UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

"ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS PUNGAL GRANDE Y MIRAFLORES, UBICADOS EN EL CANTÓN GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO"

AUTOR: Mario Fabricio Flores Lescano

TUTOR: Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

AMBATO – ECUADOR

Marzo - 2023

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS PUNGAL GRANDE Y MIRAFLORES, UBICADOS EN EL CANTÓN GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO"**, elaborado por el Sr. Mario Fabricio Flores Lescano, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804554200, 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.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023

.....

Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Mario Fabricio Flores Lescano con C.I. 1804554200 declaro que todas las actividades y expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **"ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS PUNGAL GRANDE Y MIRAFLORES, UBICADOS EN EL CANTÓN GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO"**, así como también los análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023

.....

Mario Fabricio Flores Lescano

C.I. 1804554200

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, marzo 2023

.....

Mario Fabricio Flores Lescano

C.I. 1804554200

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Mario Fabricio Flores Lescano de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS PUNGAL GRANDE Y MIRAFLORES, UBICADOS EN EL CANTÓN GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO"**

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:

.....	.....
Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres	**Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera**
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

DEDICATORIA

"Nuestra huella por el mundo es el reconocimiento de nuestros logros, pero nuestro reconocimiento ante Dios es amar su creación, fomentar valores y poner a su servicio el conocimiento siempre entre la buena práctica y ética a lo largo de nuestro ejercicio profesional."

El presente trabajo lo dedico a mi padre que siempre estuvo junto a mi en mi etapa universitaria, a mi madre Carmen, mis hermanos Patricio y Ángel que fueron mi apoyo moral y económico a lo largo de mi vida estudiantil, su esfuerzo y dedicación fue inspiración para cumplir mis metas y ser alguien productivo en la sociedad.

Mario Flores

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza para ser constante durante toda mi carrera universitaria.

A mis padres y hermanos quienes fomentaron mis valores y estuvieron junto a mi a lo largo de mi carrera universitaria, en especial a mi hermano Patricio quién siempre me motivó y aconsejó ante mis dificultades.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica quienes han impartido su conocimiento, permitiendo así, desarrollarme adecuadamente para obtener un desempeño correcto en el ámbito laboral.

A mis amigos que siempre fueron parte fundamental en mi día a día dentro de las aulas y fuera de ellas con quienes he reído, he sufrido y he llorado.

A la ingeniera Mayra Verónica Escudero Vilema quién me abrió las puertas para desarrollar mi proyecto de tesis.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE GRÁFICOS xii
RESUMEN xiii
ABSTRACT xiv
CAPÍTULO I 1
MARCO TEÓRICO 1
1.1. Antecedentes Investigativos. 1
1.1.1. Antecedentes. 1
1.1.2. Justificación 4
1.1.3. Fundamentación Teórica 5
1.1.4. Hipótesis 17
1.2. Objetivos 17
1.2.1. General 17
1.2.2. Específicos 17
CAPÍTULO II 18

METODOLOGÍA 18
2.1. Nivel o tipo de investigación 18
2.2. Población y muestra 19
2.2.1. Población 19
2.2.2. Muestra 19
2.3. Materiales y Equipos 19
2.3.1. Materiales 20
2.3.2. Equipos 20
2.4. Métodos 22
CAPITULO III 25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25
3.1. Análisis y discusión de resultados 25
3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento 25
3.1.2. Ensayos en los agregados 25
3.1.3. Diseño de mezclas con el método de la densidad máxima 45
3.1.5. Determinación del módulo de elasticidad estático (MEE) del hormigón 55
CAPÍTULO IV 65
4.1. Conclusiones específicas 65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones técnicas de granulometría 9

Tabla2. Requisitos físicos para cemento NTE INEN 2380.....13

Tabla3. Probetas por elaborarse en la etapa final:.....19

Tabla 4. Resultados de densidad real del cemento.....25

Tabla 5. Resultados de densidad real del cemento.....25

Tabla 6. Material más fino que pasa el tamiz No 200.....26

Tabla 7. Material más fino que pasa el tamiz No 200.....27

Tabla 8. Material orgánico e impurezas en agregado fino mina Pungal Grande 27

Tabla 9. Material orgánico e impurezas en agregado fino mina Miraflores 28

Tabla 10. Granulometría del agregado fino mina Pungal Grande 28

Tabla 11. Granulometría del agregado fino mina Pungal Grande 29

Tabla 12. Granulometría del agregado fino mina Miraflores 30

Tabla 13. Granulometría del agregado fino mina Miraflores 31

Tabla 14. Granulometría del agregado grueso mina Pungal Grande 33

Tabla 15. Granulometría del agregado grueso mina Pungal Grande 34

Tabla 16. Granulometría del agregado grueso mina Miraflores 35

Tabla 17. Granulometría del agregado grueso mina Miraflores 36

Tabla 18. Densidad relativa (SSS) del agregado fino 37

Tabla 19. Densidad relativa (SSS) del agregado fino 38

Tabla 20. Densidad relativa (SSS) del agregado grueso 38

Tabla 21. Densidad relativa (SSS) del agregado grueso 38

Tabla 22. Capacidad de absorción del agregado fino 39

Tabla 23. Capacidad de absorción del agregado fino 40

Tabla 24. Capacidad de absorción del agregado grueso 40

Tabla 25. Capacidad de absorción del agregado grueso 41

Tabla 26. Densidad aparente de árido fino.....41
Tabla 27. Densidad aparente de árido grueso 42
Tabla 28. Densidad aparente de la mezcla mina Pungal grande 43
Tabla 29. Densidad aparente de la mezcla mina Miraflores 44
Tabla 30. Características del material de la mina Pungal grande 45
Tabla 31. Características del material de la mina Miraflores.....46
Tabla 32: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=210 kg/cm².....48
Tabla 33: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=240 kg/cm².....48
Tabla 34: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=210 kg/cm².....49
Tabla 35: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=240 kg/cm².....49
Tabla 36: Condiciones de diseño 50
Tabla 37. Ensayos en estado fresco.....50
Tabla 38. Ensayos de probetas f'c 21 Mpa "Pungal Grande".....51
Tabla 39. Ensayos de probetas f'c 24 Mpa "Pungal Grande".....52
Tabla 40. Ensayos de probetas f'c 21 Mpa "Miraflores".....53
Tabla 41. Ensayos de probetas f'c 24 Mpa "Miraflores".....54
Tabla 42. MEE de la mina Pungal Grande f'c 21 Mpa.....55
Tabla 43. MEE de la mina Pungal Grande f'c 24 Mpa.....56
Tabla 44. MEE de la mina Miraflores f'c 21 Mpa.....57
Tabla 45. MEE de la mina Miraflores f'c 24 Mpa.....58
Tabla 46. Comparación entre el MEE experimental y el teórico calculado.....60
Tabla 47. Factores de zona para MEE del concreto.....62
Tabla 48. Factores de zona para MEE del concreto.....63
Tabla 49. Factores ka y kb calculados 63
Tabla 50. Comparación final entre módulos de elasticidad……..63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Módulo secante del concreto 6

Figura 2: Curva granulométrica del agregado fino Mina Pungal Grande 29

Figura 3: Curva granulométrica del agregado fino Mina Pungal Grande 30

Figura 4: Curva granulométrica del agregado fino Mina Miraflores 31

Figura 5: Curva granulométrica del agregado fino Mina Miraflores 32

Figura 6: Curva granulométrica del agregado grueso Mina Pungal Grande 33

Figura 7: Curva granulométrica del agregado grueso Mina Pungal Grande 34

Figura 8: Curva granulométrica del agregado grueso mina Miraflores 35

Figura 9: Curva granulométrica del agregado grueso Mina Miraflores 36

Figura 10: Resistencia alcanzada (7 y 14 días) f'c=210 kg/cm² 47

Figura 11: Resistencia alcanzada (7 y 14 días) f'c=240 kg/cm² 47

Figura 12: Gráfica esfuerzo vs Tiempo 21 Mpa "Pungal Grande" 51

Figura 13: Gráfica esfuerzo vs Tiempo 24 Mpa "Pungal Grande" 52

Figura 14: Gráfica esfuerzo vs Tiempo 21 Mpa "Miraflores" 53

Figura 15: Gráfica esfuerzo vs Tiempo 24 Mpa "Miraflores" 54

RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de aportar información acerca del módulo elástico estático que propone NEC-SE-HM, sección 3.3.3, la cual hace referencia a la ecuación establecida por el comité ACI 318. Analizando las propiedades físicas y mecánicas para el material pétreo de las minas: Pungal Grande y Miraflores del cantón Guano provincia de Chimborazo.

Se realizaron los ensayos de caracterización de los materiales como indica en NTE INEN 872, obtenidas las características físico-mecánicas de los materiales se realizaron las dosificaciones definitivas utilizando el método de la densidad máxima para una resistencia a la compresión de 21 y 24 MPa a los 28 días de edad. Durante el proceso de elaboración de la mezcla se realizaron los ensayos del hormigón en estado fresco como son la toma de muestras según NTE INEN 1763; la determinación de asentamiento de acuerdo con NTE INEN 1578, la densidad, rendimiento y contenido de aire como indica NTE INEN 1579. Y finalmente se elaboraron las probetas cilíndricas en conformidad con lo que indica NTE INEN 3124. Concluido con el proceso de curado se procedió a la realización de ensayos del concreto en estado endurecido, obtenido su resistencia a la compresión para edades de 7, 14, 21y 28 días de acuerdo como propone NTE INEN 1573.

Concluyendo con el proyecto experimental se determinó el módulo de elasticidad estático basándonos en el proceso que indica ASTM C469 y el módulo tentativo con la ecuación propuesta en ACI 318, para finalmente compararlos y analizarlos.

Palabras claves: módulo elástico, características físicas, características mecánicas, materiales pétreos, probetas cilíndricas, resistencia a compresión, factores locales.

ABSTRACT

The present work has the purpose of providing information about the static elastic modulus proposed by NEC-SE-HM, section 3.3.3, which refers to the equation established by the ACI 318 committee. Analyzing the physical and mechanical properties for the material stone from the mines: Pungal Grande and Miraflores in the canton of Guano, province of Chimborazo.

The characterization tests of the materials were carried out as indicated in NTE INEN 872, once the physical-mechanical characteristics of the materials were obtained, the final dosages were made using the maximum density method for a compressive strength of 21 and 24 MPa at the 28 days old. During the preparation process of the mixture, tests were carried out on the concrete in its fresh state, such as sampling according to NTE INEN 1763; the determination of settlement in accordance with NTE INEN 1578, the density, performance and air content as indicated by NTE INEN 1579. And finally, the cylindrical specimens were prepared in accordance with what is indicated by NTE INEN 3124. Concluded with the curing process, we proceeded to the realization of tests of the concrete in hardened state, obtaining its resistance to compression for ages of 7, 14, 21 and 28 days according to what NTE INEN 1573 proposes.

Concluding with the experimental project, the static modulus of elasticity was determined based on the process indicated by ASTM C469 and the tentative modulus with the equation proposed in ACI 318, to finally compare and analyze them.

Keywords: elastic modulus, physical characteristics, mechanical characteristics, stone materials, cylindrical specimens, compressive strength, local factors

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos.

1.1.1. Antecedentes.

En la prehistoria la necesidad del hombre de construir hogares más duraderos nace cuando este deja de ser nómada para así asentarse en lugares más específicos, entonces de esa necesidad parte la implementación de utilizar materiales más duraderos a las inclemencias del tiempo y factores climáticos como lluvias, vientos, etc. Entonces buscan como respuesta elaborar casas con el material más resistente pero así mismo que se pueda trabajar y dar forma en aquellos tiempos. Se empieza a tallar la roca que era un material muy común, aunque difícil de trabajar y limitado en las dimensiones, con este se levantaron los primeros hogares perduraderos diferentes de cuevas o chozas (1). Con el paso del tiempo llegando a la era Paleolítica y del neolítico se fue afinando la técnica en el tratado de este material, se dejaron de hacer elementos monolíticos grandes y toscos para elaborar las primeras mamposterías, se tallaba la roca en pequeños elementos simétricos más manejables, se los tallaba de tal forma que al colocarlos las hendiduras entre ellos sean lo más insignificantes posible, de tal forma que conformaban un elemento sin limitantes dimensionales, único y sólido, con el paso de tiempo para acortar el tiempo de construcción de estas estructuras se inició la utilización del conglomerante, es decir, se empezó a utilizar los primeros morteros para cubrir las hendiduras entre los mampuestos para así reducir los esfuerzos que se acumulaban en las irregularidades en las caras de estos, este mortero era elaborado de arcilla apisonada con canto rodado (1).

En los años dorados del imperio romano, se levantaron las primeras estructuras monumentales elaboradas con el primer hormigón de la historia elaborado con arenas

volcánicas mezcladas con cales y piedras, esta mezcla lanza las primeras propiedades cementantes que se tiene registro siendo en características físico-mecánicas el pariente más idéntico al hormigón de la actualidad. En esta época se da también otro hallazgo determinante en la historia del hormigón que de manera práctica e intuitiva se da la necesidad en ciertos elementos estructurales de morfología compleja el reforzarlo con grapas de cobre, se podría decir los primeros indicios de un reforzamiento del hormigón (2).

En nuestros días el hormigón es parte fundamental para la construcción por sus bajos costos de elaboración, teniendo en cuenta que está conformado más del 70% de su volumen total por áridos finos y gruesos (arena, graba), es tan bajo su costo pero entrega propiedades formidables a la hora de analizarlo de forma individual como un material resistente a la compresión y es por eso que aún se encuentra en estudio sus propiedades físico-mecánicas al ser intervenido en su fórmula original por aditivos, otros materiales, fluidos, etc.(12).

Dentro de la estructuración del hormigón en el análisis de sus componentes está comprobado que el material cementante (cemento portland) viene dado con estándares internacionales que debe cumplir para poder ser utilizado en la construcción, ya viene predeterminado la manera en que debería comportarse al ser utilizado, el agua es un fluido que desde que el hombre tiene consciencia de su importancia para la vida y para sus usos ha sido estudiado y analizado en sus diferentes formas, por este motivo este fluido tampoco debería ser incongruente al momento de formar parte de nuestros hormigones pero el abanico de variantes físico-mecánicas que presentan los materiales pétreos por su misma constitución mineralógica, por su textura, su forma y graduación granulométrica son el material con el comportamiento más impredecible al momento de poner a prueba a todo el hormigón como un material monolítico y homogéneo (3).

Es por este motivo que hace años en Ecuador se están desarrollando trabajos experimentales enfocados en este componente del hormigón, desarrollando el conocimiento de características de los materiales pétreos de diferentes minas para

encontrar datos congruentes acorde a nuestra realidad, ACI nos ofrece una metodología para poder desarrollar nuestras propias expresiones basándonos en el estudio específico del material de cada mina, es por eso que la Universidad Técnica de Ambato hace un compromiso en el desarrollo de este conocimiento y este trabajo experimental realiza un análisis del material pétreo de las minas Pungal Grande y Miraflores como unas de las principales canteras que abastecen de material pétreo para el cantón Guano y la ciudad de Riobamba, personas que han dado los primeros pasos en esta área de investigación en la zona han desarrollado proyectos de tesis obteniendo estos resultados.

Henry A. Nos dice que luego de realizar el análisis de las rocas que compone el agregado que se comercializa en el sector Cerro Negro de la ciudad de Riobamba obtuvo las siguientes conclusiones (4).

- El valor del módulo de elasticidad del material está comprendido entre 87.81 y 89.12 GPa, pero también está dado por la ecuación:

  $$E_a = 96.90 * V_A + 42.20 * V_D + 12.90 * V_T$$

  $Donde$:

  E_a=Módulo de elasticidad

  V_A=Volumen de andesita

  V_D=Volumen de dacita

  V_T=Volumen de toba
- Se realizaron 15 ensayos de compresión a probetas cilíndricas de roca para obtener curvas de esfuerzo de deformación unitaria, obteniendo 20 valores de módulos de elasticidad al 25, 50, 75 y 100% de la carga aplicada y otros 60 valores de módulos de elasticidad de tres tipos diferentes de roca del sector Cerro Negro
- En el análisis comparativo relacionado entre material de otras provincias del país está entre las de mayor rigidez para producción de hormigón en la región sierra

Erika G. Habla en su trabajo de experimentación del módulo de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión de 21MPa, elaborado con agregados del sector la Providencia y cemento Chimborazo obtuvo las siguientes conclusiones (5).

- El valor promedio del módulo de elasticidad obtenido experimentalmente en esta investigación con los materiales extraídos del sector la Providencia y cemento Chimborazo es de: 19348.00 MPa.
- Al comprar las ecuaciones del código ACI 318-08 y 363-92 se observó que los valores de Ec, obtenidos con la ecuación del ACI 318-08 se aproximan más al valor de Ec experimental obtenido en este trabajo, en un 88.08%

1.1.2. Justificación

Actualmente en nuestro país Ecuador, conocido como un país sísmico, se realizan obras civiles con numerosas incertidumbres en el diseño debido a la falta de estudios sobre los factores que influyen en los hormigones, como es el caso del módulo de elasticidad del hormigón, pues este valor es adoptado de códigos o reglamentos de otros países que no son fiables con la realidad de los materiales con los que se realizan nuestros hormigones, específicamente en el centro del país cantón Guano provincia de Chimborazo (6).

El módulo estático de elasticidad del concreto es una propiedad mecánica que permite caracterizar el comportamiento elástico del concreto, el cual puede ser obtenido aplicando cargas conocidas sobre un espécimen para calcular la deformación del material (7).

Conociendo este valor se busca reducir la brecha entre la incertidumbre y lo esperado por el calculista que es el objetivo de un diseño óptimo y seguro, por eso es necesario realizar este tipo de trabajos experimentales para dar a conocer valores que nuestros ingenieros puedan usar en sus diseños sin sub-dimensionar elementos estructurales al utilizar valores irreales propuestos como es el caso del Comité 318-14 de ACI

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Módulo de elasticidad del hormigón

El módulo de elasticidad el hormigón es un parámetro que mide la rigidez o, mejor dicho, la resistencia que este ofrece al deformarse. Como bien es sabido, el hormigón es un material que se considera elasto-plástico pero la proporcionalidad entre las tensiones y deformaciones no es lineal. El módulo de elasticidad del hormigón al ser un material compuesto depende de muchos factores como: su resistencia, su edad, propiedades de los áridos, composición del material cementante, etc. (8).

El módulo de elasticidad como definición tiene varias propuestas arbitrarias que han venido siendo utilizadas para trabajar en diferentes investigaciones pero como tal no son aceptadas por todo el mundo, por ejemplo, una definición dice que es la pendiente tangente referenciada en el punto origen de la curva tensión vs deformación, esta definición es considerada como cruda pues no toma en cuenta varios factores que influyen en este parámetro, es impreciso en su evaluación, otros autores lo definen como la pendiente de la tangente de la curva tensión vs deformación que toma como referencia una tensión conocida, esta definición tiene como contrariedad que las cargas constantes a lo largo de la deformación son cambiantes en el tiempo, lo que hace un problema considerable en el estudio del módulo elástico con esta perspectiva. Y finalmente la definición que considero más práctica en su estudio es la que dice que es un módulo secante que hace referencia la pendiente entre el origen y otro punto dado en la curva tensión vs deformación, normalmente se considera este punto en el 45% de la carga máxima (8).

Muchos años ACI recomendó tomar como módulo de elasticidad la siguiente expresión:

$$E_c = 1000 f'c$$

Pero con el transcurso de los años y la exigencia de mayor precisión en los análisis y diseños se fue desarrollando con más meticulosidad este valor hasta llegar a la expresión que hoy en día está vigente tomando en consideración ahora la densidad (8).

ACI-318-02 en la sección 8.5.1 recomienda la siguiente expresión:

$$E_c = 0.043 * W_c^{1.5} \sqrt{f'c}$$

"*válida entre valores 1440 y 2560 Kg/m^3 "*

Donde:

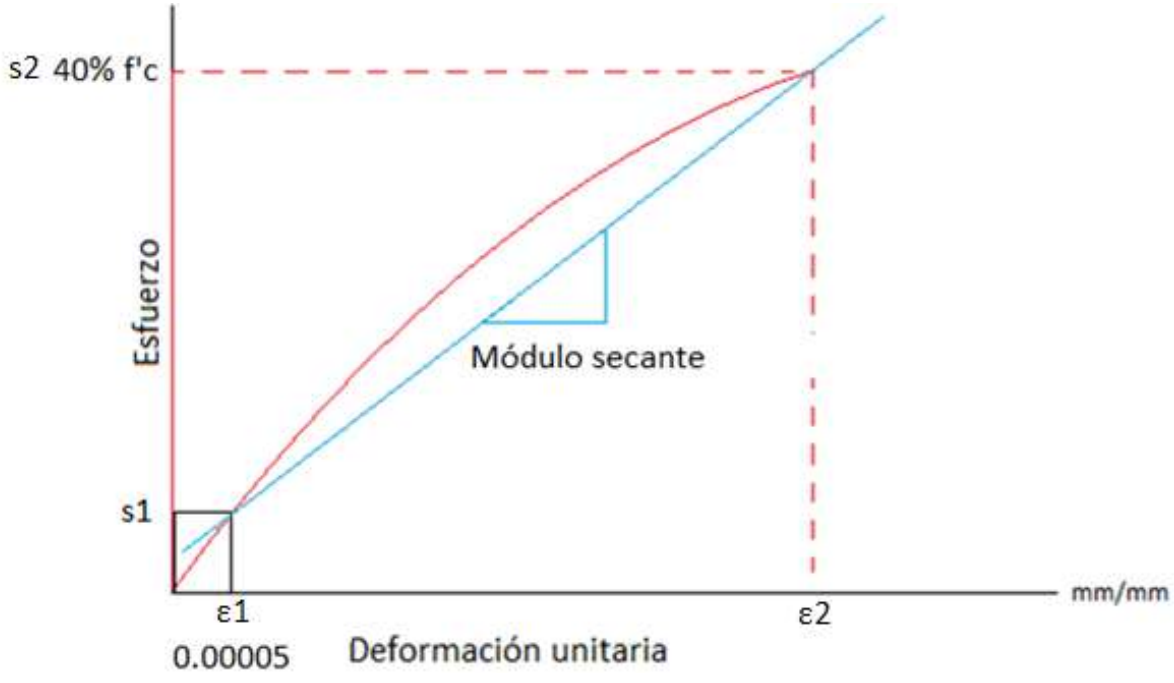
Wc es el peso unitario del concreto en unidades [kg/m^3] "*válida entre valores 1440 y 2560 Kg/m^3 "*

f'c y **Ec** en MPa

Para una densidad del hormigón aproximada de 2300 Kgf/m^3 el ACI-3018-02 sección 8.5.1 recomienda usar

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'c}$$

Figura 1. Módulo secante del concreto



Realizado por: Mario Flores

1.1.3.2 Agregados o áridos

La mayoría de hormigones, por no decir todos, se elaboran con agregados ya sean estos finos o gruesos, los cuales pueden ser obtenidos de diferentes fuentes como canteras, ríos, depósitos o a su vez de un proceso de trituración de rocas, estos materiales fundamentalmente vienen de tres tipos de grupos principales de rocas como son: metamórficas, sedimentarias e ígneas (9).

