACI 318, esta tolerancia no se sobrepasó, es así que, mediante el método de ASTM C469 se obtuvo las siguientes variaciones:

En la mina Las Peñas se tiene una variación máxima de 17% y 14% para hormigones ligeros y de peso normal respectivamente; mientras que, con mejores resultados, la mina Ramírez presenta variaciones de 12% y 5% de variación para hormigones ligeros y de densidad normal respectivamente. Estos valores se presentan en la Tabla 42.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones específicas.

- Se determinaron las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los agregados, tal como densidad real del agregado fino, obteniendo los valores de $2.584 \frac{gr}{cm^3}$ y $2.525 \frac{gr}{cm^3}$, para Cantera Ramírez y mina Las Peñas respectivamente, necesarias para realizar la dosificación y elaboración del hormigón.
- Se determinaron las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los agregados, tal como densidad real del agregado grueso, obteniendo los valores de $2.596 \frac{gr}{cm^3}$ y $2.549 \frac{gr}{cm^3}$, para Cantera Ramírez y mina Las Peñas respectivamente, necesarias para realizar la dosificación y elaboración del hormigón.
- Se determinaron las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los agregados, tal como la capacidad de absorción del agregado fino, obteniendo los valores de 2.29% y 2.24%, para Cantera Ramírez y mina Las Peñas respectivamente, necesarias para realizar la dosificación y elaboración del hormigón.
- Se determinaron las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los agregados, tal como la capacidad de absorción del agregado grueso, obteniendo los valores de 2.67% y 2.34%, para Cantera Ramírez y mina Las Peñas respectivamente, necesarias para realizar la dosificación y elaboración del hormigón.
- Se determinaron los porcentajes óptimos de agregado que deben usarse en las mezclas de hormigón, obteniendo como resultado el 39% y 61% para el agregado fino y grueso respectivamente, para mina Las Peñas.

- Se determinaron los porcentajes óptimos de agregado que deben usarse en las mezclas de hormigón, obteniendo como resultado el 40% y 60% para el agregado fino y grueso respectivamente, para cantera Ramírez.
- Se realizó la dosificación necesaria para la elaboración de probetas cilíndricas para resistencias a la compresión a los 28 días de edad de: 210 y 280 kg/cm², utilizando el método de la densidad óptima.
- Se determinó el valor de la constante ka, que interviene en el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, obteniendo, para Cantera Ramírez ka = 0.1214, valor que puede ser sustituido en la ecuación $E_c = w c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$ propuesta por ACI.
- Se determinó el valor de la constante ka, que interviene en el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, obteniendo, para mina Las Peñas ka = 0.1141, valor que puede ser sustituido en la ecuación $E_c = w c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$ propuesta por ACI.
- Se determinó el valor de la constante kb que interviene en el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, obteniendo el valor de: kb = 14239 para cantera Ramírez, valor que puede ser sustituido en la ecuación $E_c = 15100 * \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$, propuesta por ACI.
- Se determinó el valor de la constante kb que interviene en el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, obteniendo el valor de ka = 12938 para mina Las Peñas, valor que puede ser sustituido en la ecuación $E_c = 15100 * \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$, propuesta por ACI.

RECOMENDACIONES

- Las muestras para ensayar en laboratorio deben ser tomadas del producto terminado, en cada una de las minas.
- El número de muestras in situ tomadas de la producción final debe ser suficiente para garantizar resultados reales en cada uno de los ensayos de laboratorio.
- Al realizar el ensayo de granulometría de los agregados, la muestra debe ser, aproximadamente, la cantidad requerida en seco y se la debe obtener como el resultado final de la reducción de la muestra a tamaño de ensayo.
- La densidad relativa de los agregados en estado saturado superficie seca, se la debe utilizar siempre y cuando el árido esté húmedo, esto es, si el árido ha alcanzado su absorción.
- Pueden existir diferencias significativas en la densidad real y la absorción del árido fino con un alto porcentaje de material más fino que $75\mu\text{m}$, por ello, se recomienda eliminar estas partículas mediante el lavado previo al ensayo.
- Cuando se han de utilizar los valores de absorción y densidad real en la dosificación de mezclas de hormigón, en las que el árido está en condición de humedad natural, el sacado en el horno de la muestra previo al ensayo, es opcional.
- Se debe ensayar el árido grueso en varias fracciones de tamaño, si más del 15% de la muestra es retenida en el tamiz de 37.5 mm.
- Cuando se ensaya un árido en fracciones separadas, la masa mínima de la muestra de ensayo para cada fracción debe ser la diferencia entre las masas indicadas para los tamaños máximo y mínimo de la fracción de árido.
- Los hormigones en los que la gradación del árido fino, tiene porcentajes cercanos a los mínimos en los tamices $300\mu\text{m}$ y $150\mu\text{m}$, a veces tienen dificultades con la trabajabilidad, bombeo o presentan exudación excesiva, para estos casos se recomienda inclusión de aire incorporado o un aditivo.
- El árido grueso triturado puede contener componente que sean susceptibles a la reactividad álcali-agregado, por ello, se recomienda verificar la presencia de los mismos mediante ensayos adicionales.