Tomando como una referencia para subdividir los agregados y facilitar su estudio por su tamaño se dividen en dos grupos que son: los agregados gruesos y agregados finos, más específicamente de 4.76 mm a 0.075 mm se considera agregado fino y de 4.76 mm en adelante como agregado grueso (10).

Aparte de la mencionada subdivisión por su tamaño, debemos tomar en cuenta otra clasificación fundamental que es de acuerdo a su peso específico, entonces los agregados también se dividen en: pesado, normal y ligero. Esta clasificación es primordial para la elaboración de hormigones con variantes en su peso unitario (9).

A lo largo del historial del estudio de este material como parte fundamental del hormigón se ha llegado a la conclusión de que existen propiedades físicas que influyen su comportamiento a la hora de formar parte del hormigón como: resistencia, adherencia, densidad, absorción, forma, etc. Pero las principales características o propiedades que más se enfocan como parte del hormigón ya sea en estado fresco como en estado endurecido son la granulometría y tamaño máximo del árido grueso.

La necesidad del análisis de estos materiales nace cuando a la hora de estudiar la fisuración del hormigón, era normal que este fallara en su matriz y zona de transición puesto que se creía que siempre en los hormigones, la partícula del agregado era más fuerte, pero cuando iniciaron los primeros ensayos de hormigones se llegó a la conclusión de que no siempre es así y esto conllevó a deducir que hay agregados de ciertas minas que fallan incluso con relaciones agua-cemento bajas (11).

1.1.3.2.1Arena (agregado fino)

De conocimiento en general, la arena puede venir de diferentes fuentes como playas, canteras o de procesos de trituración de rocas. La arena en base a experimentación para optimizar su desempeño en el hormigón tiene algunos estándares para su utilización, por ejemplo, su pureza y no hablo de que debe estar libre de material orgánico o basura, la arena con demasiado porcentaje de limos u arcillas es perjudicial para realizar un buen hormigón, existe un proceso de lavado para estas arenas para reducir los porcentajes de este material no deseado o buscar arenas de río que ya tienen este proceso de manera natural. Se ha demostrado que afecta en masía sus características de resistencia, específicamente esta debe cumplir un cierto porcentaje en cada tamaño de partícula lo que técnicamente se denomina granulometría de los finos. Se considera arena el material que pasa el tamiz 3/8 (9.5mm) y queda retenido en el tamiz 200 (0.75mm), como características básicas que este material debe presentar son angulosidad en las partículas, estar limpio y debe ser resistente (12).

Granulometría de la arena

Este viene a ser uno de los estándares principales para poder hacer partícipe de un hormigón de calidad y consiste en tomar una muestra de nuestro material fino (arena) y pasarla por una serie de tamices que van acomodados de manera ascendente de la siguiente manera según ACTM C125 #100; #50; #30; #16; #8; #4 y 3/8" básicamente la abertura de malla se va cerrando a la mitad de tamaño de la que le precede a lo largo de la caída del material por los tamices hasta ser retenido en el tamiz 200, se pesa la muestra y posteriormente el material retenido en cada tamiz, estos valores se los divide entre 100 y así se determina su porcentaje de participación en el agregado fino, representando estos valores gráficamente en la curva granulométrica. Teniéndose en cuenta que el porcentaje entre el material que pasa un tamiz y es retenido en los posteriores no debe exceder del 45% de la muestra total esto asegura una granulometría bien distribuida (12).

Tabla 1: de especificaciones técnicas de granulometría

Abertura de malla		Especificaciones ASTM C
En (mm)	En (pulgadas)	33-84
9.500	3/8"	100
4.750	N° 4	95-100
2.360	N° 8	80-100
1.180	N° 16	50-85
0.600	N° 30	25-60
0.300	N° 50	10-30
0.150	N° 100	2-10

Realizado por: Mario Flores

El módulo de finura

Esta es la propiedad que marca si una arena está en condiciones de ser utilizada o no en el hormigón, nos marca la distribución granulométrica que tiene nuestra arena y nos da las pautas de proporción de agregados en nuestro hormigón. El rango del módulo de finura es de:

$$2.3 \leq MF \leq 3.1$$

Que debe cumplir en el lugar de origen o procedencia del material y después de procesos de lavado y control no debe variar más del 0.2 del valor original, mientras menor es este valor indica que la arena es más fina y viceversa, se lo calcula mediante la siguiente expresión (12).

$$MF = \frac{\sum \%Acumulado}{\sum \%Pesos\ retenido} = \frac{\sum \%Acumulado}{100} \ldots\ldots\ldots$$

Peso específico relativo y absorción de la arena.

Este es otro de los índices determinantes a la hora de fabricar hormigón pues este valor indica la calidad del hormigón y es primordial a la hora del diseño de las dosificaciones, pero antes se necesitan determinar tres valores de nuestra muestra que son: el peso específico en estado seco; el peso específico en estado saturado con superficie seca y

finalmente el peso específico completamente saturado, este último se logra con la muestra sumergida en agua durante 24 horas (13). El peso específico relativo es la propiedad usualmente usada para determinar el volumen de los sólidos y el volumen de vacíos que ocuparán dentro del hormigón (13).

El peso específico relativo es todo el material sólido que se encuentra en la mezcla sin incluir los espacios vacíos llenos de aire o agua (porosidades), cuando la arena se encuentra expuesta al agua está la va absorbiendo por todos los microporos que se encuentran en cada partícula, esta característica de la arena hace que haya variación en su masa, estos cambios de masa debido a la absorción del agua por el material son los que se necesitan saber para hacer la dosificación, más concretamente, la cantidad de agua que necesitará nuestra dosificación de hormigón, para llegar a un valor determinante se hace una comparación con el material en estado seco y así estimar el potencial de absorción de nuestro material (13).

Contenido de humedad

Nuestro material de donde sea que se extraiga aunque parezca seco no es así del todo, la arena de forma natural ya tiene un cierto porcentaje de agua y este valor se considera el contenido de humedad, este valor es calculado al pesar una muestra de arena en estado natural, esta muestra se coloca en recipientes inoxidables y posteriormente colocarla dentro de un horno a una temperatura de 110℃ ± 5℃ por 4 horas, después volvemos a pesar la muestra y con esta la diferencia se calcula el porcentaje de humedad que tiene nuestra muestra [$\omega\%$] (12).

1.1.3.2.2Agregado grueso

Como su nombre lo indica, es el componente de mayor tamaño dentro del hormigón y aunque al igual que la arena, su función es la de rellenar espacios y abaratar costos, no está exento de cumplir unas ciertas características para poder formar parte de nuestros hormigones. La grava o agregado grueso es la descomposición de rocas más grandes ya sea de forma natural o por un proceso de trituración efectuado por la mano del hombre, este material debe tener un perfil con aristas muy marcadas o en lo posible no redondeada,

debe ser resistente y al igual que el árido fino debe estar libre de material no deseado como material orgánico, limos y arcillas. Se considera agregado grueso a las partículas retenidas en el tamiz #4 (4.75 mm) y su tamaño no debe exceder lo determinado por los requerimientos a donde va destinado el hormigón o características que este debe cumplir como la separación del acero con respecto a los encofrados, etc.

Tamaño máximo

El tamaño máximo del agregado grueso es determinado por el proceso de granulometría de la muestra. El porcentaje de peso que exceda el 15% del peso total de la muestra, a la abertura que le precede a este porcentaje de retención es considerada como nuestro tamaño máximo, este valor es solo una referencia pues existen en obra otras exigencias para considerar este valor como "*1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados, 1/3 de la altura de las losas y ¾ del espacio libre entre barras, cables ductos de refuerzo. En las obras de ingeniería existen condiciones limitantes, con la finalidad de evitar que queden espacios vacíos generados por las partículas y las barras de refuerzo impidiendo el paso y la distribución uniforme de la pasta del concreto"* (12).

Contenido de humedad del agregado grueso

Los áridos tienen una característica muy relevante que es la de absorber agua de forma natural, el material, aunque en apariencia está seco las partículas tienen micro porosidades donde se almacena agua y es de gran importancia conocer este valor para diseñar la dosificación de hormigones, más precisamente la cantidad de agua para no subdimensionar o sobre dimensionar la resistencia de hormigones (13).

Peso específico y absorción de agregados gruesos

Corresponde a la densidad de todo el material sólido que contendrá nuestro hormigón sin considerar los espacios de aire o porosidades con agua, al igual que el árido fino se determinan tres diferentes valores bajo diferentes condiciones como: el peso específico seco, el peso específico saturado y el peso específico saturado con su respectiva absorción.

Esta condición se da después de 24 horas de que nuestra muestra esta sumergida en agua (12).

La absorción es una propiedad que presentan las partículas y es la de retener agua en sus micro porosidades, lo cual altera el peso del material, conocido este valor se puede diseñar la mezcla, específicamente el agua que se va a necesitar para no alterar la resistencia del hormigón. Es también importante conocer el contenido de humedad de la muestra al natural y sin alterar, para esto se pesa una porción para posteriormente colocar la muestra en recipientes inoxidables y meter al horno por al menos 24 horas, pasado este tiempo se saca la muestra y se la vuelve a pesar, esta diferencia es el porcentaje de contenido de humedad (12).

1.1.3.3. El cemento

Es el elemento ligante dentro del hormigón y su obtención básicamente es del proceso de mezclar roca caliza junto con arcilla para posteriormente ser cocinado a un rango de temperatura de 1400°C a 1450°C , con este primer proceso se forma el clinker, se podría decir que es la forma bruta del cemento, para convertirlo en el material ligante se lo muele junto a un 3% o 4% de yeso como componente regulador del proceso de fragua, con este proceso final se obtiene el cemento que conocemos. Considerando los procesos que tiene este material no es sorpresa que sea el componente más caro y por eso no se hacen las estructuras de puro cemento y se recurre al material de relleno (áridos) (12).

En Ecuador existen varias marcas de cemento y su presentación más común es en sacos de 50Kg de peso, pero el que presenta mayor utilización por sus estándares y regulaciones es el cemento Holcim.

Descripción y características

Se considera un cemento hidráulico al que reacciona al agua y se endurece incluso si se encuentra sumergido en esta.

Holcim de Ecuador produce cementos en sus diferentes variedades en base a la Norma NTE INEN 2380 basada en ASTM C1157, el cemento más común es el Holcim GU que

es un cemento hidráulico para construcción de uso general, su composición es de clinker de cemento portland, sulfato de calcio y una adición de puzolanas (14).

Propiedades físicas

El cemento tipo holcim GU debe cumplir con los requisitos físicos normalizados que se presentan en la tabla 1 de NTE INEN 2380 (14).

Tabla2. Requisitos físicos para cemento NTE INEN 2380

	INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.80	-0.06
Tiempo de fraguado inicial, método de Vicat		
No menos de, minutos	45	190
No más de, minutos	420	
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	3
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo		
1 día	A	9
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	31
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.020	0.002

La información que consta en el cuadro técnico corresponde al promedio de los datos obtenidos en el periodo en curso. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim; los despachos individuales pueden tener variaciones.

(A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.

Fuente: Holcim Ecuador S.A. (14)

Calidad

¨Las especificaciones por desempeño contempladas en la Norma INEN 2380 indican que los cementos Tipo GU son aptos para la construcción de todo tipo de estructuras de hormigón donde no se requieran propiedades especiales. Nuestro cemento Holcim Fuerte Tipo GU es un producto de alta calidad que supera los requisitos establecidos en la Norma NTE INEN 2380, brindando seguridad y confianza al constructor en todos los campos de la ingeniería¨ (14).

Resistencia

Por su adecuada formulación, los cementos Holcim Tipo GU permiten elaborar hormigones con las resistencias requeridas para cualquier tipo y tamaño de construcción,

pues su resistencia es superior a las especificadas en las Normas INEN 152, INEN 490 e INEN2 380, para los cementos de uso general (14).

1.1.3.4. Agua apta para el hormigón.

El agua debe ser en lo más posible pura, exenta de cuerpos extraños y sustancias corrosivas para el hormigón y aceros, como ejemplo, aguas provenientes de lavado de minerales en minas, aguas de mar, carbonatadas, calcáreas, ácidas, etc. En forma práctica se hace referencia a que el agua idónea para hormigones es la que usted esté dispuesto a tomar.

De forma general, el uso del agua se encuentra bajo la responsabilidad del profesional y él velará si es necesario el análisis de laboratorio para el agua, pero en rangos básicos debe cumplir con las siguientes características: ¨*Cloruros máx. 300 pmn, sulfatos 300 pmm, sales de magnesio 150 pmm y sales solubles en su totalidad 1500 pmm, ph mayor de 7, sólidos en suspensión 1500 pmm, materia orgánica 10 pmm*¨ (15).

1.1.3.5. El concreto

El concreto es la combinación de materiales de origen rocoso ya sea de una granulometría fina o gruesa combinado con un elemento ligante que es accionado con el agua por reacción química, este compuesto tiene como finalidad ofrecer resistencia a la compresión y es utilizado en la construcción, al combinar todos estos elementos se presenta en forma pastosa y plástica, a medida que el agua va reduciendo su presencia dentro de él este va endureciendo hasta formar una roca artificial. El hormigón como elemento resistente a compresión tiene la función estructural de transmitir las cargas entre elementos o al suelo (16).

Es primordial en la ingeniería de la construcción, conocer la calidad del hormigón, basándose en los parámetros establecidos para su elaboración como el control de los materiales y el diseño de su combinación para poder obtener en lo posible las características requeridas al momento de su implementación en las estructuras porque un uso óptimo de este tendrá un impacto significativo en la economía individual o nacional (16).

Propiedades del Concreto.

La importancia de conocer las propiedades es porque da una garantía y seguridad en las obras construidas con este material, al elaborar un hormigón con todos los estándares, análisis de calidad de materiales y ensayos en sus diferentes estados, nos brinda una idea de las propiedades que nos proporcionará nuestro hormigón en, un principio, puesto que estas cambiarán con el paso del tiempo y las condiciones en las que este se encuentre (16).

La trabajabilidad.

Esta propiedad en perspectiva nos da la facilidad del manejo del hormigón en estado fresco, es decir, la facilidad del mezclado, la facilidad al colocarlo o compactarlo evitando la patología llamada (coqueras) esta se puede evitar según (16) manteniendo el control en la granulometría, es decir del 10% al 30% acumulado debe pasar la malla #50 y entre el 2% y el 10% la malla #10. El componente que marca la trabajabilidad es la relación agua-cemento, pero no por ello se colocará siempre más agua o cemento cuando sea pésima esta propiedad pues esto iría en contra de las dosificaciones de diseño comprometiendo la resistencia esperada o el factor económico (12).

La consistencia.

Así mismo esta propiedad define la cantidad de agua que se ha usado en la mezcla del hormigón, es un error muy común el colocar agua cuando se siente una trabajabilidad muy tosca o mala pues en el control de esta propiedad se determina si se ha excedido la cantidad de agua sin comprometer el diseño de la mezcla pues esta propiedad tiene procesos y medidas estandarizadas. Esta propiedad se verifica con el ensayo del cono de Abrams el cual define la consistencia por medio del asentamiento que este tiene al colocarlo en una superficie plana teniendo 3 valores referenciales de asentamiento como son: de 2.5cm a 5cm la mezcla tiene una consistencia seca; de 7.5cm a 10cm se considera una consistencia plástica y finalmente de 15cm a 20cm una consistencia fluida (16).

Resistencia a la compresión simple

Es el valor dominante para considerar un hormigón de la calidad esperada pues todos los controles, ensayos, elección de materiales, etc. Conllevan a no comprometer este valor que es el esperado en el diseño de la mezcla, pero el hormigón al no ser un material simple sino compuesto no es tarea fácil controlar cada uno de los factores que pueden alterarlo incluso al ser ya colocado en obra como, por ejemplo, la microfisuración al desencofrarlo, la forma de curarlo, la humedad de fraguado, etc. Por eso se tiene tantas exigencias con la elaboración de este material de construcción, la única propiedad que es verificable y esperada es su resistencia a lo largo del tiempo o envejecimiento, en edades estandarizadas para su verificación de 3, 7, 14 y 28 días sabiendo que a los 14 días llegará al 90% de su resistencia y como al paso de años irá reduciéndola por patologías u otros factores, pero esta es otra propiedad (16).

Este valor se determina en el laboratorio tomando muestras de la mezcla y formando cilindros de 15cm de diámetro y 30cm de longitud para después de hacer un proceso de curado se ensayan a edades determinadas dando su resistencia en kg/cm^2y con su nomenclatura [f'c] (12).

Durabilidad del hormigón.

El hormigón en su máxima resistencia deberá soportar a los factores de temperatura, climáticos, químicos o mecánicos previstos en su diseño a lo largo de la vida útil de este, siendo los más peligrosos los ocasionados por patologías.

Permeabilidad.

El hormigón debe ser resistente al paso del agua puesto que los aceros de refuerzo dependen enteramente de esta propiedad. La permeabilidad viene comprometida por la porosidad de los áridos o su vez de las porosidades dejadas por el curado o la mala compactación del hormigón al solidificarse, ya en estado sólido se debe tener en cuenta las patologías como carbonatación o la fisuración para mantener esta propiedad.

1.1.4. Hipótesis

El rango de variación en los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad estático del hormigón será del 20% al utilizar el método experimental propuesto por ASTM C469 y el método teórico propuesto por ACI 318, para los agregados de las minas Miraflores y Pungal Grande, ubicadas en el Cantón Guano, provincia de Chimborazo. El rango de variación en los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad estático del hormigón será del ±20% al utilizar el método experimental propuesto por ASTM C469 y el método teórico propuesto por ACI 318, para los agregados de las minas Pungal Alto y Miraflores, ubicadas en el Cantón Guano, provincia de Chimborazo.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Determinar el módulo de elasticidad estático del hormigón estructural elaborado con

agregados de las minas “Miraflores”, Pungal Grande” y cemento portland para el cantón Guano provincia de Chimborazo.

1.2.2. Específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los áridos de las minas: “Miraflores”, Pungal Grande” requeridas para la dosificación del hormigón.

- Dosificar las mezclas de hormigón para resistencias a la compresión a los 28 días de: 21MPa y 24 MPa, aplicando el método de la densidad óptima.

- Proponer una constante para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón para el cantón Guano, que reemplace los valores dados en la normativa ACI-318.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Nivel o tipo de investigación.

Carrasco (17) 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 "Miraflores y Pungal Grande" pertenecientes al cantón Guano de la provincia de Chimborazo, que aportan gran cantidad de material no solo al cantón Guano sino a las principales ciudades aledañas como San Andrés, Riobamba, etc. 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 influirá 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 una 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, entendiendo 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.

Tabla3. Probetas por elaborarse en la etapa final:

Mina	f´c (kg/cm2)	Número de probetas a ensayar				Probetas para el MEE	
		7 Días	14 Días	21 Días	28 Días		
Pungal Grande	210	3	3	3	3	9	21
	240	3	3	3	3	9	21
Miraflores	210	3	3	3	3	9	21
	240	3	3	3	3	9	21
Total		12	12	12	12	**36**	**84**

Realizado por: Mario Flores

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

Ripio y arena de las minas Miraflores y Pungal Grande.

Sacos de 50 kg 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
- Horno
- Balanza de 30 kg, precisión de 1g
- Balanza de 6 kg, precisión de 1g
- Balanza analógica de 100 kg 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
- Embudo
- Canastilla metálica
- Cámara de curado
- 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 a la norma NTE INEN 695, recoger agregados fino y grueso de las minas.

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 con 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. Determinación de la densidad del cemento NTE INEN 156.

15. 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 240 kg/cm².

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

16. Elaboración de cilindros de prueba

17. Toma de muestras de hormigón fresco, según NTE INEN 1763.

18. Ensayo de asentamiento del hormigón (estado fresco), de acuerdo a NTE INEN 1578.

19. Determinación de la densidad, contenido de aire y rendimiento, según NTE INEN 1579.

20. Ensayo destructivo de resistencia a la compresión para probetas iniciales, NTE INEN 1573.

21. Fabricación y curado de probetas finales, normativa NTE INEN 3124.

22. 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.

23. Cálculo del módulo de elasticidad estático, de acuerdo con la norma ASTM C469.

24. 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 MM para la mina Miraflores y MP para la mina Pungal Grande, 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, 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, excluyendo valores irreales, el módulo de elasticidad que relacione la resistencia especificada y su peso unitario.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento

Tabla 4. Resultados de densidad real del cemento

Parámetros de Control		
Parámetro	**Valor**	**Precisión Op INEN 156**
Rango	0.008	<0.030
Desviación estándar	0.006	<0.012
Coeficiente de variación (%)	0.002	<1.000%
Resultado (gr/cm³)	**2.975**	

Realizado por: Mario Flores

3.1.2. Ensayos en los agregados

Tabla 5. Ensayos para los materiales pétreos.

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

Fuente: NTE INEN 872

3.1.2.1. Toma y reducción de muestras

Como parte responsable y autora de este trabajo experimental se ha tomado cada una de las muestras de la forma más meticulosa posible in situ tomando como referencia la norma NTE INEN 695, teniendo en cuenta el estado y posibles factores ambientales que puedan interferir o alterar la muestra.

En el caso de la Mina Pungal Grande se la tomo de montículos de material, del cual se extrajo de diferentes puntos para mezclarlos y así formar una muestra representativa de la mina tanto de la arena como del ripio.

En la mina Miraflores se tomaron las mismas consideraciones anteriores y se extrajo una muestra representativa en el estado que se encontraba in situ.

Cumpliendo con la normativa de reducción de muestras se ha utilizado el método B como exige la norma NTE INEN 2566

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

Mina Pungal Grande:

Tabla 6. Material más fino que pasa el tamiz No 200.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Pungal Grande**	**Precición 1 OP IENE 697**
Rango	0.69	<0.43
Desviación estandar	0.18	<0.15
Coeficiente de variación (%)	18.66	N/A
Resultado (%)	2.62	<7

Realizado por: Mario Flores

Mina Miraflores:

Tabla 7. Material más fino que pasa el tamiz No 200.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Miraflores**	**Precición 1 OP IENE 857**
Rango	0.210	< 0.430
Desviación estandar	0.140	< 0.150
Coeficiente de variación (%)	3.480	N/A
Resultado (%)	2.260	< 3%

Realizado por: Mario Flores

Nota: Al ser materiales de minas naturales sin procesos previos de lavado o triturado el porcentaje máximo admisible de material que pase el tamiz #200 es de 3%

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

Tabla 8. Material orgánico e impurezas en agregado fino mina Pungal Grande.

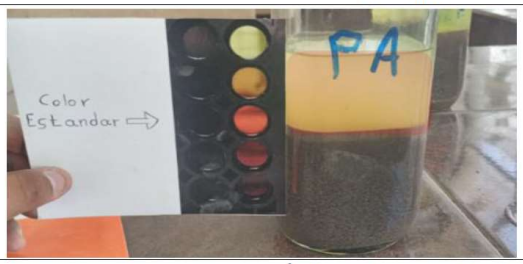
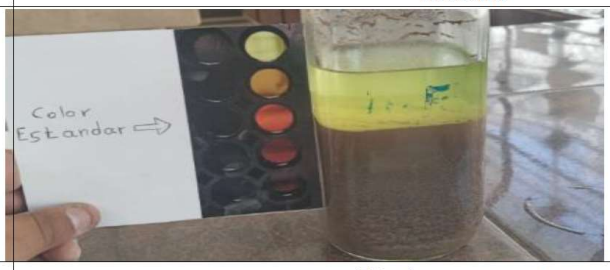
Origen	Mina Pungal Grande		
No. Comparador		**Escala Gardner**	No 5
Ensayado por:	Mario Flores	**Fecha de Muestreo**	01/09/2022
Norma	NTE INEN 855-2010	**Fecha de ensayo**	01/09/2022
Comparador	Muestra		
			
Color	Ámbar claro, traslúcido		
Contenido orgánico	Bajo		
Nota: Se observa un color claro con respecto a la tarjeta comparadora se concluye que tienen bajo porcentaje de material orgánico, arcillas, etc. Entonces es idónea para la mezcla de hormigón.			

Tabla 9. Material orgánico e impurezas en agregado fino mina Miraflores.

Origen	Mina Miraflores		
No. Comparador		**Escala Gardner**	No 5
Ensayado por:	Mario Flores	**Fecha de Muestreo**	01/09/2022
Norma	NTE INEN 855-2010	**Fecha de ensayo**	01/09/2022
Comparador	Muestra		
			
Color	Limón transparente		
Contenido orgánico	Casi inexistente		
Nota: Se observa un color claro con respecto a la tarjeta comparadora se concluye que tienen bajo porcentaje de material orgánico, arcillas, etc. Entonces es idónea para la mezcla de hormigón.			

Elaborado por: Mario Flores

3.1.2.4. Análisis granulométrico de los agregados

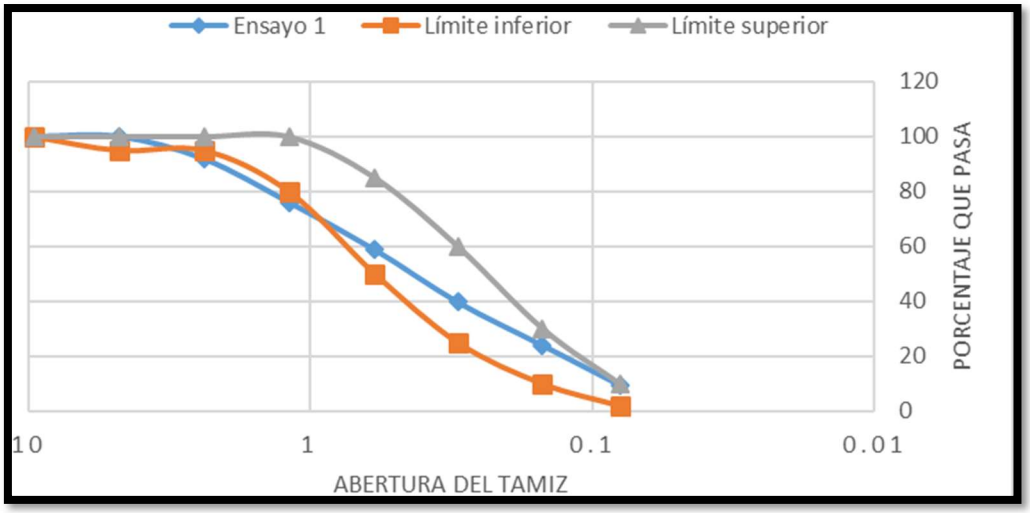
Granulometría del agregado fino:

Tabla 10. Granulometría del agregado fino mina Pungal Grande.

Origen		Mina: Pungal Grande			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		1000 gr			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		03/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		04/10/2022	
TAMIZ	**Abertura INEN 154 (mm)**	**Retenido parcial (gr)**	**Retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido (%)**	**Porcentaje retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje que pasa (gr)**	**Límites ASTM**	
							Límite inferior	**Límite superior**
3/8 "	9.50	0	0	0	0	100	100%	100%
No. 4	4.76	0	0	0	0	100	95%	100%
No. 8	2.38	81.69	81.69	8.17%	8.17%	91.83%	95%	100%
No. 16	1.19	157.42	239.11	15.75%	23.92%	76.08%	80%	100%
No. 30	0.59	172.71	411.82	17.28%	41.20%	58.8%	50%	85%
No. 50	0.30	190.31	602.13	19.04%	60.24%	39.76%	25%	60%
No. 100	0.15	157.16	759.29	15.72%	75.96%	24.04%	10%	30%
No. 200	0.08	143.87	903.16	14.39%	90.35%	9.65%	2%	10%
Bandeja		96.55	999.71	9.66%	100%	0	-	
Módulo de finura							2.99	

Realizado por: Mario Flores

Figura 2: Curva granulométrica del agregado fino Mina Pungal Grande.



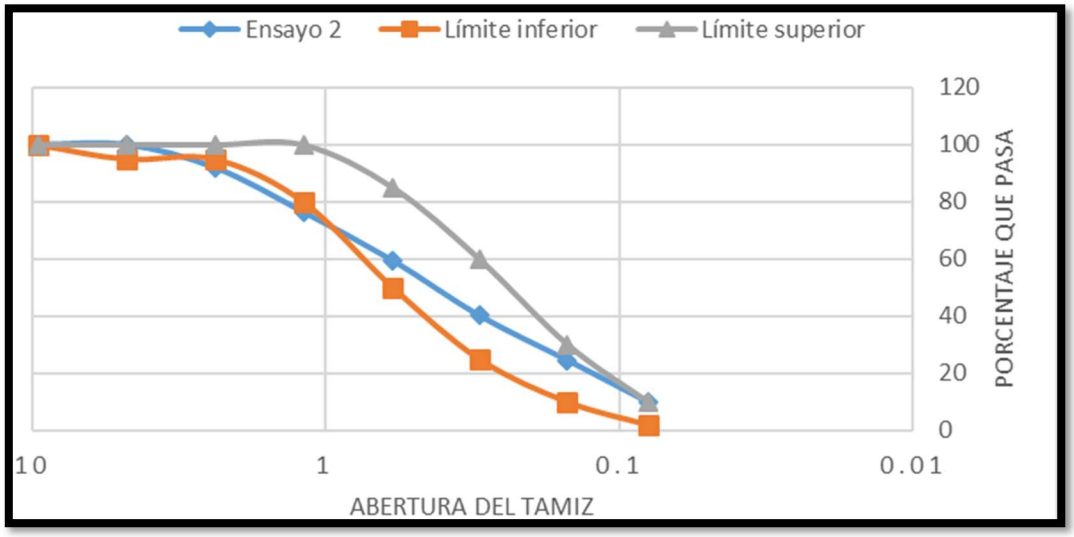
Realizado por: Mario Flores

Tabla 11. Granulometría del agregado fino mina Pungal Grande.

Origen		Mina: Pungal Grande			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		1000 gr			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		03/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		04/10/2022	
TAMIZ	**Abertura INEN 154 (mm)**	**Retenido parcial (gr)**	**Retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido (%)**	**Porcentaje retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje que pasa (gr)**	**Límites ASTM**	
							Límite inferior	**Límite superior**
3/8 "	9.50	0	0	0	0	100	100%	100%
No. 4	4.76	0	0	0	0	100	95%	100%
No. 8	2.38	80.29	80.29	8.03%	8.03	91.97	95%	100%
No. 16	1.19	155.12	235.41	15.52%	23.55	76.45	80%	100%
No. 30	0.59	170.61	406.02	17.06%	40.61	59.39	50%	85%
No. 50	0.30	191.81	597.83	19.19%	59.80	40.2	25%	60%
No. 100	0.15	156.82	754.65	15.69%	75.49	24.51	10%	30%
No. 200	0.08	145.69	900.34	14.57%	90.06	9.94	2%	10%
Bandeja		99.44	999.78	9.95%	100	0	-	
Módulo de finura							2.97	

Realizado por: Mario Flores

Figura 3: Curva granulométrica del agregado fino Mina Pungal Grande.



Realizado por: Mario Flores

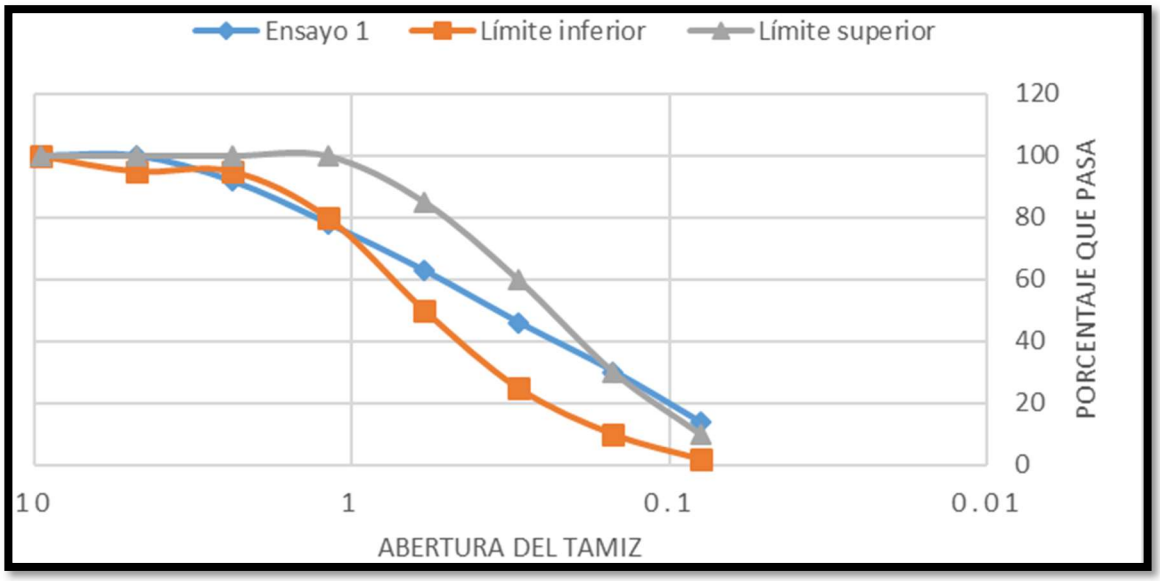
Mina Miraflores

Tabla 12. Granulometría del agregado fino mina Miraflores.

Origen		Mina: Miraflores			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		1000 gr			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		03/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		04/10/2022	
TAMIZ	**Abertura INEN 154 (mm)**	**Retenido parcial (gr)**	**Retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido (%)**	**Porcentaje retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje que pasa (gr)**	**Límites ASTM**	
							Límite inferior	**Límite superior**
3/8 "	9.50	0	0	0	0	100	100%	100%
No. 4	4.76	0	0	0	0	100	95%	100%
No. 8	2.38	81.46	81.46	8.15%	8.15%	91.85%	95%	100%
No. 16	1.19	137.10	218.56	13.71%	21.86%	78.14%	80%	100%
No. 30	0.59	153.42	371.98	15.34%	37.20%	62.80%	50%	85%
No. 50	0.30	166.93	538.91	16.69%	53.90%	46.10%	25%	60%
No. 100	0.15	159.35	698.26	15.94%	69.83%	30.17%	10%	30%
No. 200	0.08	164.66	862.92	16.47%	86.30%	13.70%	2%	10%
Bandeja		137	999.92	13.70%	100%	0	-	
Módulo de finura							2.77	

Realizado por: Mario Flores

Figura 4: Curva granulométrica del agregado fino Mina Miraflores.



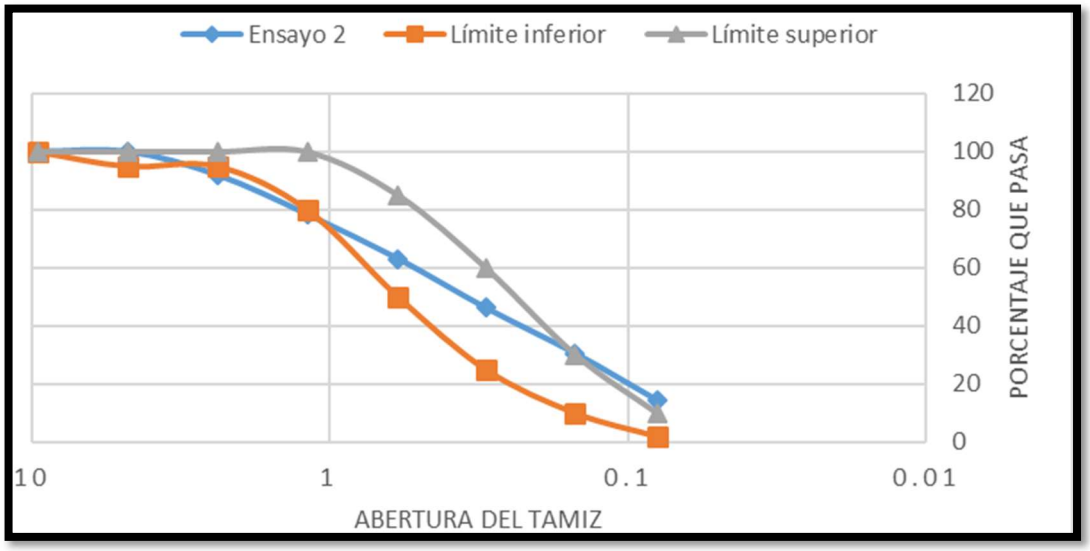
Realizado por: Mario Flores

Tabla 13. Granulometría del agregado fino mina Miraflores.

Origen		Mina: Miraflores			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		1000 gr			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		03/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		04/10/2022	
TAMIZ	**Abertura INEN 154 (mm)**	**Retenido parcial (gr)**	**Retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido (%)**	**Porcentaje retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje que pasa (gr)**	**Límites ASTM**	
							Límite inferior	**Límite superior**
3/8 "	9.50	0	0	0	0	100	100%	100%
No. 4	4.76	0	0	0	0	100	95%	100%
No. 8	2.38	80.43	80.43	8.05%	8.05%	91.95%	95%	100%
No. 16	1.19	135.39	215.82	13.54%	21.59%	78.41%	80%	100%
No. 30	0.59	153.10	368.92	15.32%	36.91%	63.09%	50%	85%
No. 50	0.30	168.79	537.71	16.89%	53.80%	46.20%	25%	60%
No. 100	0.15	157.42	695.13	15.75%	69.55%	30.45%	10%	30%
No. 200	0.08	160.35	855.48	16.04%	85.59%	14.41%	2%	10%
Bandeja		144.12	999.6	14.41	100%	0	-	
Módulo de finura							2.76	

Realizado por: Mario Flores

Figura 5: Curva granulométrica del agregado fino Mina Miraflores.



Realizado por: Mario Flores

NOTA: Para la mina de Miraflores tenemos un módulo de finura de 2.77 que nos dice que cuenta con una granulometría equilibrada, mientras que para la mina de Pungal Alto tenemos un módulo de finura de 2.98 que nos indica que tiene una granulometría un poco gruesa.

En concordancia con la normativa NTE INEN 872 que nos dice que de ninguna manera un tamiz puede retener más de 45% del material ambas minas cumplen sin problema

Analizando las gráficas podemos denotar que la curva granulométrica de ambas minas traza una curva centrada entre los límites, podemos decir que es un material adecuado para la elaboración de hormigones

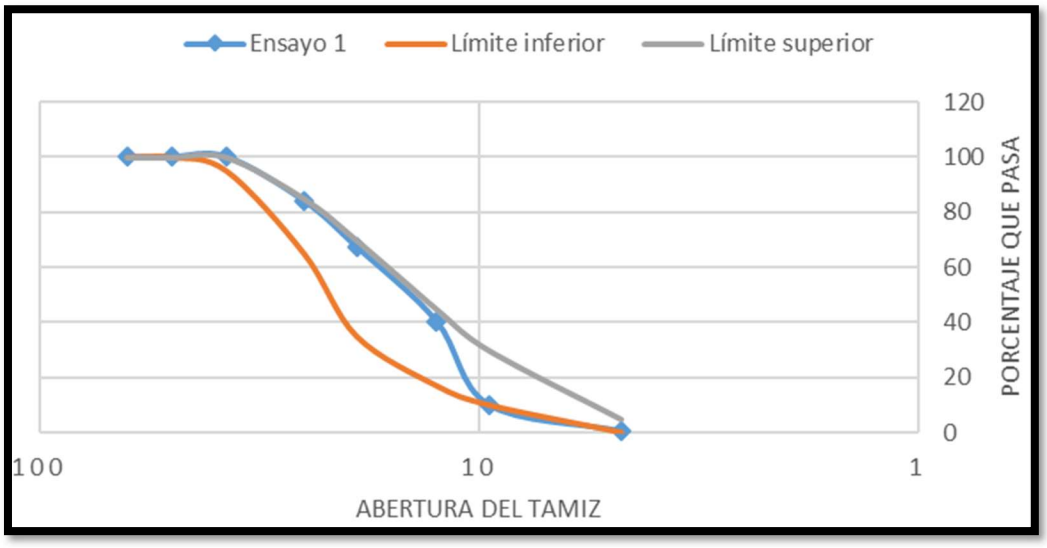
Granulometría del agregado grueso

Tabla 14. Granulometría del agregado grueso mina Pungal Grande.

Origen		Mina: Pungal Grande			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		04/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		05/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0	0	100		
2"	50	0	0	0	0	100		
1 1/2"	37,50	0	0	0	0	100	95	100
1 "	25,00	1600	1600	16.01	16.01	83.99	-	-
3/4 "	19,00	1662	3262	16.63	32.64	67.36	35	70
1/2 "	12,50	2703	5965	27.04	59.68	40.32	-	-
3/8 "	9,50	3037	9002	30.39	90.07	9.93	10	30
No. 4	4,75	955	9957	9.55	99.62	0.38	0	5
Fuente		38	9995	0.38	100	0		
Tamaño Nominal máximo:						1 ½"		

Realizado por: Mario Flores

Figura 6: Curva granulométrica del agregado grueso Mina Pungal Grande.



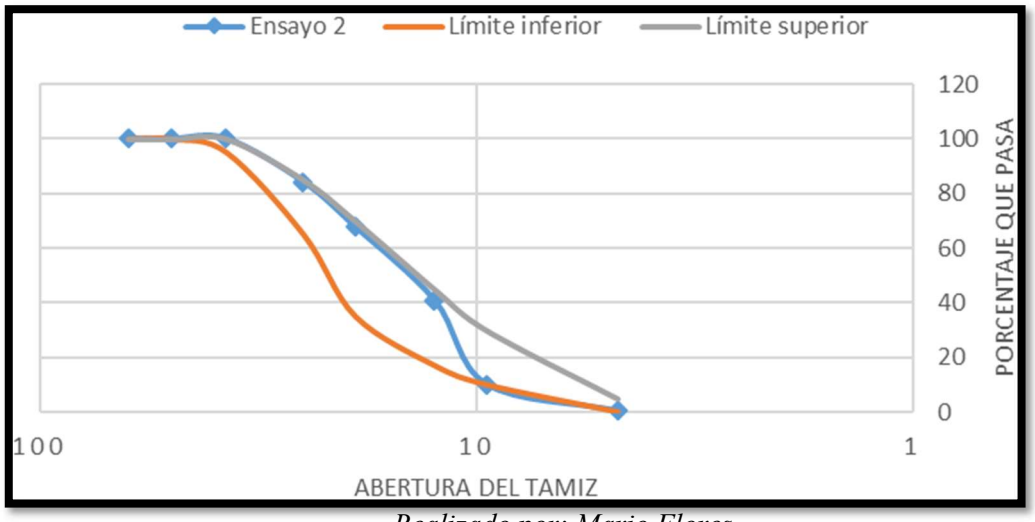
Realizado por: Mario Flores

Tabla 15. Granulometría del agregado grueso mina Pungal Grande.

Origen		Mina: Pungal Grande			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		04/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		05/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0	0	100		
2"	50	0	0	0	0	100		
1 1/2"	37,50	0	0	0	0	100	95	100
1 "	25,00	1589	1589	15.90	15.90	84.1	-	-
3/4 "	19,00	1640	3229	16.41	32.31	67.69	35	70
1/2 "	12,50	2689	5918	26.90	59.21	40.79	-	-
3/8 "	9,50	3068	8986	30.69	89.90	10.1	10	30
No. 4	4,75	965	9951	9.65	99.55	0.45	0	5
Fuente		45	9996	0.45	100	0		

Realizado por: Mario Flores

Figura 7: Curva granulométrica del agregado grueso Mina Pungal Grande.