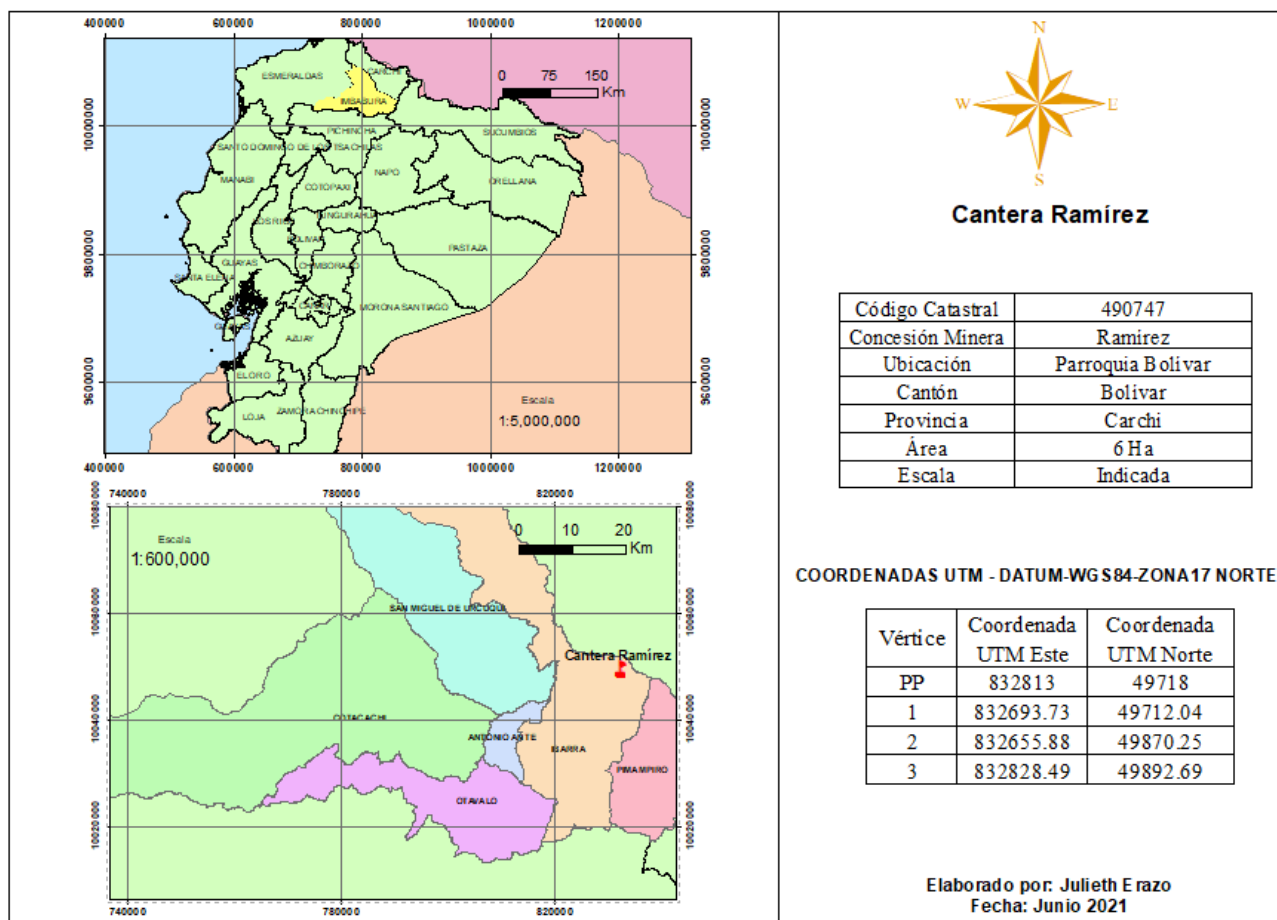
Bibliografía

- [1] J. Niño, Tecnología del concreto, Colombia: Asociación colombiana de productores de concreto, 2010.
- [2] R. B. Jack McCorman, Diseño de Concreto Reforzado, México: Alfaomega, 2011.
- [3] R. Quimbay, Estimación del módulo de elasticidad del concreto y del mortero mediante TCTM, Colombia, 2015.
- [4] C. A. 318, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-19, USA: American Concrete Institute, 2019.
- [5] Ó. Andachi, Estudio del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión fabricado con materiales de las minas La Playa ubicada en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi y Salvador ubicada en Ambato provincia de Tungurah, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2020.
- [6] J. Sánchez, La resistencia a la compresión del hormigón y su influencia en el módulo de elasticidad estático en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua., Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2013.
- [7] A. Ortega, La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2013.
- [8] E. García, Módulo de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión $f'c=240\text{Mpa}$, fabricado con materiales de la mina Villacrés, ubicada en el sector de La Península del cantón Ambato provincia de Tungurahua y cemento Holcim, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2013.
- [9] S. R. M. E. C. O. F. Rodríguez, Efectos de la calidad de agua en la resistencia del concreto, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [10] R. C. E. M. J. Chan YAm, Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto, México: Universidad Autónoma de Yucatán, 2003.
- [11] H. A. I. Ahmed, Deterioration of concrete structures, Journal of Performance of Constructed Facilities, 2010.
- [12] T. Harmsen, Diseño de estructuras de concreto armado, Perú: Universidad Católica de Perú, 2005.
- [13] J. B. A. Neville, Tecnología del concreto, México: Trillas, 1998.
- [14] H. Minetti, Guía práctica: Hormigón elaborado, 2008: HCB Cementverkauf, Argentina.
- [15] I. E. d. Normalización, NTE INEN 694:2010 Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología., Quito, 2010.

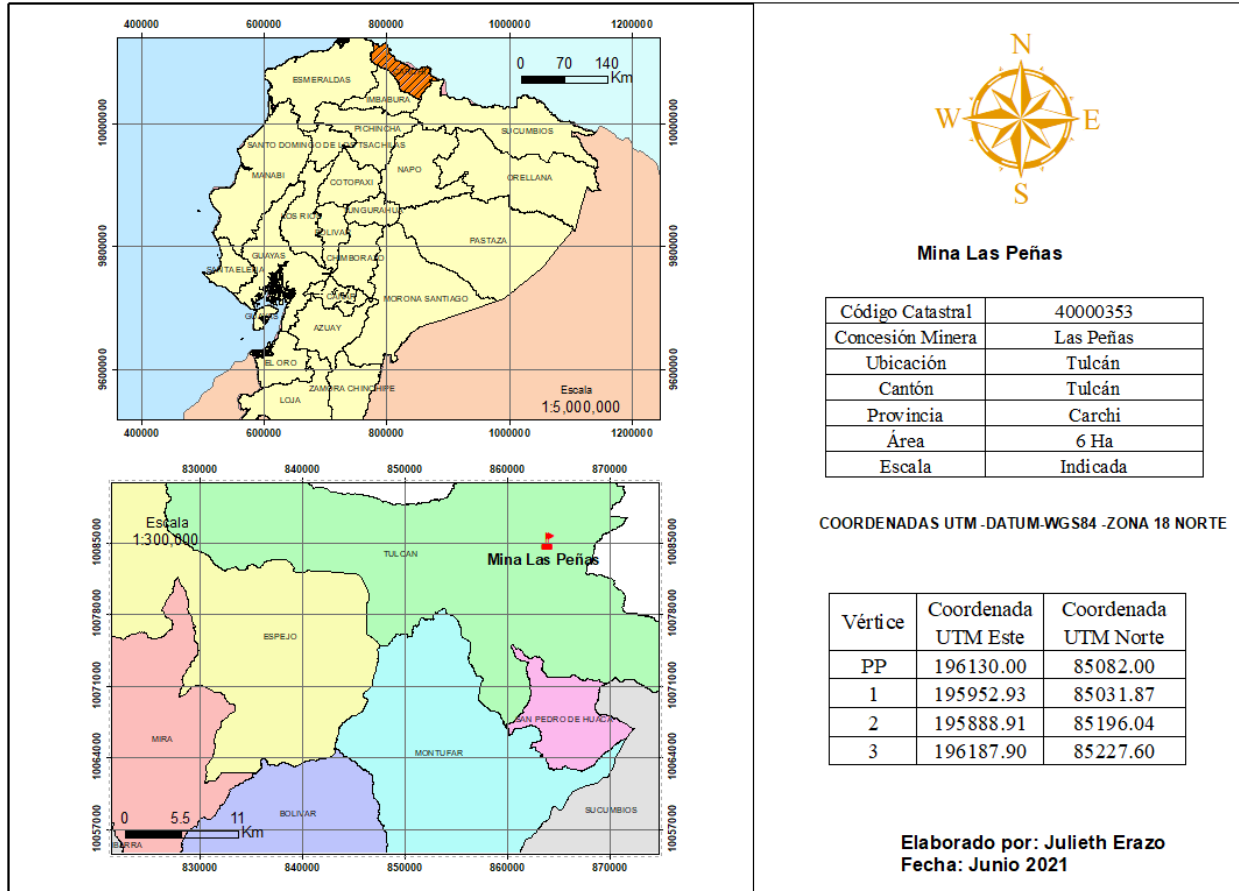
- [16] J. Z. M. Maumlouk, Materiales para Ingeniería Civil, volumen II, Madrid: Pearson Education, 2009.
- [17] M. M. d. D. U. y. Vivienda, Estructuras de Hormigón Armado, Quito, 2015.
- [18] M. Garzón, Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2010.
- [19] I. E. d. Normalización, NTE INEN 1672:2015 Hormigón. Definiciones y Terminología, Quito, 2015.
- [20] W. C. D. G. L. V. E. Arequipa, Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión simple $f'c$ 21Mpa y 30Mpa, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2012.
- [21] I. E. d. Normalización, NTE INEN 872:2011 Áridos para hormigón. Requisitos, Quito, 2011.
- [22] I. E. d. Normalización, NTE INEN 863:2011 Áridos. Determinación del valor de la solidez de los áridos mediante el usos de sulfato de sodio o sulfato de magnesio., Quito, 2011.
- [23] I. E. d. Normalización, NTE INEN 860:2011 Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles, Quito, 2011.
- [24] I. E. d. Normalización, NTE INEN 861:2011 Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles, Quito, 2011.
- [25] UNAM, Manual de Tecnología del Concreto, México: Universidad Nacional de México, 1997.
- [26] I. E. d. Normalización, NTE INEN 858:2010 Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos., Quito, 2010.
- [27] UNAN, Manual de tecnología del Concreto, México: Limusa, 1997.
- [28] M. Coro, Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera San Roque para $f'c$ 28 Mpa., Quito: Universidad Central del Ecuador, 2014.
- [29] S. Carrasco, Metodología de la Investigación Científica, Lima: San Marcos, 2005.

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación Minas Cantera Ramírez



Mina Las Peñas



Mina Las Peñas

Código Catastral	40000353
Concesión Minera	Las Peñas
Ubicación	Tulcán
Cantón	Tulcán
Provincia	Carchi
Área	6 Ha
Escala	Indicada

COORDENADAS UTM -DATUM-WGS84 -ZONA 18 NORTE

Vértice	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte
PP	196130.00	85082.00
1	195952.93	85031.87
2	195888.91	85196.04
3	196187.90	85227.60

Elaborado por: Julieth Erazo
Fecha: Junio 2021



Anexo 3. Resultados de ensayos de laboratorio realizados.

a) Material más fino que pasa el tamiz No. 200

Origen	Las Peñas			
Peso de la muestra(gr)	1000			
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha Muestreo:		15-Mar-21
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:		15-Mar-21
Descripción	Ensayo			Unidad
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	1000	1000	1000	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	955.7	956.2	958.2	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	4.4	4.4	4.2	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	4.33			%

Origen	Mina Ramírez			
Peso de la muestra(gr)	1000			
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha Muestreo:		15-Mar-21
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:		15-Mar-21
Descripción	Ensayo			Unidad
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	1000	1000	1000	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	950.2	951.9	949.6	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	5.0	4.8	5.0	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	4.94			%

b) Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino.