Realizado por: Mario Flores

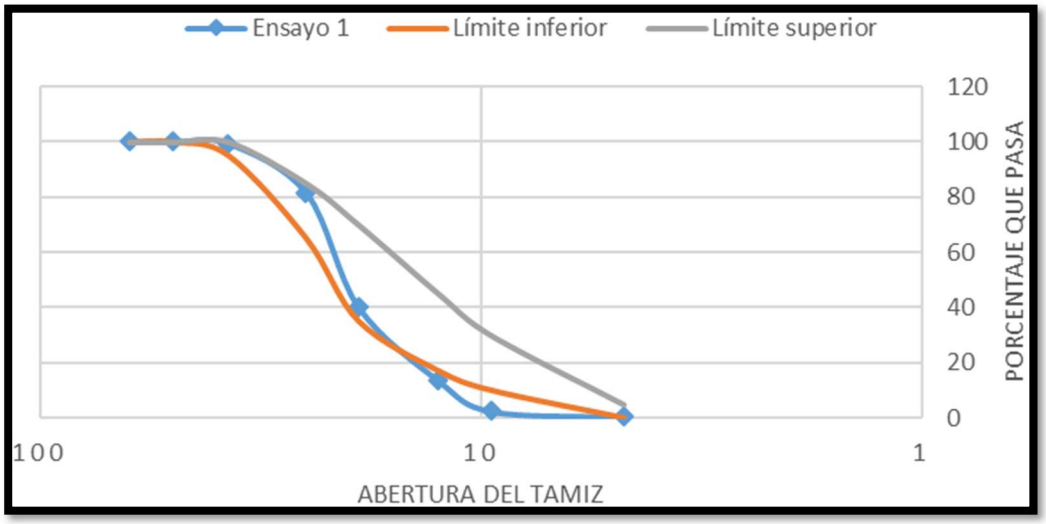
Mina Miraflores:

Tabla 16. Granulometría del agregado grueso mina Miraflores.

Origen		Mina: Miraflores			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		04/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		05/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0	0	100		
2"	50	0	0	0	0	100		
1 1/2"	37,50	73	73	0.73	0.73	100	95	100
1 "	25,00	1777	1850	17.78	18.51	81.49	-	-
3/4 "	19,00	4143	5993	41.44	59.95	40.05	35	70
1/2 "	12,50	2660	8653	26.61	86.56	13.44	-	-
3/8 "	9,50	1095	9748	10.95	97.51	2.49	10	30
No. 4	4,75	212	9960	2.12	99.63	0.37	0	5
Fuente		37	9997	0.37	100	0		
Tamaño Nominal máximo:						1 ½"		

Realizado por: Mario Flores

Figura 8: Curva granulométrica del agregado grueso mina Miraflores.



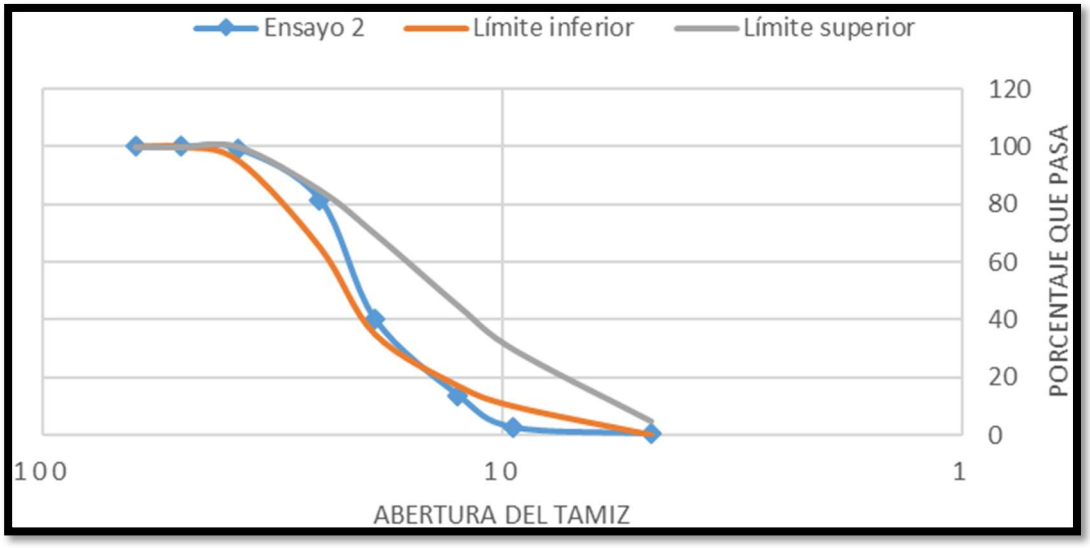
Realizado por: Mario Flores

Tabla 17. Granulometría del agregado grueso mina Miraflores.

Origen		Mina: Miraflores			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		04/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		05/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0	0	100		
2"	50	0	0	0	0	100		
1 1/2"	37,50	81	81	0.81	0.81	99.19	95	100
1 "	25,00	1759	1840	17.60	18.41	81.59	-	-
3/4 "	19,00	4136	5976	41.38	59.79	40.21	35	70
1/2 "	12,50	2652	8628	26.54	86.33	13.67	-	-
3/8 "	9,50	1102	9730	11.03	97.36	2.64	10	30
No. 4	4,75	223	9953	2.23	99.59	0.41	0	5
Fuente		41	9994	0.41	100	0		
Tamaño Nominal máximo:						1 ½"		

Realizado por: Mario Flores

Figura 9: Curva granulométrica del agregado grueso Mina Miraflores.



Realizado por: Mario Flores

Comentario: Analizando las curvas de la mina Pungal grande se puede observar que tiende a tener partículas gruesas, pero sin sobrepasar los límites.

Mientras que la curva de la mina Miraflores presenta una tendencia a granulometría fina en el 20% de la muestra indicando que no es óptima, pero es aceptable presentando buena trabajabilidad.

Ambas minas presentan un tamaño nominal máximo de 1 ½" que indica que es un material en condiciones para la elaboración de hormigones y tendrá bajo porcentaje de presentar problemas de atascamiento de agregado entre el armado.

3.1.2.5. Determinación de la gravedad específica o densidad relativa.

Agregado fino.

Tabla 18. Densidad relativa (SSS) del agregado fino.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Pungal Grande**	**Precición 1 OP IENE 856**
Rango	0.0260	< 0.0270
Desviación estandar	0.0180	< 0.0095
Coeficiente de variación (%)	0.7200	N/A
Resultado (gr/cm³)	2.5490	N/A

Realizado por: Mario Flores

Tabla 19. Densidad relativa (SSS) del agregado fino.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Miraflores**	**Precición 1 OP IENE 856**
Rango	0.0300	< 0.0270
Desviación estandar	0.0021	< 0.0095
Coeficiente de variación (%)	0.8600	N/A
Resultado (gr/cm³)	2.5490	N/A

Realizado por: Mario Flores

Agregado Grueso:

Tabla 20. Densidad relativa (SSS) del agregado grueso.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Pungal Grande**	**Precición 1 OP IENE 856**
Rango	0.020	< 0.020
Desviación estandar	0.003	< 0.007
Coeficiente de variación (%)	1.090	N/A
Resultado (gr/cm³)	2.549	N/A

Realizado por: Mario Flores

Tabla 21. Densidad relativa (SSS) del agregado grueso.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Miraflores**	**Precición 1 OP IENE 856**
Rango	0.0200	< 0.0200
Desviación estandar	0.0014	< 0.0070
Coeficiente de variación (%)	0.5600	N/A
Resultado (gr/cm³)	2.5490	N/A

Realizado por: Mario Flores

Comentario:

Tenemos resultados favorables en el cumplimiento de los rangos de variación de experimentación en el laboratorio con un operador, cumpliendo así con la norma NTE INEN 856 y 857 dando como conclusión que nuestras minas de estudio poseen materiales de densidad estándar

3.1.2.6. Determinación de la capacidad de absorción de los agregados

Agregado Fino:

Tabla 22. Capacidad de absorción del agregado fino.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Pungal Grande**	**Precición 1 OP IENE 856**
Rango	0.09	< 0.31
Desviación estandar	0.06	< 0.11
Coeficiente de variación (%)	3.20	N/A
Resultado (%)	1.99	N/A

Realizado por: Mario Flores

Tabla 23. Capacidad de absorción del agregado fino.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Miraflores**	**Precición 1 OP IENE 856**
Rango	0.04	< 0.31
Desviación estandar	0.03	< 0.11
Coeficiente de variación (%)	1.21	N/A

Realizado por: Mario Flores

Comentario: Analizando los parámetros se puede decir que nuestros áridos finos tanto de la mina Pungal Alto y Miraflores poseen una capacidad de absorción elevada indicando que nuestros materiales finos están en una calidad media, basándonos en el rango de absorción óptima que es de 0.2% a 2%

Agregado Grueso:

Tabla 24. Capacidad de absorción del agregado grueso.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Pungal Grande**	**Precición 1 OP IENE 857**
Rango	0.060	< 0.310
Desviación estandar	0.004	< 0.110
Coeficiente de variación (%)	1.760	N/A
Resultado (%)	2.410	N/A

Realizado por: Mario Flores

Tabla 25. Capacidad de absorción del agregado grueso.

Parámetros de control		
Parámetro	**Mina Miraflores**	**Precición 1 OP IENE 857**
Rango	0.410	< 0.310
Desviación estandar	0.029	< 0.110
Coeficiente de variación (%)	1.010	N/A
Resultado (%)	2.410	N/A

Realizado por: Mario Flores

Comentario: Analizando los parámetros permisibles de porcentaje de absorción que se encuentran dentro del rango del 0.2% al 4% podemos deducir que nuestro material grueso tanto de la mina Pungal Alto y Miraflores es calidad.

3.1.2.7. Determinación de la densidad aparente de los agregados

Condición: Suelta y Compactada

Árido Fino

Tabla 26. Densidad aparente de árido fino.

Parámetro	Suelta		Compactada		Precición 1
	Pungal	Miraflores	Pungal	Miraflores	OP INEN 858
Rango	0.020	0.030	0.020	0.010	< 0.040
Desviación estandar	0.014	0.021	0.014	0.007	< 0.014
Coeficiente de Variación	0.880	1.270	0.790	0.380	< 1.000%
Resultado (gr/cm³)	1.600	1.660	1.770	1.810	N/A

Realizado por: Mario Flores

Árido Grueso:

Tabla 27. Densidad aparente de árido grueso.

Parámetro	Suelta		Compactada		Precición 1
	Pungal	Miraflores	Pungal	Miraflores	OP INEN 858
Rango	0.030	0.010	0.000	0.000	< 0.040
Desviación estandar	0.021	0.007	0.000	0.000	< 0.014
Coeficiente de Variación	1.460	0.510	0.000	0.000	< 1.000%
Resultado (gr/cm³)	1.450	1.365	1.550	1.550	N/A

Realizado por: Mario Flores

Comentario: Dados los resultados se puede considerar valores normales para las densidades tanto sueltas como compactadas de los áridos, entran en el rango de 1.120 a 1.920 gr/cm^3

Analizando los valores de densidad suelta de nuestros materiales se puede concluir que cumplen en su mayoría los parámetros establecidos, el resto entran en los rangos sin problema. En conclusión, son materiales calificados para ser parte de hormigones.

Condición: Mezcla de agregado grueso + fino

Mina Pungal Alto:

Tabla 28. Densidad aparente de la mezcla mina Pungal grande.

% de Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(Kg)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm³)	DA promedio (gr/cm³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41520	31560	1.56	1.55
					41420	31460	1.55	
90	10	40000	4444.44	4444.44	44570	34610	1.71	1.71
					44585	34625	1.71	
80	20	40000	10000	5555.56	47070	37110	1.83	1.85
					47770	37810	1.87	
70	30	40000	17142.86	7142.86	49555	39595	1.95	1.97
					50140	40180	1.98	
60	40	40000	26666.67	9523.81	51480	41520	2.05	2.04
					51315	41355	2.04	
50	50	40000	40000	13333.33	51140	41180	2.03	2.02
					50850	40890	2.02	
40	60	40000	60000	20000	50371	40411	1.99	1.99
					50087	40127	1.98	

PMA=46	PMR=54	POA=42	POR=58	DCM=2.05	DCO=2.04

Realizado por: Mario Flores

Mina Miraflores:

Tabla 29. Densidad aparente de la mezcla mina Miraflores.

% de Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(Kg)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm³)	DA promedio (gr/cm³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41420	31460	1.55	1.55
					41380	31420	1.55	
90	10	40000	4444.44	4444.44	42490	32530	1.60	1.60
					421950	32235	1.59	
80	20	40000	10000	5555.56	45430	35470	1.75	1.75
					45450	35490	1.75	
70	30	40000	17142.86	7142.86	494850	39525	1.95	1.93
					48750	38790	1.91	
60	40	40000	26666.67	9523.81	51600	41640	2.05	2.05
					51255	41295	2.04	
50	50	40000	40000	13333.33	51640	41680	2.06	2.06
					51875	41915	2.07	
40	60	40000	60000	20000	50864	40904	2.02	2.02
					51099	41139	2.03	

PMA=50	PMR=50	POA=46	POR=54	DCM=2.09	DCO=2.08

Realizado por: Mario Flores

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

3.1.3.1. Antecedentes

Para realizar un diseño de mezcla de hormigón se debe tener como parámetro inicial el requerimiento de una resistencia de hormigón, de ahí parte los diferentes estudios de los materiales como el cemento, características del material pétreo y el agua.

El objetivo de un diseño de mezcla es que conocidas las propiedades de los componentes del hormigón y la resistencia a la que se debe llegar, se determina las proporciones de cada elemento.

En este momento es donde se requieren los resultados de cada uno de nuestros ensayos realizados que estarán resumidos en la tabla 30 y 31.

3.1.3.2. Características de los materiales.

Tabla 30. Características del material de la mina Pungal grande.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento	2.975	(gr/cm³)
Densidad real del agregado fino	2.549	(gr/cm³)
Densidad real del agregado grueso	2.58	(gr/cm³)
Densidad aparente suelta del agregado fino	1.6	(gr/cm³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso	1.45	(gr/cm³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada)	1.77	(gr/cm³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada)	1.55	(gr/cm³)
Porcentaje óptimo de agregado fino	42	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso	58	%
Densidad óptima de la mezcla	2.04	(gr/cm³)
Módulo de finura de la arena	2.98	%
Contenido de humedad del agregado fino	1.78	%
Contenido de humedad del agregado grueso	1.96	%
Capacidad de absorción del agregado fino	1.985	%
Capacidad de absorción del agregado grueso	2.41	%

Realizado por: Mario Flores

Tabla 31. Características del material de la mina Miraflores.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento	2.975	(gr/cm³)
Densidad real del agregado fino	2.47	(gr/cm³)
Densidad real del agregado grueso	2.55	(gr/cm³)
Densidad aparente suelta del agregado fino	1.66	(gr/cm³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso	1.365	(gr/cm³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada)	1.81	(gr/cm³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada)	1.55	(gr/cm³)
Porcentaje óptimo de agregado fino	46	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso	54	%
Densidad óptima de la mezcla	2.08	(gr/cm³)
Módulo de finura de la arena	2.765	%
Contenido de humedad del agregado fino	1.82	%
Contenido de humedad del agregado grueso	2.05	%
Capacidad de absorción del agregado fino	2.32	%
Capacidad de absorción del agregado grueso	2.855	%

Realizado por: Mario Flores

3.1.3.3 Resultados de mezcla de prueba

Se presenta en el anexo 4 la dosificación de prueba obteniendo por lo menos las resistencias mínimas.

En las tablas 32, 33, 34 y 35 se presentan las dosificaciones obtenidas con las características de los materiales y usando el método de la densidad óptima.

3.1.3.4 Cilindros de prueba

Figura 10: Resistencia alcanzada (7 y 14 días) f'c=210 kg/cm² .

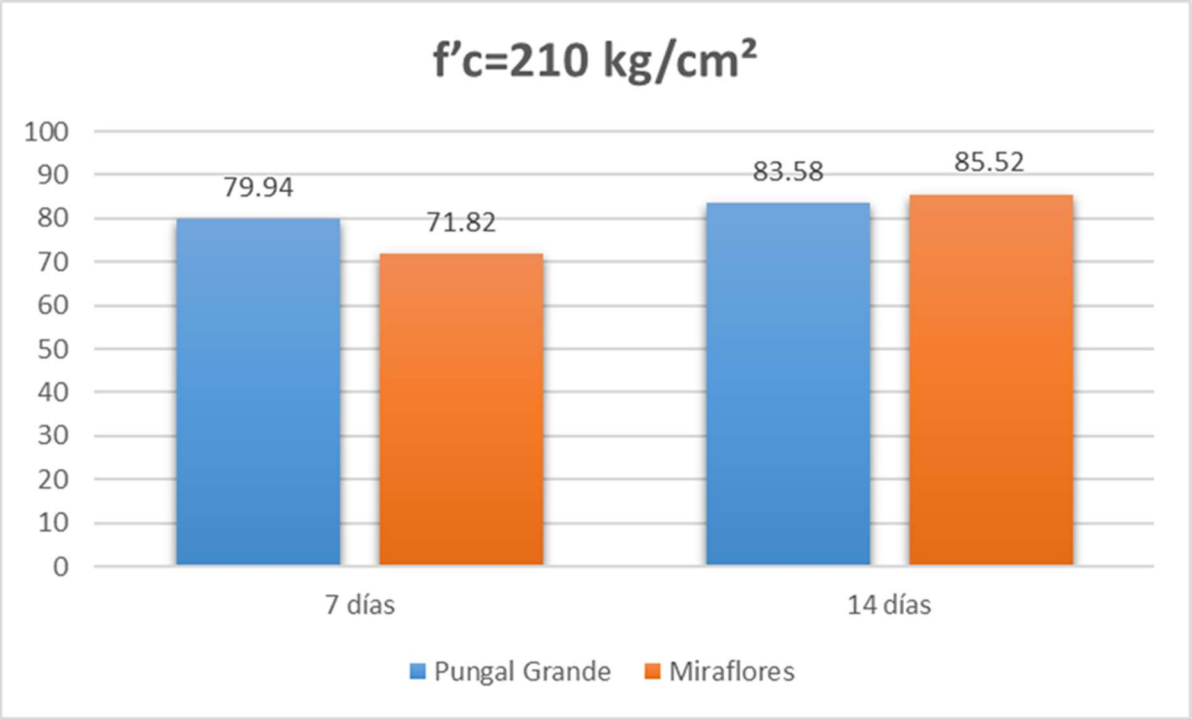
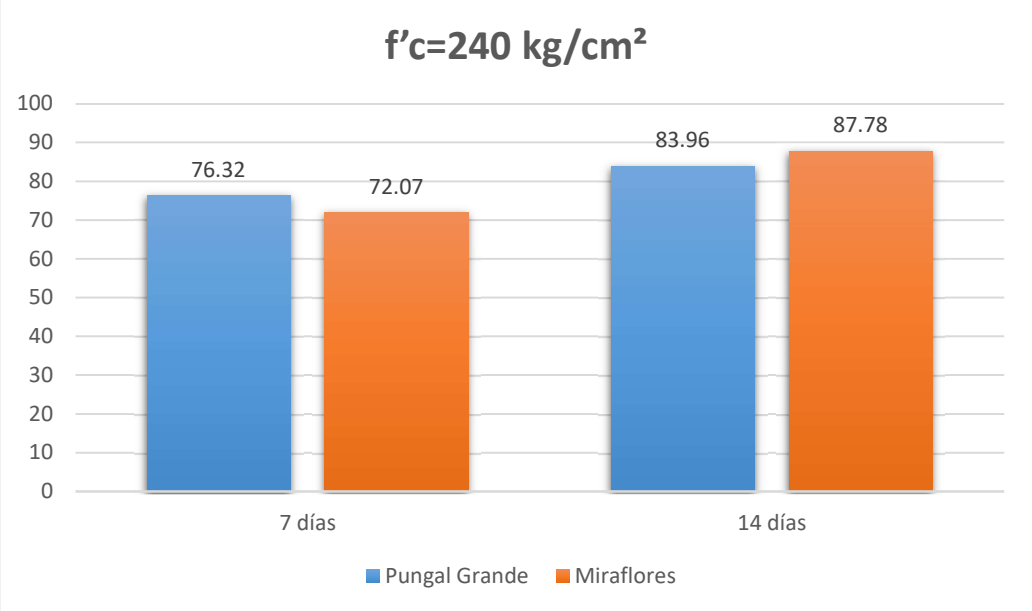


Figura 11: Resistencia alcanzada (7 y 14 días) f'c=240 kg/cm².



Pungal Grande:

Hormigón de 210 Kg/cm² de Resistencia:

Tabla 32: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=210 kg/cm².

Resultados para f'c 210 Kg/cm²					
Material	**Cantidad en Kg @m3**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg por saco de 50Kg**	**Dosificación por volumen en obra**	
W	191.47	0.58	29	29	litros
C	330.72	1	50	1	Saco
AF	696.25	2.10	105	2.43	Parihuela
AG	1131.41	3.42	171	4.36	Parihuela

Realizado por: Mario Flores

Hormigón de 240 Kg/cm² de Resistencia:

Tabla 33: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=240 kg/cm².

Resultados para f'c 240 Kg/cm²					
Material	**Cantidad en Kg @m3**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg por saco de 50Kg**	**Dosificación por volumen en obra**	
W	189.63	0.56	28	28	litros
C	338.63	1	50	1	Saco
AF	670.06	1.98	99	2.29	Parihuela
AG	1088.85	3.22	161	4.11	Parihuela

Realizado por: Mario Flores

Miraflores:

Hormigón de 210 Kg/cm² de Resistencia:

Tabla 34: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=210 kg/cm².

Resultados para f'c 210 Kg/cm²					
Material	**Cantidad en Kg @m3**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg por saco de 50Kg**	**Dosificación por volumen en obra**	
W	176.81	0.58	29	29	litros
C	295.75	1	50	1	Saco
AF	851.88	2.88	144	3.21	Parihuela
AG	1004.58	3.4	170	4.59	Parihuela

Realizado por: Mario Flores

Hormigón de 240 Kg/cm² de Resistencia:

Tabla 35: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=240 kg/cm².

Resultados para f'c 240 Kg/cm²					
Material	**Cantidad en Kg @m3**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg por saco de 50Kg**	**Dosificación por volumen en obra**	
W	162.98	0.56	28	28	litros
C	291.04	1	50	1	Saco
AF	830.10	2.85	142.5	3.17	Parihuela
AG	978.89	3.36	168	4.56	Parihuela

Realizado por: Mario Flores

3.1.3.4 Condiciones de Diseño.

Tabla 36: Condiciones de diseño.

Resistencia f'c(Kg/cm²)	Relación w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento
210	0.58	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m³	Hidráulico Tipo GU
240	0.56	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m³	Hidráulico Tipo GU

Realizado por: Mario Flores

3.1.4.1. Ensayos realizados con dosificación comprobada

Ensayos realizados en estado fresco

Tabla 37. Ensayos en estado fresco.

Item	Mina			
	PG210	**PG240**	**M210**	**M240**
Fecha elaboración	16/11/2022	16/11/2022	28/11/2022	28/11/2022
Hora	11H00	14H00	10H00	14H00
Docilidad	Buena	Media	Buena	Media
Homogeneidad	Buena	Buena	Buena	Media
Temp °C	20	17	21	18
Asentamiento(cm)	8	6	7	6
Consistencia	Media	Media	Media	Media
Densidad (Kg/m³)	2267.369	2298.364	2275.896	2337.123

Ensayos del Hormigón en estado endurecido.

Resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas de hormigón de cemento hidráulico referenciado en la norma NTE INEN 1573.

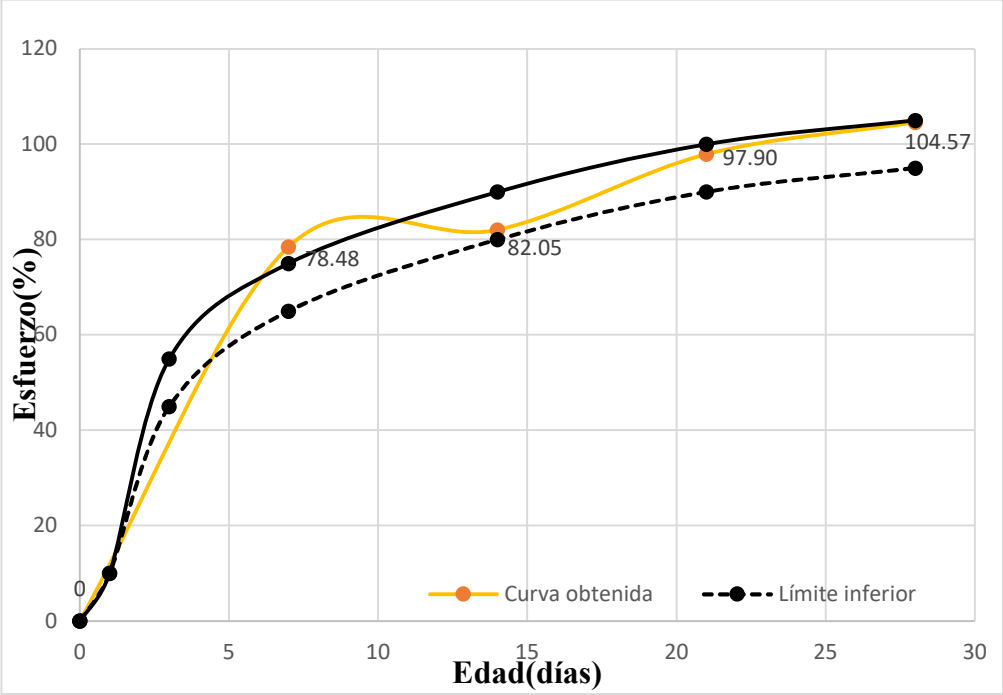
Pungal Grande:

Tabla 38. Ensayos de probetas f'c 21 Mpa "Pungal Grande".

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de esfuerzo	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	16.48	78.48%	7	65%	75%
14	17.23	82.05%	14	80%	90%
21	20.56	97.90%	21	90%	100%
28	21.96	104.57%	28	95%	105%

Realizado por: Mario Flores

Figura 12: Gráfica esfuerzo vs Tiempo 21 Mpa "Pungal Grande".



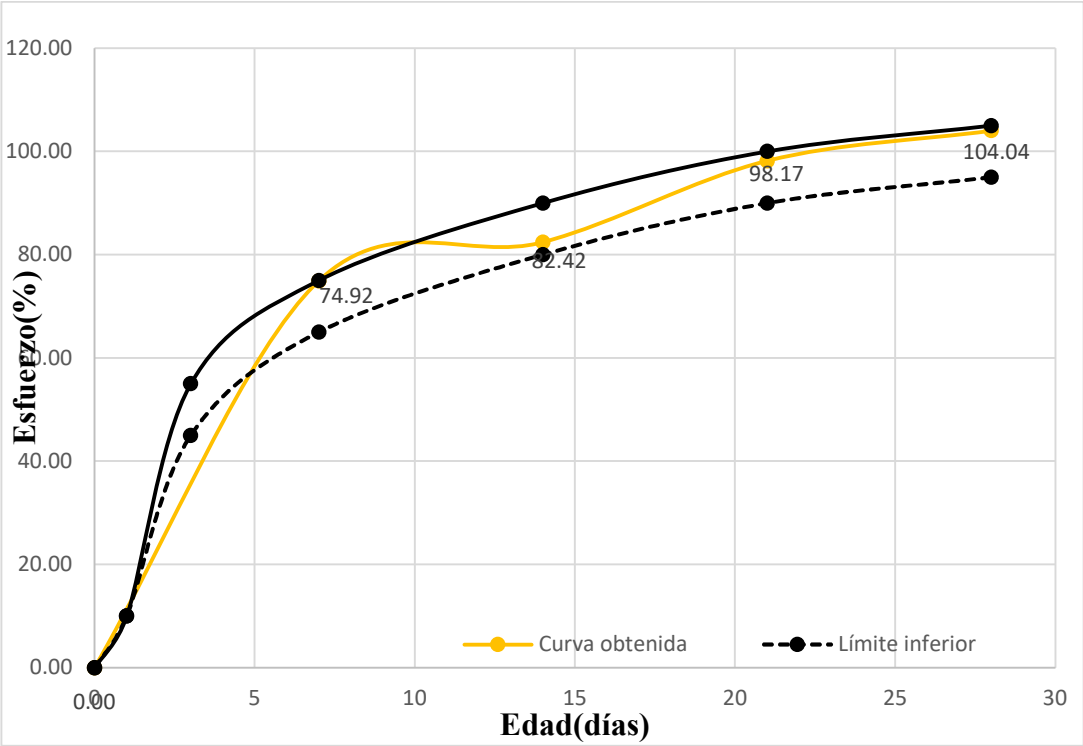
Realizado Por: Mario Flores

Tabla 39. Ensayos de probetas f'c 24 Mpa "Pungal Grande".

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	17.98	75%	7	65%	75%
14	19.78	82%	14	80%	90%
21	23.56	98%	21	90%	100%
28	24.97	104%	28	95%	105%

Realizado por: Mario Flores

Figura 13: Gráfica esfuerzo vs Tiempo 24 Mpa "Pungal Grande".



Realizado por: Mario Flores

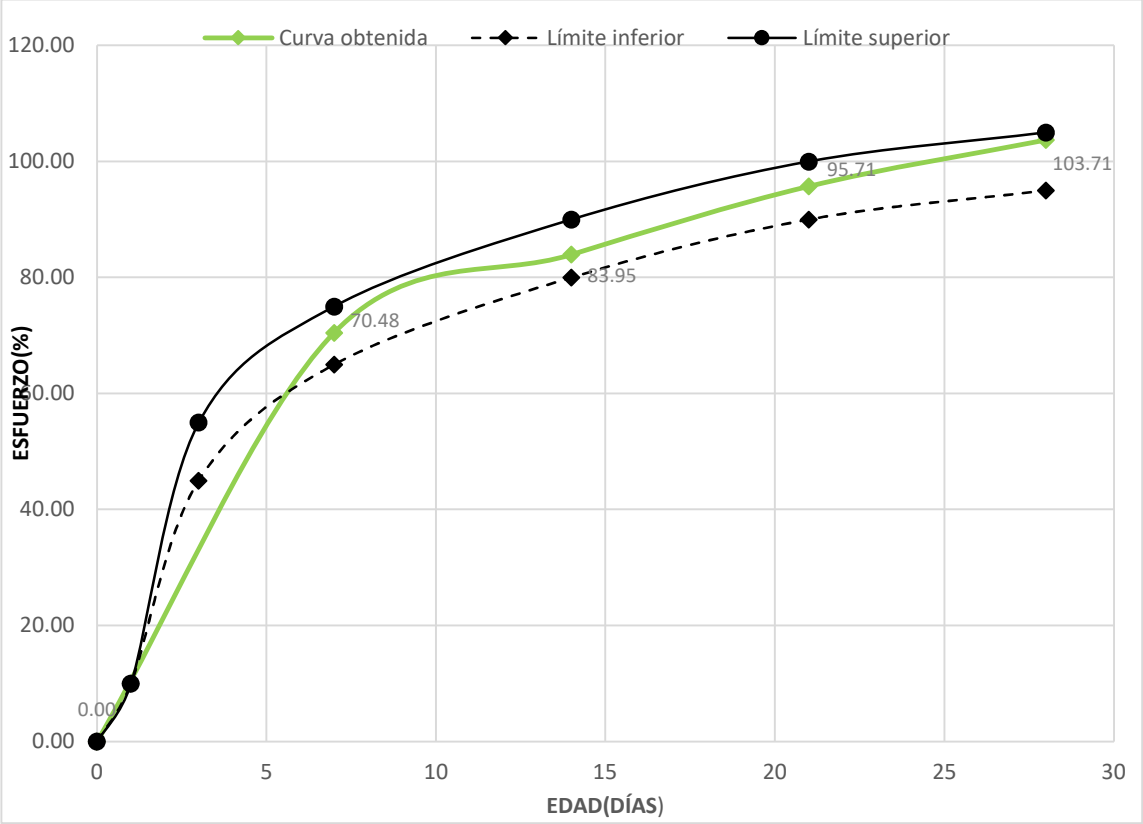
Miraflores:

Tabla 40. Ensayos de probetas f'c 21 Mpa "Miraflores"

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	**Esfuerzo Promedio(Mpa)**	**Porcentaje de resistencia**	**Edad Días**	**Límite inferior**	**Límite superior**
7	14.80	70.48%	7	65%	75%
14	17.63	83.95%	14	80%	90%
22	20.10	95.71%	21	90%	100%
28	21.78	103.71%	28	95%	105%

Realizado por: Mario Flores

Figura 14: Gráfica esfuerzo vs Tiempo 21 Mpa "Miraflores"



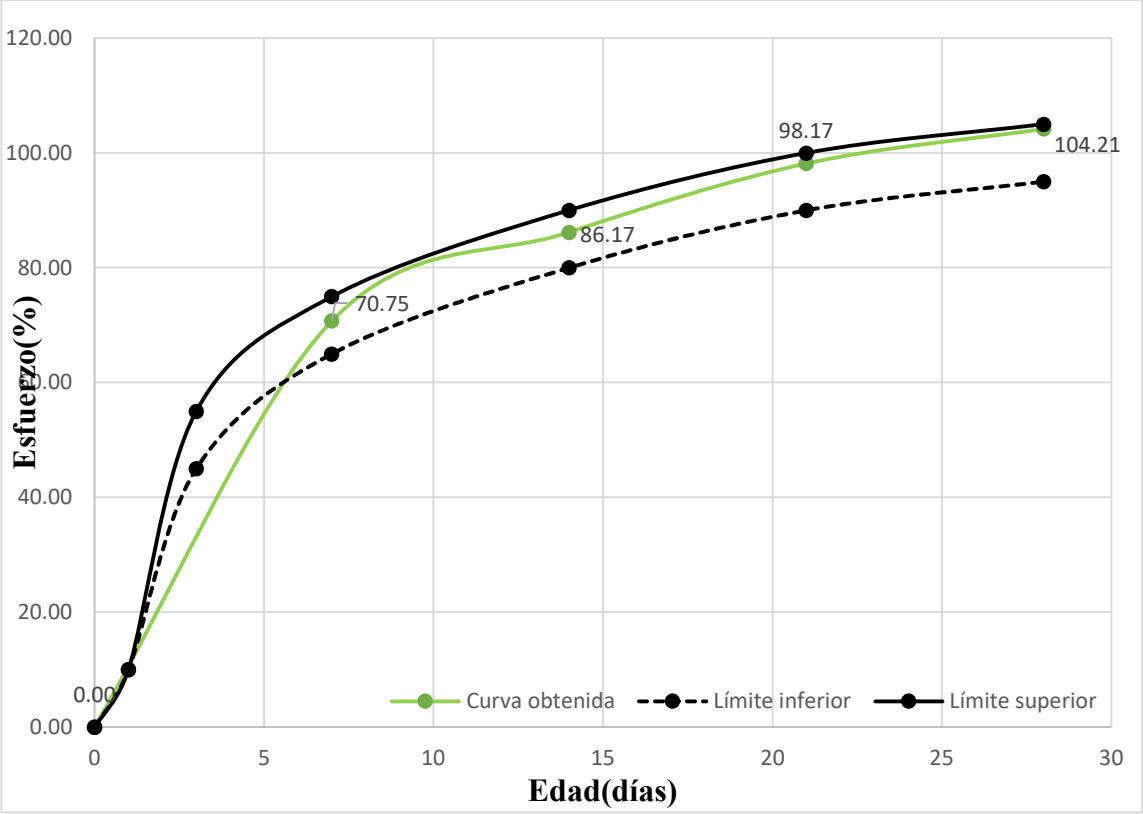
Realizado por: Mario Flores

Tabla 41. Ensayos de probetas f'c 24 Mpa "Miraflores"

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	16.98	70.75%	7	65%	75%
14	20.68	86.17%	14	80%	90%
21	23.56	98.17%	21	90%	100%
28	25.01	104.21%	28	95%	105%

Realizado por: Mario Flores

Figura 15: Gráfica esfuerzo vs Tiempo 24 Mpa "Miraflores"



Realizado por: Mario Flores

3.1.5. Determinación del módulo de elasticidad estático (MEE) del hormigón

Mina Pungal Grande:

Tabla 42. MEE de la mina Pungal Grande f'c 21 Mpa.

Código				PG21		Norma:	ASTM C-469
Fecha de elaboración:				16/11/2022		Fecha Ensayo	14/12/2022
Edad:				28 Días		e1	0.00005
Resistencia obtenida(Mpa):				21.96		S2(Mpa):	8.784
Probeta Nº	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (cm)	h (cm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10^-5		
1M	10.16	20.15	3.832	1.39222	43.40	2395.00	19249.4
2M	10.04	20.1	3.822	1.46026	43.00	2388.75	19273.0
3M	10.28	20.07	3.855	1.26458	44.00	2409.38	19280.6
4M	10.3	20.26	3.813	1.49651	42.90	2383.13	19228.2
5M	10.29	20.13	3.922	1.49304	42.80	2451.25	19288.3
6M	10.15	20.24	3.805	1.24458	44.10	2378.13	19282.4
7M	10	20	3.821	1.41686	43.21	2388.13	19280.6
8M	10.1	20.23	3.812	1.32175	43.72	2382.50	19270.9
9M	10	20.09	3.895	1.38963	43.40	2434.38	19256.2
Parámetros de control					Rango	73.1	60.0
					Desviación estándar	25.6	19.5
					Coeficiente de variación	1%	0.10%
					Promedio	2401.2	19267.7
					Mediana	2388.75	19273.01

Tabla 43. MEE de la mina Pungal Grande f'c 24 Mpa.

Código				MP24		Norma:	ASTM C-469
Fecha de elaboración:				16/11/2022		Fecha Ensayo	14/12/2022
Edad:				28 días		e1	0.00005
Resistencia obtenida(Mpa):				24.97		S2(Mpa):	9.99
Probeta Nº	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (cm)	h (cm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10^-5		
10M	10.13	20.09	3.772	1.61618	45.70	2357.50	20569.6
11M	10.26	20.2	3.822	1.70565	45.22	2388.75	20591.6
12M	10.25	20.21	3.895	1.66835	45.50	2434.38	20542.3
13M	10.22	20.12	3.883	1.65183	45.60	2426.88	20532.4
14M	10.28	20.05	3.872	1.60928	45.80	2420.00	20536.1
15M	10.08	20.17	3.861	1.56616	46.00	2413.13	20541.1
16M	10.05	20.06	3.821	1.44951	46.57	2388.13	20540.0
17M	10.26	20.26	3.762	1.65011	45.60	2351.25	20536.7
18M	10.08	20.06	3.754	1.34544	47.00	2346.25	20577.5
Parámetros de control					Rango	88.1	41.5
					Desviación estándar	33.9	17.1
					Coeficiente de variación	1%	0%
					Promedio	2391.8	20549.0
					Mediana	2388.75	20541.07

Mina Miraflores:

Tabla 44. MEE de la mina Miraflores f'c 21 Mpa.

Código				M21		Norma:	ASTM C 469
Fecha de elaboración:				16/11/2022		Fecha Ensayo	14/12/2022
Edad:				28 días		e1	0.00005
Resistencia obtenida(Mpa):				21.78		S2(Mpa):	8.712
Probeta Nº	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (cm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10^-5		
1M	10.10	19.90	3.74	1.50051	42.90	2338.75	19027.7
2M	10.20	20.00	3.72	1.30617	44.00	2326.25	18989.3
3M	10.00	20.00	3.76	1.00867	45.50	2346.88	19020.6
4M	10.20	20.00	3.88	1.09218	45.00	2426.88	19049.5
5M	10.20	20.30	3.68	0.91253	46.10	2301.25	18976.8
6M	10.00	20.30	3.69	1.21245	44.50	2307.50	18986.2
7M	10.30	20.10	3.72	1.03642	45.32	2325.63	19036.7
8M	10.20	20.30	3.76	1.54832	42.60	2351.25	19052.3
9M	10.30	19.90	3.75	1.54261	42.80	2346.25	18966.6
Parámetros de control					Rango	125.6	85.7
					Desviación estándar	36.6	32.5
					Coeficiente de variación	2%	0%
					Promedio	2341.2	19011.8
					Mediana	2338.75	19020.58

Tabla 45. MEE de la mina Miraflores f'c 24 Mpa.

Código				M24		Norma:	ASTM C-469
Fecha de elaboración:				16/11/2022		Fecha Ensayo	14/12/2022
Edad:				28 días		e1	0.00005
Resistencia obtenida(Mpa):				25.01		S2(Mpa):	10.004
Probeta Nº	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10^-5		
10M	10.20	20.30	3.712	1.31233	47.50	2320.00	20451.0
11M	10.10	20.10	3.722	1.61672	46.00	2326.25	20456.8
12M	10.20	20.10	3.755	1.50436	46.60	2346.88	20431.8
13M	10.20	20.30	3.683	1.40867	47.00	2301.88	20465.1
14M	10.00	19.90	3.792	1.65715	45.75	2370.00	20485.6
15M	10.00	20.00	3.812	1.71004	45.50	2382.50	20478.9
16M	10.30	20.30	3.721	1.81217	45.00	2325.63	20479.6
17M	10.30	20.20	3.803	1.43097	47.00	2376.88	20412.0
18M	10.30	20.30	3.754	1.42408	46.90	2346.25	20477.1
Parámetros de control					Rango	80.6	73.6
					Desviación estándar	28.0	24.8
					Coeficiente de variación	1%	0%
					Promedio	2344.0	20459.8
					Mediana	2346.25	20465.07

Cálculos típicos

Datos:

$S_2 = 8.784$ Mpa

$S_1 = 1.392217$ Mpa

$\varepsilon_2 = 0.000434$

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

$$\mathbf{E} = \frac{(\mathbf{8.784} - \mathbf{1.392217})}{(\mathbf{0.000434} - \mathbf{0.000050})}$$

$$\mathbf{E = 19249.43\ MPa}$$

En dónde:

$\boldsymbol{E}$ = Módulo de elasticidad secante, en MPa

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

$\boldsymbol{S_2}$= Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última (MPa).

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

Comentario: Para el chequeo se tomó como referencia la probeta 1 de la mina Pungal Grande (1M) de f'c= 21 MPa referenciada en la tabla 42.

3.1.5.1 Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón

La tabla 43 expresa la inconsistencia del módulo de elasticidad estático (MEE), entre nuestro valor experimental obtenido por medio de lo que especifica en ASTM C469 y las expresiones propuestas por ACI 318-14, dada en porcentaje.

Tabla 46. Comparación entre el MEE experimental y el teórico calculado

Asignación		MEE Experimental ASTM C469			MEE Teórico ACI 318-14			
Mina	Código	Resistencia (Mpa)	Densidad (Kg/m³)	MEE (Mpa)	(a) wc entre 1440 y 2560 Kg/m³	% de variación	(b) Concreto de peso normal	% de variación
Pungal Alto	PG21	21.96	2401.18	19267.7	23709.5	19%	22024.9	13%
	PG24	24.97	2391.81	20549.0	25134.3	18%	23485.9	13%
Miraflores	M21	21.78	2341.18	19011.8	22732.6	16%	21934.5	13%
	M24	25.01	2344.03	20459.8	24404.5	16%	23504.7	13%

Factores locales Ka y Kb:

La procedencia de los factores ka y kb se vinculan directamente con la resistencia del hormigón a una edad de 28 días, su módulo de elasticidad estático y finalmente el peso unitario del hormigón dado por el método gravimétrico. Los factores obtenidos pueden ser utilizados en hormigones de peso ligero y peso normal.

Se detalla su procedencia calculada del análisis de las siguientes fórmulas cuyos valores se pueden verificar en las tablas 44 y 45

a. Para densidad [wc] entre 1440 y 2560

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

$$Ec = wc^{1.5} * \mathbf{0.14} * \sqrt{f'c} \ \ (Kg/cm^2) \qquad \mathbf{(1)}$$

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

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

(b) Para concreto de peso normal

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

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

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

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

En donde:

Ec= Módulo de elasticidad estático del hormigón.

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

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

Nota: Los hormigones de peso normal son considerados aquellos que sus densidades varían entre 2300 y 2400 kg/m³ en la mayoría de casos.