Parámetro	Mina	
	Cantera Ramírez	Mina Las Peñas
Color de la muestra, placa orgánica		
Referencial	Color transparente	Color transparente
No comparador	2	3
Color escala Gardner	8	11
Contenido aceptable	Si	Si
Propiedad ASTM C40	Arena de muy buena calidad, no contiene materiales orgánicos, limos o arcillas.	Arena de muy buena calidad, no contiene materiales orgánicos, limos o arcillas.

c) Análisis granulométrico en el árido fino.

Mina Las Peñas

Origen		Las Peñas			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		800			Pérdida de muestra		0.16%	
Ensayado por		Julieth Erazo			Fecha Muestreo:		17 de marzo 21	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		17 de marzo 21	
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	85.70	85.70	10.73%	10.73%	89.27%	95%	100%
No. 8	2.38	186.20	271.90	23.31%	34.04%	65.96%	80%	100%
No. 16	1.19	157.10	429.00	19.67%	53.71%	46.29%	50%	85%
No. 30	0.59	93.40	522.40	11.69%	65.40%	34.60%	25%	60%
No. 50	0.30	77.70	600.10	9.73%	75.13%	24.87%	10%	30%
No. 100	0.15	71.15	671.25	8.91%	84.04%	15.96%	2%	10%
No. 200	0.08	96.25	767.50	12.05%	96.09%	3.91%	-	
Bandeja		31.26	798.76	3.91%	100.00%		-	
Módulo de finura							3.23	

Origen		Las Peñas			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		800			Pérdida de muestra		0.21%	
Ensayado por		Julieth Erazo			Fecha Muestreo:		17 de marzo 21	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		17 de marzo 21	
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	83.29	83.29	10.43%	10.43%	89.57%	95%	100%
No. 8	2.36	181.95	265.24	22.79%	33.22%	66.78%	80%	100%
No. 16	1.18	150.00	415.24	18.79%	52.01%	47.99%	50%	85%
No. 30	0.60	93.00	508.24	11.65%	63.66%	36.34%	25%	60%
No. 50	0.30	86.90	595.14	10.88%	74.55%	25.45%	10%	30%
No. 100	0.15	70.43	665.57	8.82%	83.37%	16.63%	2%	10%
No. 200	0.075	100.47	766.04	12.58%	95.95%	4.05%	-	
Bandeja		32.31	798.35	4.05%	100.00%		-	
Módulo de finura							3.17	

Cantera Ramírez

Origen		Cantera Ramírez			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		720			Pérdida de muestra		0.26%	
Ensayado por		Julieth Erazo			Fecha Muestreo:		17 de marzo 21	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		17 de marzo 21	
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	147.30	147.30	20.51%	20.51%	79.49%	95%	100%
No. 8	2.38	91.35	238.65	12.72%	33.23%	66.77%	80%	100%
No. 16	1.19	86.80	325.45	12.09%	45.32%	54.68%	50%	85%
No. 30	0.59	44.20	369.65	6.15%	51.47%	48.53%	25%	60%
No. 50	0.30	73.60	443.25	10.25%	61.72%	38.28%	10%	30%
No. 100	0.15	168.90	612.15	23.52%	85.24%	14.76%	2%	10%
No. 200	0.08	58.67	670.82	8.17%	93.41%	6.59%	-	
Bandeja		47.32	718.14	6.59%	100.00%		-	
Módulo de Finura							2.97	

Origen		Cantera Ramírez			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		720			Pérdida de muestra		0.07%	
Ensayado por		Julieth Erazo			Fecha Muestreo:		17 de marzo 21	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		17 de marzo 21	
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	146.90	146.90	20.42%	20.42%	79.58%	95%	100%
No. 8	2.38	99.80	246.70	13.87%	34.29%	65.71%	80%	100%
No. 16	1.19	59.30	306.00	8.24%	42.53%	57.47%	50%	85%
No. 30	0.59	43.90	349.90	6.10%	48.63%	51.37%	25%	60%
No. 50	0.30	73.80	423.70	10.26%	58.89%	41.11%	10%	30%
No. 100	0.15	168.50	592.20	23.42%	82.31%	17.69%	2%	10%
No. 200	0.08	84.70	676.90	11.77%	94.08%	5.92%	-	
Bandeja		42.60	719.50	5.92%	100.00%		-	
Módulo de Finura							2.9	

d) Análisis granulométrico en el árido grueso.

Mina Las Peñas

Origen		Mina Las Peñas			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra		0.04%	
Ensayado por		Julieth Erazo			Fecha Muestreo:		23-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		25-Oct-19	
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	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2"	50.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
1 1/2"	37.50	247.33	247.33	2.47%	2.47%	97.53%	-	-
1 "	25.00	2372.93	2620.26	23.74%	26.21%	73.79%	35%	70%
3/4 "	19.05	2847.33	5467.59	28.48%	54.70%	45.30%	-	-
1/2 "	12.50	2478.33	7945.92	24.79%	79.49%	20.51%	10%	30%
3/8 "	9.50	1600.93	9546.85	16.02%	95.50%	4.50%	-	-
No. 4	4.75	407.43	9954.28	4.08%	99.58%	0.42%	0%	5%
Bandeja		42.00	9996.28	0.42%	100.00%			
Tamaño Nominal máximo:						1 1/2"		

Origen		Mina Las Peñas			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra		0.03%	
Ensayado por		Julieth Erazo			Fecha Muestreo:		23-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		25-Oct-19	
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	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2"	50.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
1 1/2"	37.50	284.26	284.26	2.84%	2.84%	97.16%	-	-
1 "	25.00	2291.48	2575.74	22.92%	25.77%	74.23%	35%	70%
3/4 "	19.00	2812.14	5387.88	28.13%	53.90%	46.10%	-	-
1/2 "	12.50	2591.81	7979.69	25.93%	79.82%	20.18%	10%	30%
3/8 "	9.50	1593.05	9572.74	15.94%	95.76%	4.24%	-	-
No. 4	4.75	394.25	9966.99	3.94%	99.70%	0.30%	0%	5%
Bandeja		30.00	9996.99	0.30%	100.00%			
Tamaño Nominal máximo:						1 1/2"		