Resultados:

Mina Pungal Grande

Tabla 47. Factores de zona para MEE del concreto

Asignación		Factores obtenidos			
		Para Ec en Mpa		Para Ec en Kg/cm²	
Mina	Código	Ka	Kb	Ka	Kb
Pungal Alto	PG21	0.035	4111.6	0.112	13129.7
	PG24	0.035	4112.3	0.112	13131.8
Parámetros de control	Rango	0.000	0.6	0.001	2.1
	Desv. Estandar	0.000	0.46	0.000	1.5
	Coef Variación	0.4%	0.01%	0.43%	0.01%
	Mediana	0.035	4112.0	0.112	13130.7
	Promedio	0.035	4112.0	0.112	13130.7

Realizado por: Mario Flores

Mina Miraflores:

Tabla 48. Factores de zona para MEE del concreto

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para Ec en Mpa		Para Ec en Kg/cm²	
		Ka	Kb	Ka	Kb
Miraflores	M21	0.0360	4073.7	0.115	13008.7
	M24	0.0360	4091.1	0.115	13064.2
Parámetros de control	Rango	0.000	17.4	0.000	55.6
	Desv. Estandar	0.000	12.30	0.000	39.3
	Coef Variación	0.2%	0.30%	0.17%	0.30%
	Mediana	0.036	4082.4	0.115	13036
	Promedio	0.036	4082.4	0.115	13036

Realizado por: Mario Flore

Comparación final:

Valores propuestos:

Tabla 49. Factores ka y kb calculados

Procedencia	(a) $Ec = wc^{1.5} * ka * \sqrt{f'c}$		(b) $Ec = kb * \sqrt{f'c}$	
	Factor ka		Factor kb	
	Mpa	Kg/cm²	Mpa	Kg/cm²
Pungal Alto	0.0350	0.1119	4400	13100
Miraflores	0.0360	0.1150	4100	13000

Realizado por: Mario Flores

Tabla 50. Comparación final entre módulos de elasticidad

Mina	Resistencia (Kg/cm³)	Densidad (Kg/m³)	(a) Ec=⟦wc⟧^(1.5)∗ka∗√(f^′ c)		(b) Ec=kb∗√(f^′ c)		Porcentajes de variación entre los módulos de elasticidad experimentales y teórico	
			MEE experimental	MEE teórico calculado	MEE experimental	MEE teórico calculado	(a) %	(b) %
Pungal Alto	210	2400	190658.7	238536.3	189837.0	218819.79	20%	13%
	240	2400	203822.7	255006.1	202944.3	233928.19	20%	13%
Miraflores	210	2400	195940.6	238536.3	188387.9	218819.79	18%	14%
	240	2400	209469.3	255006.1	201395.1	233928.19	18%	14%

Realizado por: Mario Flores

Verificación de la Hipótesis:

Como se puede evidenciar en los resultados obtenidos en este trabajo experimental, se acredita la hipótesis propuesta, las propiedades de los materiales de las minas Pungal Alto y Miraflores causan variación en el módulo de elasticidad estático del hormigón estructural.

Basándonos en los valores obtenidos mediante lo propuesto ASTM C469 aplicado en este trabajo experimental se determinaron valores menores al rango de variación máxima respecto a la ecuación utilizada propuesta por ACI 318

Analizando los resultados obtenidos mediante la fórmula que referencia la densidad como parámetro (1) , 16% como valor mínimo y 16% como valor máximo, mientras que la fórmula (2) que referencia la resistencia a la compresión como parámetro se obtuvo una variación de un 13%

Se comprueba que las minas Pungal Alto y Miraflores poseen materiales cuyas características influyen en el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón estructural.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones específicas

- Se obtuvieron las principales características físico mecánicas de los materiales de las minas Pungal Alto y Miraflores propuestos en este trabajo experimental para comprobar si son idóneas para el diseño de dosificación mediante los parámetros que indica NTE INEN 872, concluyendo que son materiales calificados para formar parte de un hormigón estructural.

- Se diseñó la dosificación para hormigones de 210 Kg/cm2 y 240 Kg/cm2 de resistencia a la compresión para una edad de 28 días mediante la metodología de la densidad máxima.

- Se recomienda la utilización de valores más específicos como constantes en el cálculo del módulo de elasticidad estático en el cantón Guano, partiendo de la influencia que tiene la interacción entre los materiales como la resistencia a compresión y el peso específico, obteniendo de esta forma valores de 0.1119 para materiales de la mina Pungal Alto y 0.1150 para materiales de la mina Miraflores, propuestos para reemplazar en la ecuación $Ec = wc^{1.5} * \mathbf{0.14} * \sqrt{f'c}\ (Kg/cm^2)$ De igual manera reemplazar los valores de 13100 para materiales de la mina Pungal Alto y 13000 para materiales de la mina Miraflores en la ecuación $Ec = \mathbf{15100} * \sqrt{f'c}\ (Kg/cm^2)$

- Continuar con el estudio del MEE para desarrollar una zonificación específica de los materiales.

- Se recomienda la utilización de valores más específicos como constantes en el cálculo del módulo de elasticidad estático en el cantón Guano, partiendo de la influencia que tiene la interacción entre los materiales como la resistencia a compresión y el peso específico, obteniendo de esta forma valores de 0.0350 para materiales de la mina Pungal Alto y 0.0360 para materiales de la mina Miraflores, propuestos para reemplazar en la ecuación $Ec = wc^{1.5} * \mathbf{0.14} * \sqrt{f'c}\ \ (Kg/cm^2)$ De igual manera reemplazar los valores de 4400 para materiales de la mina Pungal Alto y 4100 para materiales de la mina Miraflores en la ecuación $Ec = \mathbf{15100} * \sqrt{f'c}\ (Kg/cm^2)$

- Se realizó una comparación final en el cálculo del módulo de elasticidad con los factores propuestos en la tabla 50 y se determina una variación de 18% a 20% en el cálculo del módulo elástico para hormigones ligeros y una variación del 13% a 14% en el cálculo del módulo elástico para hormigones de peso normal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adan M. Aspectos del hormigón Barcelona: Editores técnicos asociados; 1975.

2. Ángel C. MRTR. El Hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia. Tecnología y Desarrollo. 2012 Junio; 10(28691).

3. María León FR. Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. In. Bogotá; 2010. p. 215-240.

4. Alluca H. Determinación del módulo de elasticidad del agregado (Ea), del sector Cerro Negro, cantón Riobamba Riobamba; 2018.

5. Guaño E. Módulo de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresion de 21 MPa, elaborado con Material petreo del sector la providencia y cemento chimborazo Riobamba; 2015.

6. Cabrera H. Módulo de elasticidad de hormigones de peso normal empleados en ecuador fc: 21, 24, 28, 35 MPa Quito; 2014.

7. D. SMyP. Análisis de sesibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto. Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo. 2010 Jul/Dic; Vol 2.

8. Rochel R. Hormigón Reforzado Medellin: EAFIT; 2007.

9. R. U. El control de calidad de los agragados para concreto 3a parte. Construcción y Tecnología. 1991; 40(p34).

10. A. N. Aggregates bond and modulos of elastic of concrete. ACI Mateails Journal. 1997; 94(p72).

11. Ezeldin A.S. APC. Effect of coarse aggregate on the behavior of normal and High-strength concretes. Cenet and concretes aggregates. 1991;(pp121-124).

12. Abanto Castillo TF. Tecnología del concreto. 3rd ed.: San Marcos ; 2017.

13. Arévalo del Águila STVO. INFLUENCIA DEL MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO ICo, USADO EN LA CONSTRUCCIÓN EN LA ZONA URBANA DE TARAPOTO, PROVINCIA Y REGIÓN SAN MARTÍN – 2020. Tarapoto San Martín; 2020.

14. Holcim Fuerte. Cemento hidráulico Tipo GU para construcción en general Guayaquil; 2015.

15. Rodrigez J. Agua para concretos y morteros. Tecnología de materiales. 2015 Septiembre;(Semana 9).

16. E. R. Naturaleza y materiales del concreto. In II Congreso Nacional de Estructuras y Construcción ; 2000; Lima.

17. Carrasco S. Metodología de la investigación Científica Lima: San Marcos; 2005.

18. Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos, NTE INEN 1 855-2, 2002.

19. Santiago Medina. Ensayo de Materiales II. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014

20. Georges Dreux. Guía práctica del hormigón. Barcelona: Técnicos Asociados S.A.,

21. Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos. Determinación de material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μm (No 200), mediante lavado,» de NTE INEN 697:2010, Quito, 2010, pp. 1-8.

22. Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,» de *INEN NTE 156:2009*, Quito, 2009, pp. 1-9.

Anexos:

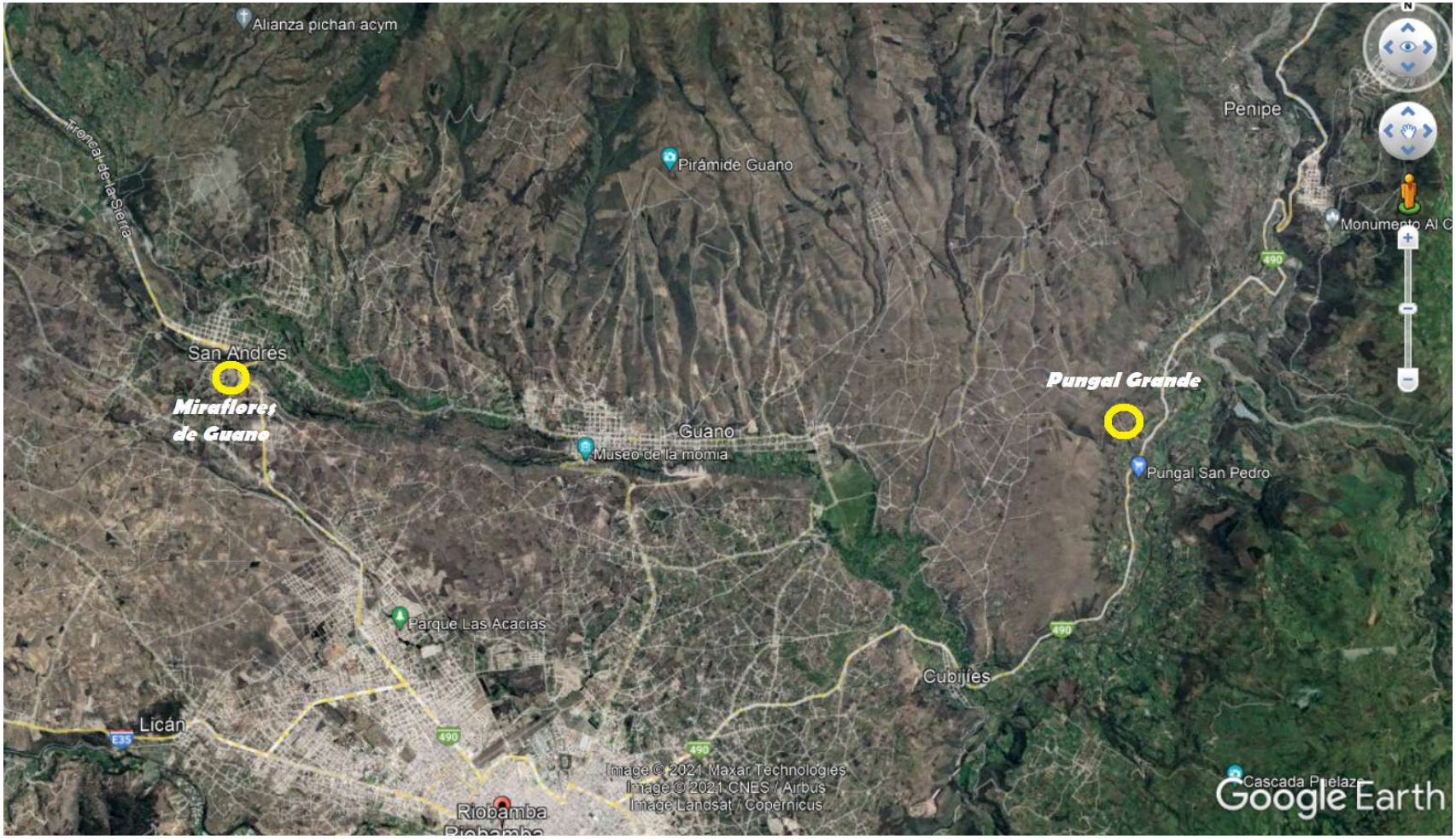
Anexo 1. Requisitos de graduación para agregado grueso

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

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

Fuente: NTE INEN 872:2010, Tabla 2. Requisitos de gradación para áridos grueso

Anexo 2. Ubicación de las minas



Fuente: *Google Earth*

Anexo 3. Resultados de ensayos

a) Determinación del material más fino que pasa el tamiz #200 mediante lavado.

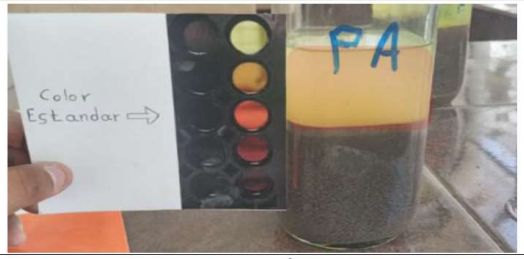
Origen	Mina Pungal Grande		
Peso de la muestra(gr)	500		
Ensayado por	Mario Flores	Fecha Muestreo:	10/10/2022
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	11/10/2022

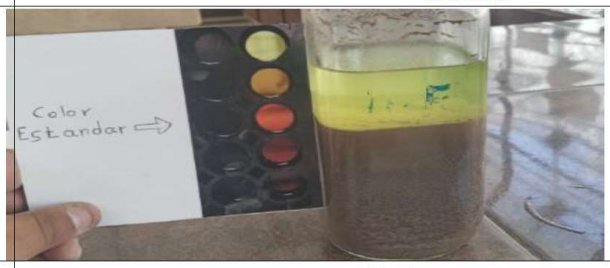
Descripción	**Ensayo**		**Unidad**
	I	**II**	
Masa seca original de la muestra	500	500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	485.20	488.65	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	2.96	2.27	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	2.62		%

Origen	Mina Miraflores		
Peso de la muestra(gr)	500		
Ensayado por	Mario Flores	Fecha Muestreo:	10/10/2022
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	11/10/2022

Descripción	**Ensayo**		**Unidad**
	I	**II**	
Masa seca original de la muestra	500	500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	489.27	488.21	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	2.15	2.36	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	2.26		%

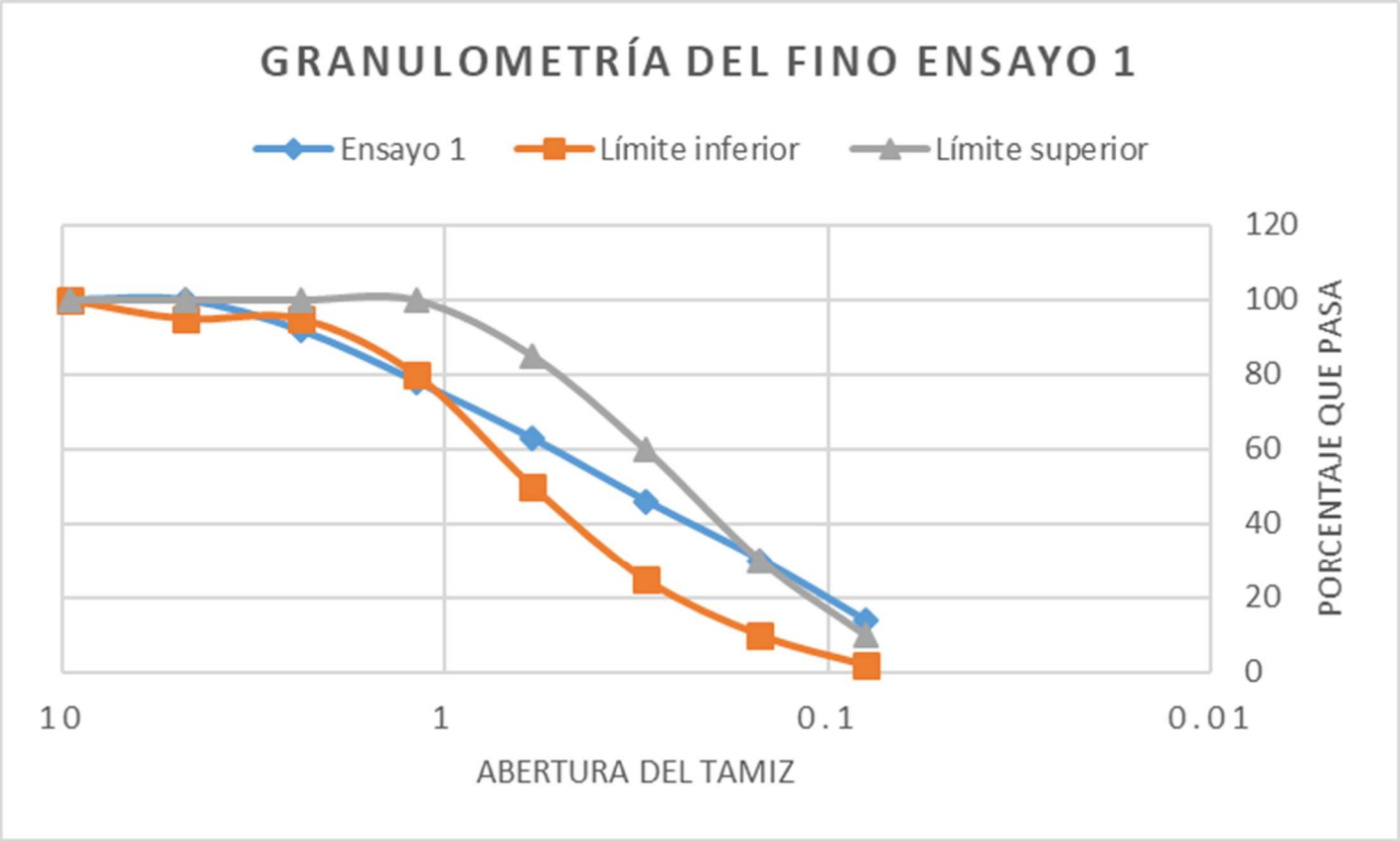
b) **determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino.**

Origen	Mina Pungal Grande		
No. Comparador		**Escala Gardner**	No 5
Ensayado por:	Mario Flores	**Fecha de Muestreo**	01/09/2022
Norma	NTE INEN 855-2010	**Fecha de ensayo**	01/09/2022
Comparador	Muestra		
			
Color	Ámbar claro, traslúcido		
Contenido orgánico	Bajo		
Nota: Se observa un color claro con respecto a la tarjeta comparadora se concluye que tienen bajo porcentaje de material orgánico, arcillas, etc. Entonces es idónea para la mezcla de hormigón.			

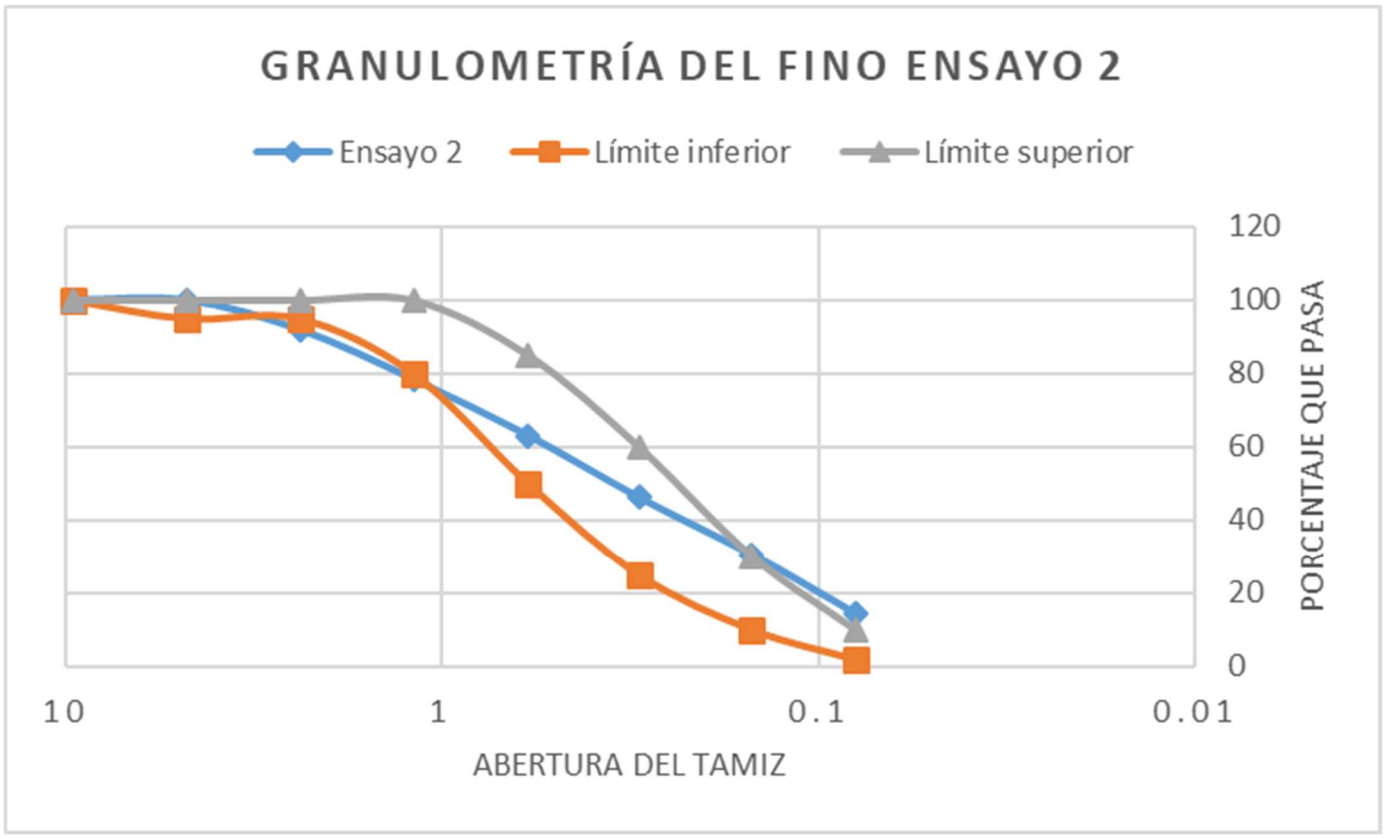
Origen	Mina Miraflores		
No. Comparador		**Escala Gardner**	No 5
Ensayado por:	Mario Flores	**Fecha de Muestreo**	01/09/2022
Norma	NTE INEN 855-2010	**Fecha de ensayo**	01/09/2022
Comparador	Muestra		
			
Color	Limón transparente		
Contenido orgánico	Casi inexistente		
Nota: Se observa un color claro con respecto a la tarjeta comparadora se concluye que tienen bajo porcentaje de material orgánico, arcillas, etc. Entonces es idónea para la mezcla de hormigón.			

c) Análisis granulométrico en el árido fino.

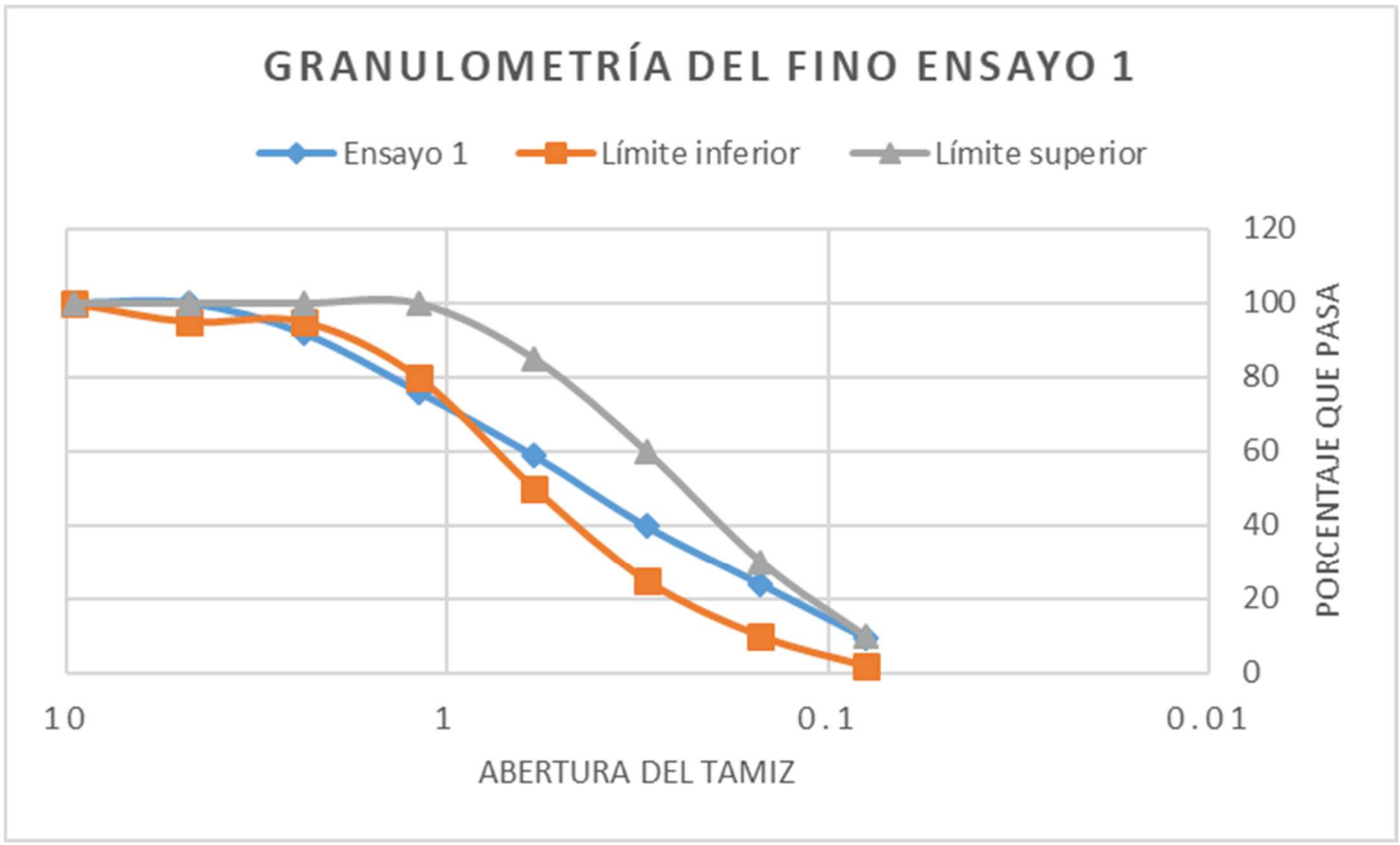
Origen		Mina: Miraflores			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		1000 gr			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		03/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		04/10/2022	
TAMIZ	**Abertura INEN 154 (mm)**	**Retenido parcial (gr)**	**Retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido (%)**	**Porcentaje retenido acumulado (gr)**	**Porcentaje que pasa (gr)**	**Límites ASTM**	
							Límite inferior	**Límite superior**
3/8 "	9.50	0	0	0	0	100	100%	100%
No. 4	4.76	0	0	0	0	100	95%	100%
No. 8	2.38	81.46	81.46	8.15%	8.15%	91.85%	95%	100%
No. 16	1.19	137.10	218.56	13.71%	21.86%	78.14%	80%	100%
No. 30	0.59	153.42	371.98	15.34%	37.20%	62.80%	50%	85%
No. 50	0.30	166.93	538.91	16.69%	53.90%	46.10%	25%	60%
No. 100	0.15	159.35	698.26	15.94%	69.83%	30.17%	10%	30%
No. 200	0.08	164.66	862.92	16.47%	86.30%	13.70%	2%	10%
Bandeja		137	999.92	13.70%	100%	0	-	
Módulo de finura							2.77	



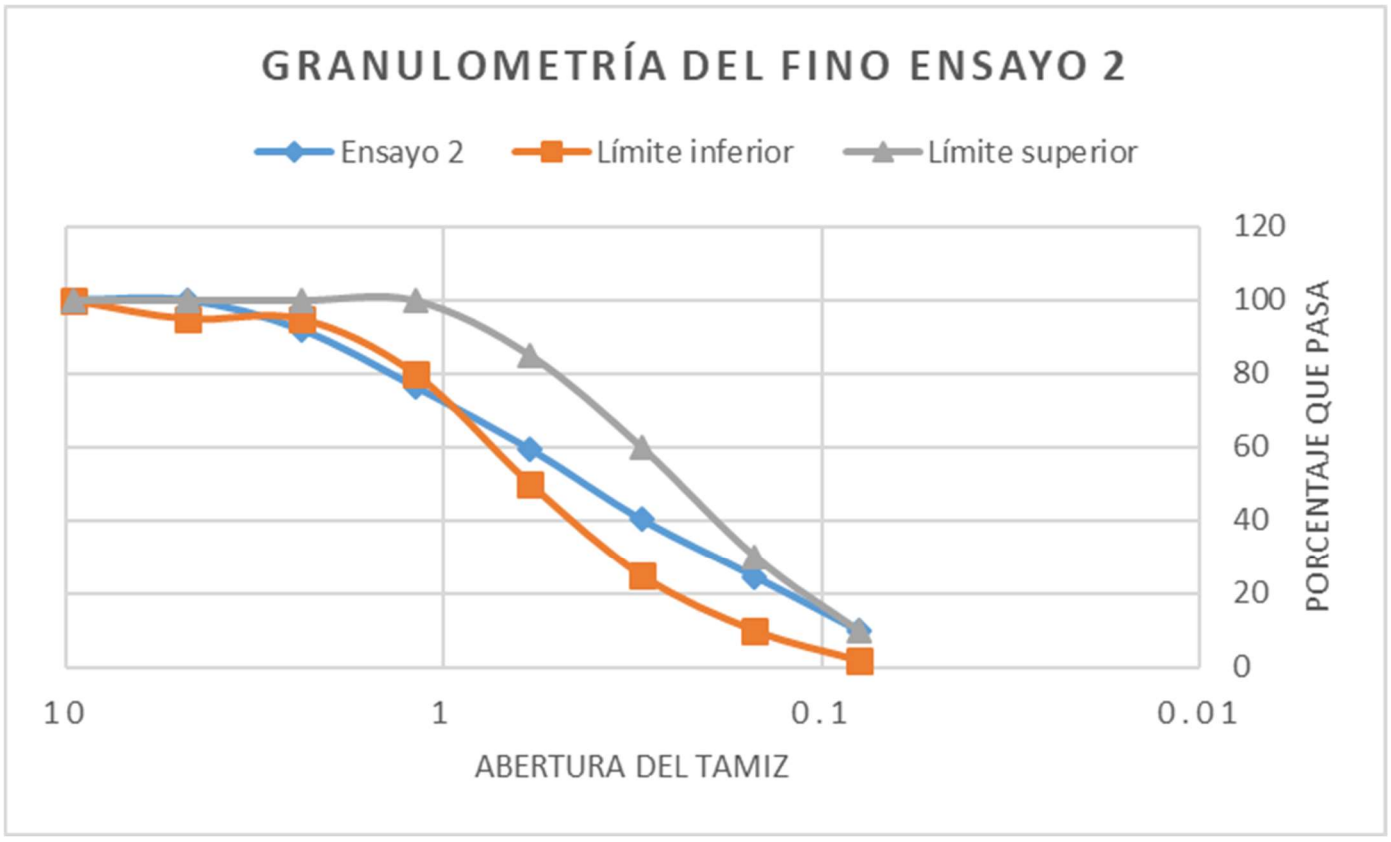
Origen		Mina: Miraflores			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		1000 gr			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		03/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		04/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	0	0	0	0	100	100%	100%
No. 4	4.76	0	0	0	0	100	95%	100%
No. 8	2.38	80.43	80.43	8.05%	8.05%	91.95%	95%	100%
No. 16	1.19	135.39	215.82	13.54%	21.59%	78.41%	80%	100%
No. 30	0.59	153.10	368.92	15.32%	36.91%	63.09%	50%	85%
No. 50	0.30	168.79	537.71	16.89%	53.80%	46.20%	25%	60%
No. 100	0.15	157.42	695.13	15.75%	69.55%	30.45%	10%	30%
No. 200	0.08	160.35	855.48	16.04%	85.59%	14.41%	2%	10%
Bandeja		144.12	999.6	14.41	100%	0	-	
Módulo de finura							2.76	



Origen		Mina: Pungal Alto			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		1000 gr			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		03/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		04/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	0	0	0	0	100	100%	100%
No. 4	4.76	0	0	0	0	100	95%	100%
No. 8	2.38	81.69	81.69	8.17%	8.17%	91.83%	95%	100%
No. 16	1.19	157.42	239.11	15.75%	23.92%	76.08%	80%	100%
No. 30	0.59	172.71	411.82	17.28%	41.20%	58.8%	50%	85%
No. 50	0.30	190.31	602.13	19.04%	60.24%	39.76%	25%	60%
No. 100	0.15	157.16	759.29	15.72%	75.96%	24.04%	10%	30%
No. 200	0.08	143.87	903.16	14.39%	90.35%	9.65%	2%	10%
Bandeja		96.55	999.71	9.66%	100%	0	-	
Módulo de finura							2.99	

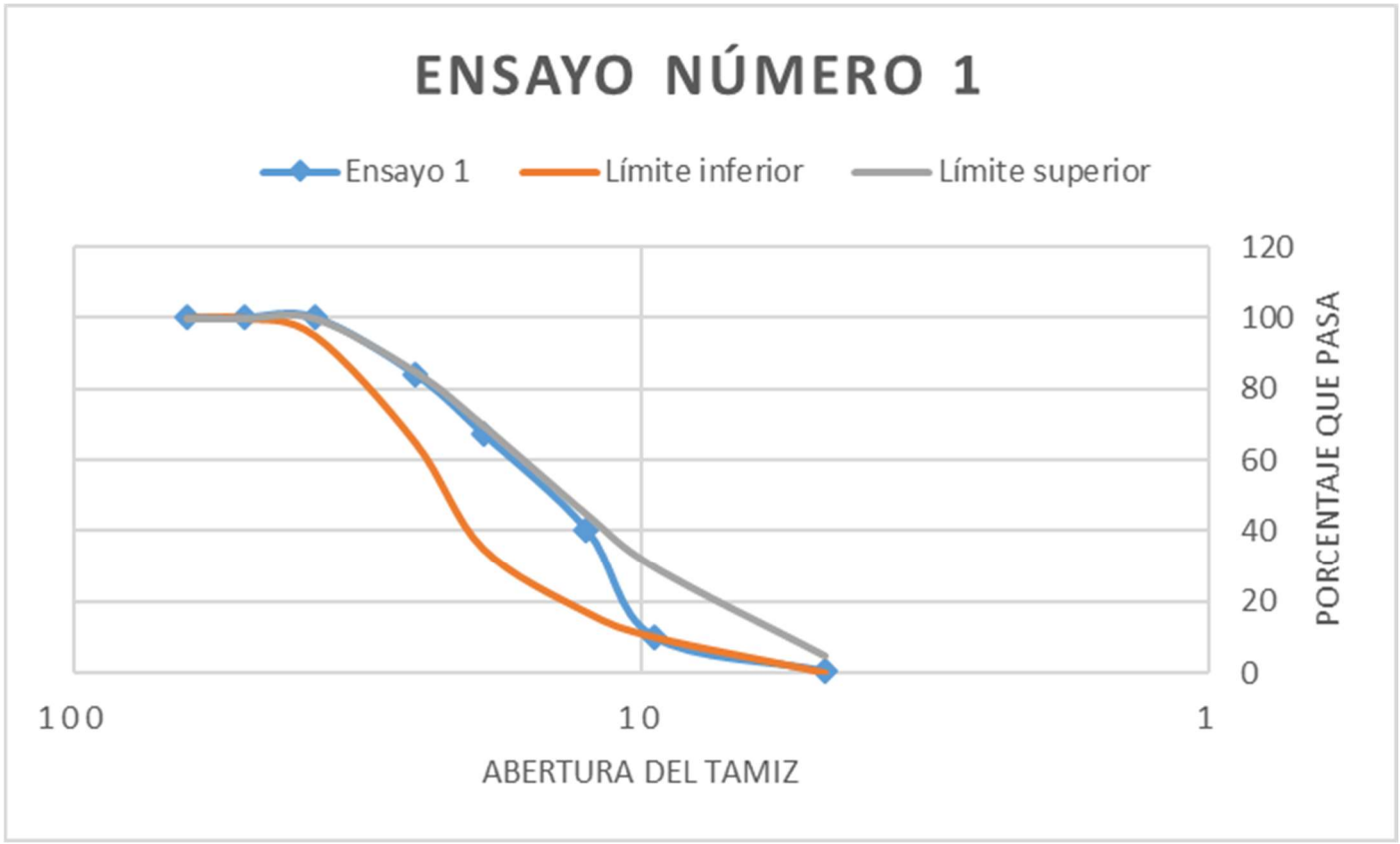


Origen		Mina: Pungal Alto			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		1000 gr			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		03/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		04/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	0	0	0	0	100	100%	100%
No. 4	4.76	0	0	0	0	100	95%	100%
No. 8	2.38	80.29	80.29	8.03%	8.03	91.97	95%	100%
No. 16	1.19	155.12	235.41	15.52%	23.55	76.45	80%	100%
No. 30	0.59	170.61	406.02	17.06%	40.61	59.39	50%	85%
No. 50	0.30	191.81	597.83	19.19%	59.80	40.2	25%	60%
No. 100	0.15	156.82	754.65	15.69%	75.49	24.51	10%	30%
No. 200	0.08	145.69	900.34	14.57%	90.06	9.94	2%	10%
Bandeja		99.44	999.78	9.95%	100	0	-	
Módulo de finura							2.97	

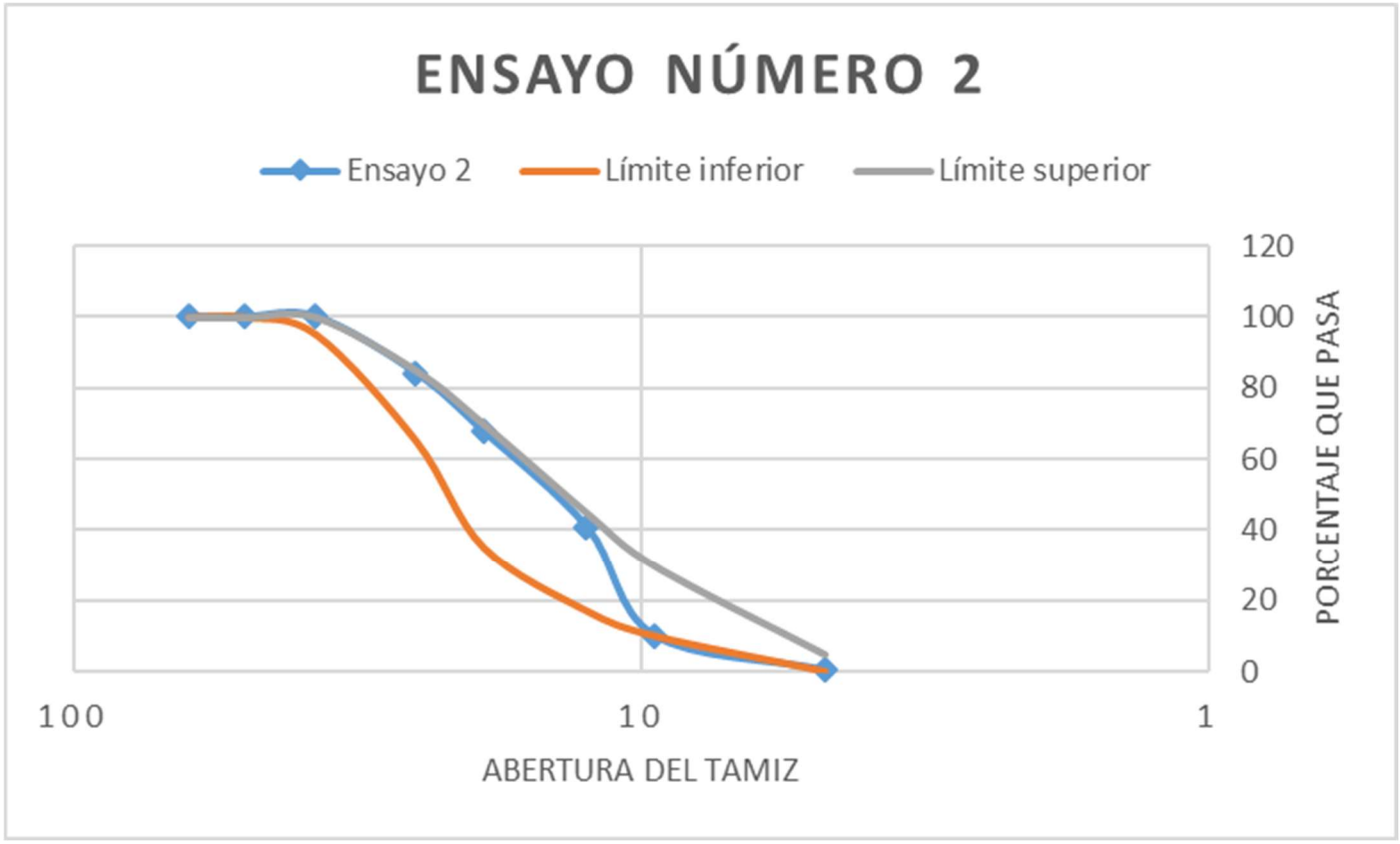


d) Análisis granulométrico en el árido grueso.

Origen		Mina: Pungal Alto			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		04/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		05/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0	0	100		
2"	50	0	0	0	0	100		
1 1/2"	37,50	0	0	0	0	100	95	100
1 "	25,00	1600	1600	16.01	16.01	83.99	-	-
3/4 "	19,00	1662	3262	16.63	32.64	67.36	35	70
1/2 "	12,50	2703	5965	27.04	59.68	40.32	-	-
3/8 "	9,50	3037	9002	30.39	90.07	9.93	10	30
No. 4	4,75	955	9957	9.55	99.62	0.38	0	5
Fuente		38	9995	0.38	100	0		
Tamaño Nominal máximo:						1 ½"		

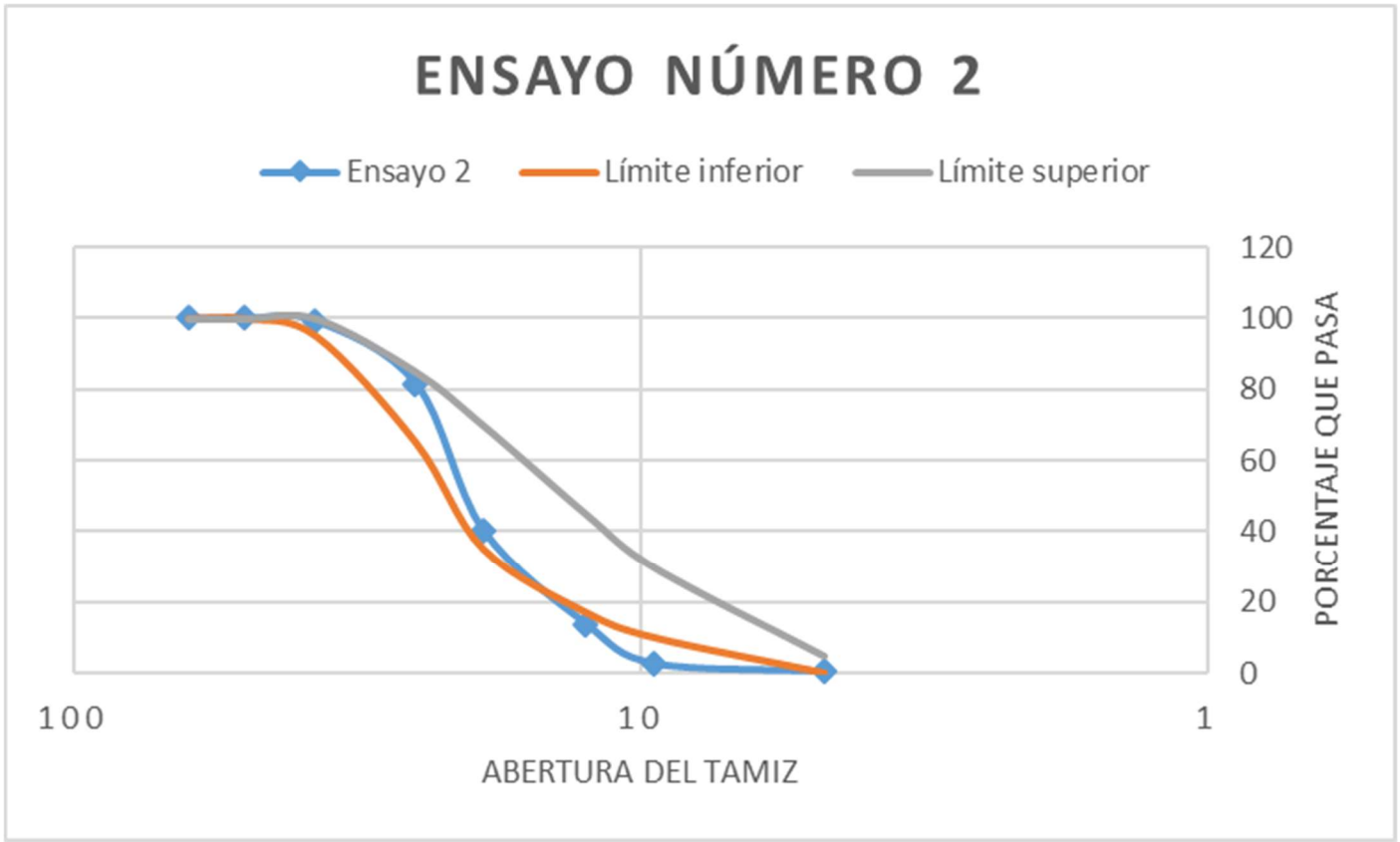


Origen		Mina: Pungal Alto			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		04/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		05/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0	0	100		
2"	50	0	0	0	0	100		
1 1/2"	37,50	0	0	0	0	100	95	100
1 "	25,00	1589	1589	15.90	15.90	84.1	-	-
3/4 "	19,00	1640	3229	16.41	32.31	67.69	35	70
1/2 "	12,50	2689	5918	26.90	59.21	40.79	-	-
3/8 "	9,50	3068	8986	30.69	89.90	10.1	10	30
No. 4	4,75	965	9951	9.65	99.55	0.45	0	5
Fuente		45	9996	0.45	100	0		
Tamaño Nominal máximo:						1 ½"		