Cantera Ramírez

Origen		Cantera Ramírez			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra		0.11%	
Ensayado por		Julieth Erazo			Fecha Muestreo:		27-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		29-Oct-19	
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
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1 "	25.00	1014.54	1014.54	10.16%	10.16%	89.84%	95%	100%
3/4 "	19.00	2838.34	3852.88	28.41%	38.57%	61.43%	-	-
1/2 "	12.50	3012.74	6865.62	30.16%	68.73%	31.27%	25%	60%
3/8 "	9.50	2576.44	9442.06	25.79%	94.52%	5.48%	-	-
No. 4	4.75	258.14	9700.20	2.58%	97.11%	2.89%	0%	10%
No. 8	2.36	189	9889.20	1.89%	99.00%	1.00%	0%	5%
Fuente		100.00	9989.20	1.00%	100.00%			
Tamaño Nominal máximo:						1"		

Origen		Cantera Ramírez			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra		0.10%	
Ensayado por		Julieth Erazo			Fecha Muestreo:		27-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		29-Oct-19	
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
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1 "	25.00	1214.54	1214.54	12.16%	12.16%	87.84%	95%	100%
3/4 "	19.00	2738.34	3952.88	27.41%	39.57%	60.43%	-	-
1/2 "	12.50	2962.74	6915.62	29.66%	69.22%	30.78%	25%	60%
3/8 "	9.50	2551.44	9467.06	25.54%	94.76%	5.24%	-	-
No. 4	4.75	233.14	9700.20	2.33%	97.10%	2.90%	0%	10%
No. 8	2.36	150	9850.20	1.50%	98.60%	1.40%	0%	5%
Fuente		140.00	9990.20	1.40%	100.00%	0.00%		
Tamaño Nominal máximo:						1"		

e) **Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.**

Minas Las Peñas

Origen	Minas Las Peñas	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha	17 de marzo 2021	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	145.8	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	643.1	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	945.6	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	302.5	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	644.1	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	498.3	
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.997	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	195.8	
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	497.3	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	196.5	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.531	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m8	Masa del Recipiente	gr	30.9	31.1
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	124.4	220.1
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	93.5	189
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	122.3	216
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	91.4	184.9
CA=((M10-M12)/M12)*100	Capacidad de absorción	%	2.30	2.22
P2=(CA1 + CA2)/2	Promedio	%	2.26	

Origen	Minas Las Peñas	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha	17-03- 2021	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	145.3	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	643.5	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	945	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	301.5	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	644.1	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	498.8	
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.998	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	197.3	
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	498.2	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	197.8	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.519	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m8	Masa del Recipiente	gr	30.7	30.1
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	158.7	142.5
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	128	112.4
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	156.1	139.9
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	125.4	109.8
CA=((M10-M12)/M12)*100	Capacidad de absorción	%	2.07	2.37
P2=(CA1 + CA2)/2	Promedio	%	2.22	

Cantera Ramírez

Origen	Cantera Ramírez	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha	17/03/ 2021	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	152	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	651.7	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	954.11	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	302.41	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	645.3	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	493.3	
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.987	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	190.89	
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	499.7	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	193	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.583	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m8	Masa del Recipiente	gr	30.5	30.7
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	180.7	232.1
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	150.2	201.4
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	177.29	227.58
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	146.79	196.88
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	2.32	2.30
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.31	

Origen	Cantera Ramírez	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha	17/03/ 2021	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	152	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	651.2	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	953.96	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	302.76	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	645.3	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	493.3	
DA=m6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.987	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	190.54	
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	499.2	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	193.1	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.585	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m8	Masa del Recipiente	gr	31.5	30.6
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	182.4	142.6
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	150.9	112
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	179.06	140.12
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	147.56	109.52
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	2.26	2.26
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.26	

f) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

Minas Las Peñas

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso				
Origen	Mina las Peñas	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha	26-Mar-21	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1081	
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4840	
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3235	
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3540	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm3	2154	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1387.5263	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr	2.551	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	30.2	32.2
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	174.8	172.1
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	144.6	139.9
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	171.51	168.93
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	141.31	136.73
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2.33	2.32
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.32	

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso				
Origen	Mina las Peñas	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha	26-Mar-21	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300.1	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1080	
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4842	
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3233	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3541.9	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm ³	2153	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1390.42947	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr	2.547	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	30.7	31.7
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	172.84	163
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	142.14	131.3
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	169.65	159.89
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	138.95	128.19
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2.30	2.43
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.36	

Cantera Ramírez

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso				
Origen	Cantera Ramírez	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha	26-Mar-21	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300.1	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1131	
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4721	
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3233	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3420.9	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm ³	2102	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1320	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr	2.591	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	33.6	31.5
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	139	151.9
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	105.4	120.4
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	136.1	148.9
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	102.5	117.4
CA=((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	2.83	2.56
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.69	

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso				
Origen	Cantera Ramírez	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Julieth Erazo	Fecha	26-Mar-21	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1129	
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4718	
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3234	
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3418	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm3	2105	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1314.4459	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr	2.600	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	30.7	32.6
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	142.5	148.5
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	111.8	115.9
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	139.8	145.3
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	109.1	112.7
CA=((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	2.47	2.84
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.66	

g) Densidad aparente suelta del agregado fino y grueso.

Mina Las Peñas

Origen	Mina Las Peñas		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	Julieth Erazo		Fecha muestreo	29-03-21
Ensayado por:	9900		Fecha Ensayo	30-03-21
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	37500	27600	1.337	1.339
	37600	27700	1.341	
Fino	41900	32000	1.550	1.547
	41800	31900	1.545	

Origen	Mina Las Peñas		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	29-03-21
Ensayado por:	Julieth Erazo		Fecha Ensayo	30-03-21
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Ensayado por:	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	37200	27300	1.322	1.324
	37300	27400	1.327	
Fino	42000	32100	1.554	1.552
	41900	32000	1.550	

Cantera Ramírez

Origen	Cantera Ramírez		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	29-03-21
Ensayado por:	Julieth Erazo		Fecha Ensayo	30-03-21
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	27600	1.337	1.334
	37400	27500	1.332	
Fino	41200	31300	1.516	1.518
	41300	31400	1.521	

Origen	Cantera Ramírez		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	29-Mar-21
Ensayado por:	Julieth Erazo		Fecha Ensayo	30-Mar-21
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	37300	27400	1.327	1.332
	37500	27600	1.337	
Fino	41000	31100	1.506	1.479
	39900	30000	1.453	

h) Densidad aparente compactada del agregado fino y grueso.

Mina Las Peñas

Origen	Mina Las Peñas		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	29-03-21
Ensayado por:	Julieth Erazo		Fecha Ensayo	30-03-21
Volumen del recipiente:	20650 cm ³			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	40100	30200	1.462	1.465
	40200	30300	1.467	
Fino	45100	35200	1.705	1.702
	45000	35100	1.700	

Origen	Mina Las Peñas		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	29-03-21
Ensayado por:	Julieth Erazo		Fecha Ensayo	30-03-21
Volumen del recipiente:	20650 cm ³			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	40300	30400	1.472	1.467
	40100	30200	1.462	
Fino	44900	35000	1.695	1.697
	45000	35100	1.700	

Cantera Ramírez

Origen	Cantera Ramírez		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	29-03-21
Ensayado por:	Julieth Erazo		Fecha Ensayo	30-03-21
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	40300	30400	1.472	1.470
	40200	30300	1.467	
Fino	45200	35300	1.709	1.709
	45200	35300	1.709	

Origen	Cantera Ramírez		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	29-Mar-21
Ensayado por:	Julieth Erazo		Fecha Ensayo	30-Mar-21
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	40300	30400	1.472	1.472
	40300	30400	1.472	
Fino	45000	35100	1.700	1.705
	45200	35300	1.709	

i) **Ensayo de abrasión con la Máquina de los ángeles.**

Origen	Mina las Peñas	Ensayo No	I
Masa del recipiente (gr)	10000	Fecha muestreo	25-03-21
Ensayado por:	Julieth Erazo	Fecha ensayo	26-03-21
Norma	NTE INEN 860:2011		
Ensayo abrasión (porcentaje de desgaste de áridos)			
Peso inicial de la muestra	10000	gr	
Peso final retenido en el tamiz #12	6307.64	gr	
Porcentaje de desgaste del material	36.92	%	

Origen	Mina las Peñas	Ensayo No	II
Masa del recipiente (gr)	10000	Fecha muestreo	25-03-21
Ensayado por:	Julieth Erazo	Fecha ensayo	26-03-21
Norma	NTE INEN 860:2011		
Ensayo abrasión (porcentaje de desgaste de áridos)			
Peso inicial de la muestra	10000	gr	
Peso final retenido en el tamiz #12	6275.05	gr	
Porcentaje de desgaste del material	37.25	%	

Cantera Ramírez

Origen	Cantera Ramírez	Ensayo No	I
Masa del recipiente	10000 gr	Fecha muestreo	25-03-21
Ensayado por:	Julieth Erazo	Fecha ensayo	26-03-21
Norma	NTE INEN 861:2011		
Ensayo abrasión (porcentaje de desgaste de áridos)			
Peso inicial de la muestra	10000	gr	
Peso final retenido en el tamiz #12	7886.46	gr	
Porcentaje de desgaste del material	21.1	%	

Origen	Cantera Ramírez	Ensayo No	II
Masa del recipiente	10000 gr	Fecha muestreo	25-03-21
Ensayado por:	Julieth Erazo	Fecha ensayo	26-03-21
Norma	NTE INEN 861:2011		
Ensayo abrasión (porcentaje de desgaste de áridos)			
Peso inicial de la muestra	10000	gr	
Peso final retenido en el tamiz #12	7869.23	gr	
Porcentaje de desgaste del material	21.31	%	

Anexo 3. Diseño de Mezclas de prueba.

a) Datos y resultados obtenidos

Mina Las Peñas

f'c(Kg/cm ²)	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento
210	0.58	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

Descripción	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.978	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino: DRA	2.525	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.549	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.550	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso: DAR	1.332	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada): DAA	1.700	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada): DAR	1.466	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	39	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	61	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.868	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	3.2	-
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	1.816	%
Contenido de humedad del agregado grueso: CHR	1.413	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	2.24	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	2.34	%

Resultados de la dosificación con el método de la densidad óptima.

F'c = 210 Kg/cm²

Resultados para f'c 210 Kg/cm ² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m ³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	193.60	0.58	29	29	litros
C	333.79	1.00	50	1	Saco
AF	683.75	2.05	102.42	2.4	Parihuela
AG	1079.70	3.23	161.73	4.5	Parihuela

Corrección por humedad

Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	Corrección por humedad CA - CH		Cantidad corregida en Kg por saco de cemento
						%	Kg	
W	193.60	0.58	29	-	-	-	1.94	30.94
C	333.79	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	683.75	2.05	102.42	2.24	1.82	0.42	0.43	101.99
AG	1079.70	3.23	161.73	2.34	1.41	0.93	1.50	160.23

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

Resultados para $f'c 280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	185.74	0.52	26	26	litros
C	357.20	1.00	50	1	Saco
AF	683.75	1.91	95.71	2.3	Parihuela
AG	1079.70	3.02	151.14	4.2	Parihuela

Corrección por humedad

Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	Corrección por humedad CA - CH		Cantidad corregida en Kg por saco de cemento
						%	Kg	
W	185.74	0.52	26	-	-	-	1.81	27.81
C	357.20	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	683.75	1.91	95.71	2.24	1.82	0.42	0.41	95.31
AG	1079.70	3.02	151.14	2.34	1.41	0.93	1.40	149.73

Cantera Ramírez

Condiciones de diseño.

f'c(Kg/cm ²)	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento
210	0.58	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

Descripción	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.978	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino: DRA	2.584	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.596	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.499	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso: DAR	1.333	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada): DAA	1.707	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada): DAR	1.471	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	40.00	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	60	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.893	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	2.9	%
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	1.618	%
Contenido de humedad del agregado grueso: CHR	1.403	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	2.29	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	2.67	%

Resultados de la dosificación con el método de la densidad óptima.