Origen		Mina: Miraflores			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		04/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		05/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0	0	100		
2"	50	0	0	0	0	100		
1 1/2"	37,50	73	73	0.73	0.73	100	95	100
1 "	25,00	1777	1850	17.78	18.51		-	-
3/4 "	19,00	4143	5993	41.44	59.95		35	70
1/2 "	12,50	2660	8653	26.61	86.56		-	-
3/8 "	9,50	1095	9748	10.95	97.51		10	30
No. 4	4,75	212	9960	2.12	99.63		0	5
Fuente		37	9997	0.37	100			
Tamaño Nominal máximo:						1 ½"		

Origen		Mina: Miraflores			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000			Pérdida de muestra			
Ensayado por		Mario Flores			Fecha Muestreo:		04/10/2022	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		05/10/2022	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0	0	0	0	100		
2"	50	0	0	0	0	100		
1 1/2"	37,50	81	81	0.81	0.81	99.19	95	100
1 "	25,00	1759	1840	17.60	18.41	81.59	-	-
3/4 "	19,00	4136	5976	41.38	59.79	40.21	35	70
1/2 "	12,50	2652	8628	26.54	86.33	13.67	-	-
3/8 "	9,50	1102	9730	11.03	97.36	2.64	10	30
No. 4	4,75	223	9953	2.23	99.59	0.41	0	5
Fuente		41	9994	0.41	100	0		
Tamaño Nominal máximo:						1 ½"		



a) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

Origen	Mina Pungal Alto	Ensayo No.	I,II	
Ensayado por	Mario Flores	Fecha	10 de Octubre de 2022	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	**Designación**	**Unidad**	**Ensayo I**	**Ensayo II**
m1	Masa del picnómetro	gr	162.70	162.59
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	662.70	662.59
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	966.73	964.32
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	304.03	301.73
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	661.67	660.89
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	498.97	498.30
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.999	0.997
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	194.94	196.57
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	500	500
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	195.135	197.16
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.562	2.536
	Promedio de la densidad real	gr/cm3	**2.549**	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	**Dato**	**Unidad**	**Ensayo I**	**Ensayo II**
m8	Masa del Recipiente	gr	23.11	24.04
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	132.61	137.50
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	109.5	113.46
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	130.73	135.24
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	107.42	111.20
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	1.94	2.03
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	**1.99**	

Origen	Mina Miraflores	Ensayo No.	I,II	
Ensayado por	Mario Flores	Fecha	10 de Octubre de 2022	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	**Designación**	**Unidad**	**Ensayo I**	**Ensayo II**
m1	Masa del picnómetro	gr	162.70	162.65
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	665.23	664.89
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	960	961.65
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	294.77	296.76
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	661.53	661.06
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	498.83	498.41
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.998	0.997
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	204.06	201.65
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	500.03	502.24
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	204.47	202.26
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.45	2.48
	Promedio de la densidad real	gr/cm3	**2.47**	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	**Dato**	**Unidad**	**Ensayo I**	**Ensayo II**
m8	Masa del Recipiente	gr	30.61	30.88
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	132.28	149.49
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	101.67	118.61
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	129.96	146.82
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	99.35	115.94
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	2.34	2.30
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	**2.32**	

f) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO					
Origen	Mina Miraflores	Ensayo No.	I,II		
Ensayado por	Mario Flores	Fecha	07/10/2022		
Norma	NTE INEN 857:2010				
Cálculo de la densidad real					
Datos	**Designación**		**Unidad**	**Valor**	**Valor**
m1	Masa de la canastilla en el aire		gr	1311	1310
m2	Masa de la canastilla en el agua		gr	1137	1137
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire		gr	5325	5330
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua		gr	3545	3550
DA	Densidad real del agua		gr/cm3	0.9989	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire		gr	4014	4020
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua		gr/cm3	2448	2438
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra		gr	1566.31	1582.31
DR=m5/VR	Densidad Real		gr	2.56	2.54
Cálculo de la capacidad de absorción					
Datos	**Designación**	**Unidad**	**Valor**		**Valor**
m7	Masa del Recipiente	gr	140.74		142.38
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	940.74		942.38
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	800		800
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	920.08		918.66
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	779.34		776.28
CA=((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	2.65		3.06
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.86		

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO					
Origen	Mina Pungal Alto	Ensayo No.	I,II		
Ensayado por	Mario Flores	Fecha	07/10/2022		
Norma	NTE INEN 857:2010				
Cálculo de la densidad real					
Datos	**Designación**		**Unidad**	**Valor**	**Valor**
m1	Masa de la canastilla en el aire		gr	1354	1354
m2	Masa de la canastilla en el agua		gr	1162	1160
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire		gr	6800	6832
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua		gr	4480	4452
DA	Densidad real del agua		gr/cm3	0.9989	0.9989
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire		gr	5446	5478
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua		gr/cm3	3318	3292
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra		gr	2128.43	2099.42
DR=m5/VR	Densidad Real		gr	2.56	2.6
Cálculo de la capacidad de absorción					
Datos	**Designación**	**Unidad**	**Valor**		**Valor**
m7	Masa del Recipiente	gr	149.50		147.35
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	949.50		948.63
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	800		801.28
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	930.92		929.52
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	781.42		782.17
CA=((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	2.38		2.44
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.41		

f) **Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.**

Origen	Mina Pungal Grande		Ensayo	I, II
Masa del recipiente (gr)	9960		Fecha muestreo	19/10/2022
Volumen del recipiente (cm3)	20270			
Ensayado por:	Mario Flores		Fecha Ensayo	21/10/2022
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Fino	42570	32610	1.61	1.60
	42150	32190	1.59	
Grueso	39480	29520	1.46	1.45
	39030	29070	1.43	

Origen	Mina Pungal Grande		Ensayo	I, II
Masa del recipiente (gr)	9960		Fecha muestreo	19/10/2022
Volumen del recipiente (cm3)	20270 cm3			
Ensayado por:	Mario Flores		Fecha Ensayo	21/10/2022
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Fino	45635	35675	1.76	1.77
	45995	36035	1.78	
Grueso	41420	31460	1.55	1.55
	41380	31420	1.55	

Origen	Mina Miraflores		Ensayo	I, II
Masa del recipiente (gr)	9960		Fecha muestreo	19/10/2022
Volumen del recipiente (cm3)	20270			
Ensayado por:	Mario Flores		Fecha Ensayo	21/10/2022
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Fino	43925	33965	1.68	1.66
	43355	33395	1.65	
Grueso	37620	27660	1.36	1.37
	37655	27695	1.37	

Origen	Mina Miraflores		Ensayo	I, II
Masa del recipiente (gr)	9960		Fecha muestreo	19/10/2022
Volumen del recipiente (cm3)	20270 cm3			
Ensayado por:	Mario Flores		Fecha Ensayo	21/10/2022
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Fino	46945	36985	1.82	1.82
	46745	36785	1.81	
Grueso	41420	31460	1.55	1.55
	41380	31420	1.55	

Densidad aparente de la mezcla mina Pungal grande

% de Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(Kg)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm³)	DA promedio (gr/cm³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41520	31560	1.56	1.55
					41420	31460	1.55	
90	10	40000	4444.44	4444.44	44570	34610	1.71	1.71
					44585	34625	1.71	
80	20	40000	10000	5555.56	47070	37110	1.83	1.85
					47770	37810	1.87	
70	30	40000	17142.86	7142.86	49555	39595	1.95	1.97
					50140	40180	1.98	
60	40	40000	26666.67	9523.81	51480	41520	2.05	2.04
					51315	41355	2.04	
50	50	40000	40000	13333.33	51140	41180	2.03	2.02
					50850	40890	2.02	
40	60	40000	60000	20000	50371	40411	1.99	1.99
					50087	40127	1.98	

PMA=46	PMR=54	POA=42	POR=58	DCM=2.05	DCO=2.04

Densidad aparente de la mezcla mina Miraflores

% de Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(Kg)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm³)	DA promedio (gr/cm³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41420	31460	1.55	1.55
					41380	31420	1.55	
90	10	40000	4444.44	4444.44	42490	32530	1.60	1.60
					421950	32235	1.59	
80	20	40000	10000	5555.56	45430	35470	1.75	1.75
					45450	35490	1.75	
70	30	40000	17142.86	7142.86	494850	39525	1.95	1.93
					48750	38790	1.91	
60	40	40000	26666.67	9523.81	51600	41640	2.05	2.05
					51255	41295	2.04	
50	50	40000	40000	13333.33	51640	41680	2.06	2.06
					51875	41915	2.07	
40	60	40000	60000	20000	50864	40904	2.02	2.02
					51099	41139	2.03	

PMA=50	PMR=50	POA=46	POR=54	DCM=2.09	DCO=2.08

Realizado por: Mario Flores

g) Diseño de la mezcla

Características del material de la mina Pungal grande

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento	2.975	(gr/cm³)
Densidad real del agregado fino	2.549	(gr/cm³)
Densidad real del agregado grueso	2.58	(gr/cm³)
Densidad aparente suelta del agregado fino	1.6	(gr/cm³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso	1.45	(gr/cm³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada)	1.77	(gr/cm³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada)	1.55	(gr/cm³)
Porcentaje óptimo de agregado fino	42	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso	58	%
Densidad óptima de la mezcla	2.04	(gr/cm³)
Módulo de finura de la arena	2.98	%
Contenido de humedad del agregado fino	1.78	%
Contenido de humedad del agregado grueso	1.96	%
Capacidad de absorción del agregado fino	1.985	%
Capacidad de absorción del agregado grueso	2.41	%

Características del material de la mina Miraflores

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento	2.975	(gr/cm³)
Densidad real del agregado fino	2.47	(gr/cm³)
Densidad real del agregado grueso	2.55	(gr/cm³)
Densidad aparente suelta del agregado fino	1.66	(gr/cm³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso	1.365	(gr/cm³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada)	1.81	(gr/cm³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada)	1.55	(gr/cm³)
Porcentaje óptimo de agregado fino	46	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso	54	%
Densidad óptima de la mezcla	2.08	(gr/cm³)
Módulo de finura de la arena	2.765	%
Contenido de humedad del agregado fino	1.82	%
Contenido de humedad del agregado grueso	2.05	%
Capacidad de absorción del agregado fino	2.32	%
Capacidad de absorción del agregado grueso	2.855	%

Realizado por: Mario Flores

Dosificaciones de Hormigones finales

Pungal Grande

Hormigón de 210 Kg/cm² de Resistencia:

Resultados para f'c 210 Kg/cm²					
Material	**Cantidad en Kg @m3**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg por saco de 50Kg**	**Dosificación por volumen en obra**	
W	191.47	0.58	29	29	litros
C	330.72	1	50	1	Saco
AF	696.25	2.10	105	2.43	Parihuela
AG	1131.41	3.42	171	4.36	Parihuela

Realizado por: Mario Flores

Hormigón de 240 Kg/cm² de Resistencia:

Resultados para f'c 240 Kg/cm²					
Material	**Cantidad en Kg @m3**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg por saco de 50Kg**	**Dosificación por volumen en obra**	
W	189.63	0.56	28	28	litros
C	338.63	1	50	1	Saco
AF	670.06	1.98	99	2.29	Parihuela
AG	1088.85	3.22	161	4.11	Parihuela

Realizado por: Mario Flores

Miraflores:

Hormigón de 210 Kg/cm² de Resistencia:

Tabla 34: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=210 kg/cm²

Resultados para f'c 210 Kg/cm²					
Material	**Cantidad en Kg @m3**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg por saco de 50Kg**	**Dosificación por volumen en obra**	
W	176.81	0.58	29	29	litros
C	295.75	1	50	1	Saco
AF	851.88	2.88	144	3.21	Parihuela
AG	1004.58	3.4	170	4.59	Parihuela

Hormigón de 240 Kg/cm² de Resistencia:

Tabla 35: Dosificación para 1m³ de hormigón f'c=240 kg/cm²

Resultados para f'c 240 Kg/cm²					
Material	**Cantidad en Kg @m3**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en Kg por saco de 50Kg**	**Dosificación por volumen en obra**	
W	162.98	0.56	28	28	litros
C	291.04	1	50	1	Saco
AF	830.10	2.85	142.5	3.17	Parihuela
AG	978.89	3.36	168	4.56	Parihuela

Condiciones de Diseño.

Resistencia f'c(Kg/cm²)	Relación w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento
210	0.58	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m³	Hidráulico Tipo GU
240	0.56	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m³	Hidráulico Tipo GU

Ensayos en estado fresco

Item	Mina			
	PG210	PG240	M210	M240
Fecha elaboración	16/11/2022	16/11/2022	28/11/2022	28/11/2022
Hora	11H00	14H00	10H00	14H00
Docilidad	Buena	Media	Buena	Media
Homogeneidad	Buena	Buena	Buena	Media
Temp °C	20	17	21	18
Asentamiento(cm)	8	6	7	6
Consistencia	Media	Media	Media	Media
Densidad (Kg/m³)	2267.369	2298.364	2275.896	2337.123

Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos**.**

Origen			Pungal Grande							
Ensayado por			Mario Flores							
Norma			NTE INEN 1573:2010							
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros				Resultados ensayo		
				#	ϕ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedi
PG21	7	16/11/2022	23/11/2022	1	10,16	20,2	3,82	129	15,90	16,67
PG21	7			2	10,04	20,1	3,90	137	17,30	
PG21	7			3	10,28	20,1	3,88	139	16,80	
PG21	14		30/11/2022	1	10,30	20,3	3,84	141	16,90	17,33
PG21	14			2	10,29	20,1	3,76	144	17,30	
PG21	14			3	10,15	20,2	3,89	144	17,80	
PG21	21		7/12/2022	1	10,00	20,0	3,85	163	20,75	20,56
PG21	21			2	10,10	20,2	3,79	163	20,39	
PG21	21			3	10,00	20,1	3,84	161	20,54	
PG21	28		14/12/2022	1	10,03	20,1	3,77	178	22,56	21,96
PG21	28			2	10,26	20,1	3,82	190	23,01	
PG21	28			3	10,02	20,0	3,89	160	20,31	
PG24	7	17/11/2022	24/11/2022	1	10,13	20,1	3,79	140	17,40	18,17
PG24	7			2	10,26	20,2	3,91	154	18,60	
PG24	7			3	10,25	20,2	3,75	153	18,50	
PG24	14		31/11/2022	1	10,22	20,1	3,82	162	19,70	19,80
PG24	14			2	10,28	20,1	3,76	159	19,10	
PG24	14			3	10,08	20,2	3,79	164	20,60	
PG24	21		8/12/2022	1	10,05	20,1	3,81	193	24,32	23,56
PG24	21			2	10,26	20,3	3,89	190	23,01	
PG24	21			3	10,08	20,1	3,85	186	23,35	
PG24	28		15/12/2022	1	10,23	20,1	3,80	198	25,23	24,97
PG24	28			2	10,20	20,20	3,87	198	24,92	
PG24	28			3	10,10	20,10	3,86	195	24,76	

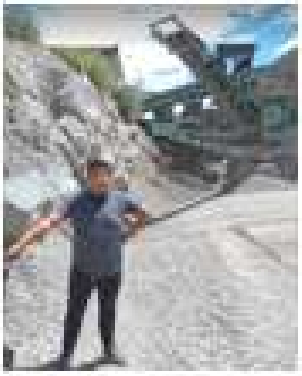
Origen			Miraflores							
Ensayado por			Mario Flores							
Norma			NTE INEN 1573:2010							
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros				Resultados ensayo		
				#	#	ϕ(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedi
M21	7	17/11/2022	24/11/2022	1	10,16	20,1	3,71	119	14,70	14,83
M21	7			2	10,13	20,3	3,79	125	15,50	
M21	7			3	10,12	20,2	3,77	115	14,30	
M21	14		31/11/2022	1	10,11	20,2	3,81	139	17,30	17,73
M21	14			2	10,03	20,3	3,80	140	17,70	
M21	14			3	10,04	20,2	3,73	144	18,20	
M21	21		8/12/2022	1	10,06	20,1	3,76	154	19,33	20,10
M21	21			2	10,16	20,2	3,71	177	21,82	
M21	21			3	10,11	20,2	3,71	154	19,15	
M21	28		15/12/2022	1	10,09	20,0	3,71	182	22,72	21,78
M21	28			2	10,09	20,1	3,71	171	21,42	
M21	28			3	10,07	20,2	3,75	169	21,20	
M24	7	7/1/1900	25/11/2022	1	10,15	20,1	3,72	138	17,10	16,93
M24	7			2	10,12	20,1	3,68	138	17,20	
M24	7			3	10,06	20,2	3,83	131	16,50	
M24	14		3/12/2022	1	10,01	20,1	3,81	165	21,00	20,57
M24	14			2	10,08	20,0	3,82	166	20,80	
M24	14			3	10,17	20,0	3,80	162	19,90	
M24	21		9/1/2022	1	10,14	20,1	3,69	197	24,42	23,56
M24	21			2	10,12	20,1	3,73	198	24,65	
M24	21			3	10,01	20,2	3,80	170	21,61	
M24	28		16/1/2022	1	10,07	20,0	3,74	201	25,12	25,01
M24	28			2	10,03	20,1	3,77	197	24,94	
M24	28			3	10,13	20,2	3,72	200	24,96	

Anexo Fotográfico

Visita a las Minas para extraer el material:

Mina Pungal Grande:

Mina Miraflores:



Densidad real del cemento

 Materiales e instrumentos utilizados en el ensayo	 Toma de peso del picnómetro
 Aforo 500 cc de gasolina	 Gasolina+ cemento
 Proceso para sacar burbujas de aire	

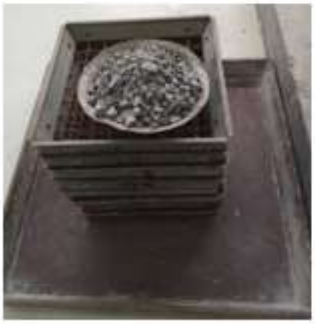
Detección de material orgánico en la arena

 Muestras de las minas Pungal Alto y Miraflores	 300 ml de Hidróxido de sodio al 3%
 Mezcla de las muestras con los 300 ml de Hidróxido de sodio para que reposen 24 horas embotellado y con corcho	 Resultado gráfico comparado con la tabla comparadora de la muestra de Miraflores
 Resultado gráfico referenciado con la tabla comparadora de la muestra de Pungal Alto	

Granulometría del fino

 Se completa el peso hasta llegar a los 1000 gramos que exige la norma	 Pesaje de la muestra de agregado fino
 Nos ayudamos de la máquina vibratoria para tamizar la muestra	 Vamos anotando el paso del material retenido en cada tamiz
 Hacemos el mismo procedimiento en ocasiones de las dos minas	

Granulometría del material grueso

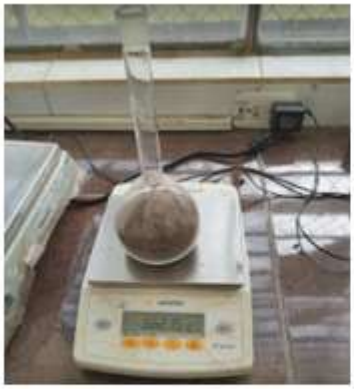
10000 kg de agregado grueso de la mina "Pungal Alto"	10000 kg de agregado grueso de la mina "Miraflores"
Foto junto a los tamices a utilizar	Tamices apilados en el orden que indica la norma
 Inicio del ensayo con agregado de "Pungal Alto"	Inicio del ensayo con agregado de "Miraflores"

Material mas fino que pasa el tamiz 200

 Hacemos el lavado de los 500 gr hasta que el agua pase de visualmente turbia a clara	 El agua de la muestra de Miraflores se encuentra clara
 El agua de la muestra de Pungal Grande se encuentra clara	 Se saca en lo posible el agua de las muestras para meterlas al horno y secarlas

Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

 Muestras de agregado fino y grueso de las Minas Miraflores (a la derecha) y Pungal alto (a la izquierda)	 Muestras sumergidas
 Pasadas 24 horas extendemos las muestras de agregado fino en una bandeja y bajo el sol (Izquierda Pungal Alto y derecha Miraflores) para inducir las muestras al estado SSS	 Para comprobar el estado SSS realizamos el ensayo de disgregación con el cono y el apisonador
 El material se ha disgregado entonces se verifica el estado SSS del material fino de la Mina Miraflores	 Se verifica el estado SSS del material fino de la mina Pungal Alto

 Tomamos una muestra de 500 gr del agregado fino de la mina Miraflores en estado SSS	 Tomamos una muestra de 500 gr del agregado fino de la mina Pungal Alto en estado SSS
 Se introdujeron las muestras en el picnómetro para tomar los pesos y realizar el ensayo de densidad real del agregado fino.	 También se pesan muestras en estado SSS para introducirlas en el horno para el ensayo de capacidad de absorción (2 muestras por mina)

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

 Muestras de agregado fino y grueso de las Minas Miraflores (a la derecha) y Pungal alto (a la izquierda)	 Muestras sumergidas
 Tomando los pesos en canasta de malla sumergida	 Llevando el agregado al estado SSS
 Toma de pesos del agregado grueso en estado SSS antes de ser llevada al horno	

 Llenado del cilindro con material	 Toma de peso
 Compactado del material	 Enrazado del material
 Pesando el agregado fino para iniciar con el ensayo de densidad de la mezcla	 Vaciado del agregado fino sobre el agregado grueso para mezclar

Elaboración de las probetas de hormigón

 Dosificación de los materiales al peso según lo calculado	 Mezclado de los materiales
 Ensayo de asentamiento con el cono de Abrams	 Asentamiento (6-9) cm para 21 Mpa Asentamiento (4-5) cm para 24 Mpa
 Rellenado de los cilindros con el hormigón, 2 capas, 25 varilladas por capa	 Terminado liso para evitar concentración de esfuerzos

 Pesamos los cilindros + hormigón para densidad	 Secado de las probetas 24 horas (fraguado)
 Desmoldado de las probetas	 Curado de las probetas de acuerdo a las edades de 7,14,21,28 días
 Ensayo a compresión de las probetas	