F'c = 210 Kg/cm²

Resultados para f'c 210 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	196.98	0.58	29	29	litros
C	339.61	1.00	50	1	Saco
AF	712.05	2.10	104.83	2.6	Parihuela
AG	1072.99	3.16	157.97	4.4	Parihuela

Corrección por humedad

Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	corrección por humedad CA - CH		Cantidad corregida en Kg por saco de cemento
						%	Kg	
W	196.98	0.58	29	-	-	-	2.71	31.71
C	339.61	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	712.05	2.10	104.83	2.29	1.62	0.67	0.70	104.13
AG	1072.99	3.16	157.97	2.67	1.40	1.27	2.01	155.96

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

Resultados para f'c 280 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	188.98	0.52	26	26	litros
C	363.42	1.00	50	1	Saco
AF	712.05	1.96	97.96	2.4	Parihuela
AG	1072.99	2.95	147.62	4.1	Parihuela

Corrección por humedad

Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	corrección por humedad CA - CH		Cantidad corregida en Kg por saco de cemento
						%	Kg	
W	188.98	0.52	26	-	-	-	2.53	28.53
C	363.42	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	712.05	1.96	97.96	2.29	1.62	0.67	0.66	97.31
AG	1072.99	2.95	147.62	2.67	1.40	1.27	1.88	145.74

b) Ensayos del hormigón en estado fresco mediante el método gravimétrico.

Minas las Peñas

Origen	Mina Las Peñas					
Ensayado por	Julieth Erazo					
Norma	NTE INEN 1579:2013					
Dato	Resistencia					
	P210-1	P210-2	P210-3	P280-1	P280-2	P280-3
Fecha de elaboración	19-05-21			19-05-21		
Hora de elaboración	15h00			15h00		
Densidad teórica (Kg/m ³)	2290.850			2306.390		
Peso(Kg)	3.58	3.59	3.58	3.60	3.62	3.61
Volumen Molde(m ³)	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Densidad H. fresco experimental (Kg/m ³)	2278.46	2282.28	2279.74	2290.56	2303.29	2296.29
Densidad promedio	2280.162			2296.714		
Asentamiento(cm)	8.2	8.3	8.5	8.5	8.4	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(%)	0.47			0.42		
Rendimiento Relativo	1.000			1.000		

Cantera Ramírez

Origen	Cantera Ramírez					
Ensayado por	Julieth Erazo					
Norma	NTE INEN 1579:2013					
Dato	Resistencia					
	R210-1	R210-2	R210-3	R280-1	R280-2	R280-3
Fecha Elaboración	20-05-21			20-05-21		
Hora Elaboración	15H00			15h00		
Densidad teórica (Kg/m ³)	2321.630			2337.450		
Peso (Kg)	3.65	3.66	3.64	3.69	3.70	3.72
Volumen Molde(m ³)	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Densidad H. fresco experimental (Kg/m ³)	2323.66	2330.03	2317.3	2349.13	2355.5	2368.23
Densidad promedio	2323.664			2357.617		
Asentamiento(cm)	7.3	7.5	7.0	7.5	7.0	7.4
Consistencia	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Homogeneidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Contenido de aire(%)	0.09			0.86		
Rendimiento Relativo	1.0			1.0		

c) **Determinación de la resistencia a la compresión.**

Especímenes para ensayos de prueba, ensayados a 7 y 14 días.

Origen		Mina Las Peñas									
Ensayado por		Julieth Erazo									
Norma		NTE INEN 1573:2010									
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo		Esfuerzo promedio		
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga(KN)		Esfuerzo (Mpa)	
P210	7	05-05-21	11-05-21	1	10.10	20.10	3.681	114	14.2	14.2	
P210	7			2	10.30	20.00	3.682	119	14.25		
P210	7			3	10.00	20.20	3.684	112	14.28		
P280	7		11-05-21	11-05-21	1	10.40	20.30	3.686	161	18.94	19.0
P280	7				2	10.20	20.20	3.679	155	18.96	
P280	7				3	10.10	20.30	3.678	152	18.99	
P210	14	05-05-21	18-05-21	1	10.30	20.40	3.677	152	18.19	18.2	
P210	14			2	10.30	20.10	3.679	152	18.22		
P210	14			3	10.20	20.30	3.686	149	18.21		
P280	14		18-05-21	18-05-21	1	10.10	20.20	3.687	191	23.9	23.9
P280	14				2	10.00	20.10	3.685	188	23.93	
P280	14				3	10.30	20.30	3.679	199	23.89	

Origen		Cantera Ramírez								
Ensayado por		Julieth Erazo								
Norma		NTE INEN 1573:2010								
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo		Esfuerzo promedio	
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga(KN)		Esfuerzo (Mpa)
R210	7	03-05-21	10-05-21	1	10.00	20.10	3.821	123	15.65	15.7
R210	7			2	10.20	20.20	3.824	128	15.67	
R210	7			3	10.10	20.40	3.826	125	15.63	
R280	7		10-05-21	1	10.40	20.20	3.830	172	20.25	20.3
R280	7			2	10.30	20.30	3.832	169	20.28	
R280	7			3	10.10	20.30	3.833	162	20.27	
R210	14	03-05-21	17-05-21	1	10.00	20.10	3.814	144	18.38	18.4
R210	14			2	10.10	20.40	3.816	147	18.33	
R210	14			3	10.30	20.30	3.808	153	18.37	
R280	14		17-05-21	1	10.20	20.10	3.829	197	24.1	24.1
R280	14			2	10.10	20.40	3.828	193	24.12	
R280	14			3	10.40	20.10	3.834	205	24.09	

d) Determinación de la resistencia a la compresión.

Especímenes para ensayos definitivos, ensayados a 7, 14, 21 y 28 días.

Origen		Mina las Peñas									
Ensayado por		Julieth Erazo									
Norma		NTE INEN 1573:2010									
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo		Esfuerzo promedio		
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)		Esfuerzo (Mpa)	
P210	7	19-05-21	26-05-21	1	10.10	20.30	3.62	115	14.32	14.33	
P210	7			2	10.20	20.20	3.64	118	14.38		
P210	7			3	10.20	20.00	3.62	117	14.29		
P210	14		02-06-21	16-06-21	1	10.20	20.00	3.66	154	18.8	18.82
P210	14				2	10.20	20.30	3.68	154	18.85	
P210	14				3	10.30	20.30	3.68	157	18.81	
P210	21		09-06-21	16-06-21	1	10.30	20.40	3.69	163	19.54	19.58
P210	21				2	10.20	20.30	3.72	160	19.58	
P210	21				3	10.30	20.30	3.76	163	19.61	
P210	28		16-06-21	16-06-21	1	10.30	20.30	3.75	180	21.63	21.65
P210	28				2	10.30	20.40	3.63	180	21.65	
P210	28				3	10.10	20.40	3.63	174	21.67	
P280	7	20-05-21	26-05-21	1	10.20	20.30	3.63	154	18.89	18.89	
P280	7			2	10.30	20.10	3.63	158	18.91		
P280	7			3	10.20	20.10	3.71	154	18.87		
P280	14		02-06-21	16-06-21	1	10.20	20.30	3.72	196	23.95	23.96
P280	14				2	10.20	20.00	3.76	196	23.98	
P280	14				3	10.30	20.00	3.68	199	23.94	
P280	21		09-06-21	16-06-21	1	10.30	20.30	3.79	216	25.89	25.86
P280	21				2	10.30	20.20	3.61	215	25.83	
P280	21				3	10.30	20.30	3.72	215	25.86	
P280	28		16-06-21	16-06-21	1	10.30	20.10	3.60	243	28.63	28.62
P280	28				2	10.30	20.10	3.75	243	28.65	
P280	28				3	10.30	20.40	3.63	244	28.58	

Origen		Cantera Ramírez									
Ensayado por		Julieth Erazo									
Norma		NTE INEN 1573:2010									
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo		Esfuerzo promedio		
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)		Esfuerzo (Mpa)	
R210	7	20-05-21	27-05-21	1	10.00	20.20	3.77	122	15.58	15.59	
R210	7			2	10.20	20.40	3.82	128	15.63		
R210	7			3	10.10	20.00	3.90	125	15.55		
R210	14		03-06-21	17-06-21	1	10.20	20.30	3.88	153	18.67	18.65
R210	14				2	10.10	20.30	3.87	149	18.62	
R210	14				3	10.30	20.10	3.86	155	18.66	
R210	21		10-06-21	17-06-21	1	10.20	20.30	3.82	162	19.83	19.83
R210	21				2	10.30	20.40	3.76	165	19.85	
R210	21				3	10.10	20.20	3.75	159	19.81	
R210	28		17-06-21	17-06-21	1	10.20	20.30	3.83	177	21.72	21.75
R210	28				2	10.10	20.20	3.83	174	21.74	
R210	28				3	10.20	20.10	3.83	178	21.78	
R280	7	20-05-21	27-05-21	1	10.20	20.10	3.82	165	20.25	20.28	
R280	7			2	10.20	20.20	3.83	166	20.28		
R280	7			3	10.20	20.30	3.82	166	20.32		
R280	14		03-06-21	17-06-21	1	10.30	20.30	3.86	201	24.15	24.12
R280	14				2	10.20	20.40	3.81	197	24.08	
R280	14				3	10.10	20.40	3.92	193	24.13	
R280	21		10-06-21	17-06-21	1	10.20	20.30	3.81	219	26.77	26.77
R280	21				2	10.30	20.40	3.82	223	26.79	
R280	21				3	10.20	20.20	3.81	219	26.75	
R280	28		17-06-21	17-06-21	1	10.30	20.10	3.90	239	29.18	29.21
R280	28				2	10.20	20.20	3.83	234	29.21	
R280	28				3	10.10	20.30	3.83	229	29.23	

Anexo Fotográfico



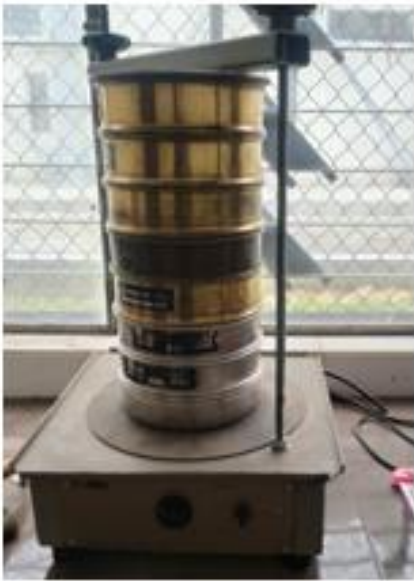
Densidad real del árido fino



Densidad real del órido grueso



Granulometría del agregado fino



Granulometría del agregado grueso



ELABORACIÓN DE CILINDROS

