



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:

**“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL
HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: LA PLAYA, UBICADA
EN EL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI Y SALVADOR,
UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

AUTOR: Andachi Solís Óscar Eduardo

TUTOR: Ing. Mg. Wilson Santiago Medina Robalino

Ambato - Ecuador

Septiembre - 2020


CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema **“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: LA PLAYA, UBICADA EN EL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI Y SALVADOR, UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”** elaborado por el Sr. Andachi Solís Óscar Eduardo, portador de la cédula de ciudadanía: 1804342101, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Septiembre 2020



Ing. Mg. Medina Robalino Wilson Santiago

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Andachi Solís Óscar Eduardo, con CI. 1804342101 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: LA PLAYA, UBICADA EN EL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI Y SALVADOR, UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2020



Andachi Solís Óscar Eduardo

C.I. 1804342101

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, Septiembre 2020



Andachi Solís Óscar Eduardo

C.I. 1804342101

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico y/o Trabajo Experimental, realizado por el estudiante ANDACHI SOLÍS ÓSCAR EDUARDO de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: LA PLAYA, UBICADA EN EL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI Y SALVADOR, UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

Ambato, Septiembre 2020

Para constancia firman:



Ing. Mg. Suquillo Ronquillo Betzabeth Jessenia

Miembro del tribunal



Ing. Mg. Navarro Peñaherrera Carlos Patricio

Miembro del tribunal

DEDICATORIA

Afanoso de conocimiento y rebelde de mediocridad

Invitado a meditar por la convergencia del lugar y la hora, con la pupila en el ocaso de una etapa más en mi vida persigo una quimera, ideal que acrisola la pasión que anima mi fe, más al estrellarme contra la realidad de un entorno al borde del colapso y una sociedad en decadencia, puede parecer desprecio, aislamiento e incluso misantropía. Predispuesto a emanciparme del rebaño, hostil a los dogmatismos sociales, indiferente a supersticiones ajenas y sin temor a la opinión pública.

Conviene ahora retroceder al punto de partida e irremediablemente se me anuda la garganta, contengo el llanto y apuro un suspiro imaginando lo que pudo ser y no fue; con encono recuerdo el momento en que decidiste amar a la víctima y protestar contra el nuevo verdugo cómplice del cobarde zascandil que años atrás nos dañó irreparable, que había sentenciado mi futuro a seguir la tradición, nunca mano de orfebre plasmó un concepto más sublime del amar sin condición, el tiempo lo ha de consagrar y tu esfuerzo ha de ser ejemplar, justo homenaje resultan estas letras y esta hazaña en la escuela, para ti que decidiste llevar sobre tu frente fugitiva el estigma de un destino involuntario, Jéssica hermana mía, gracias por tu esfuerzo, cariño y amor inmarcesibles, juntos desafiamos la tormenta con nada más que sueños y promesas en los bolsillos rotos, rebeldes al pasado pero sin la necesidad de violentarlo, mirando siempre al frente y no a la espalda, buscando la tranquilidad y libertad antes que la opulencia y apostasía.

AGRADECIMIENTO

En estas líneas debo agradecer a todas aquellas personas que hicieron posible el desarrollo del presente trabajo experimental.

A mi familia, por su apoyo incondicional en cada una de mis decisiones académicas y de formación personal, ustedes constituyen mi esencia.

A mi tutor, Ing. Mg. Santiago Medina, por su compromiso en el desarrollo del proyecto.

A todos los integrantes de los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil por su predisposición para ayudar en la ejecución del estudio.

A los titulares de las Minas “La Playa” y “Salvador” por su colaboración con el desarrollo del trabajo.

A mis maestros, estaré siempre agradecido con ustedes por su ardua e incesante labor en las aulas.

A mis amigos, por todos los momentos vividos, que hoy y siempre vivirán en mi memoria, como una de las mejores etapas de mi vida.

En general, a toda la comunidad universitaria, porque formamos parte de un todo y cada integrante juega un papel fundamental, sin el cual la formación académica de los nuevos profesionales sería imposible.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación.....	6
1.1.3. Fundamentación Teórica.....	8
1.1.3.1. Módulo de elasticidad del hormigón	8
1.1.3.2. Agregados o áridos	9
1.1.3.3. Propiedades de los agregados	14
1.1.3.4. Sustancias nocivas en los áridos	22
1.1.3.5. Agua para el concreto	23
1.1.3.6. Cemento Portland	29
1.1.3.7. Diseño de mezclas de concreto.....	32
1.1.4. Hipótesis.....	34
1.2. Objetivos	34
1.2.1. General:	34
1.2.2. Específicos:	34

CAPÍTULO II	35
METODOLOGÍA	35
2.1. Nivel o tipo de Investigación.....	35
2.2. Población y muestra	36
2.2.1. Población	36
2.2.2. Muestra	36
2.3. Materiales y Equipos	36
2.3.1. Materiales.....	37
2.3.2. Equipos	37
2.4. Métodos	38
2.5. Plan de Procesamiento y Análisis de la Información	40
CAPÍTULO III.....	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
3.1. Análisis y discusión de resultados.....	41
3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento.	41
3.1.2. Ensayos en los agregados.	41
3.1.2.1. Toma y reducción de muestras.....	42
3.1.2.2. Determinación del material más fino que pasa el tamiz No. 200, mediante lavado.	42
3.1.2.3. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para la elaboración de hormigón.....	43
3.1.2.4. Análisis granulométrico en los agregados.....	44
3.1.2.5. Determinación de la densidad relativa (Gravedad específica).....	52
3.1.2.6. Determinación de la capacidad de absorción de los agregados. ...	53
3.1.2.7. Determinación de la densidad aparente de los agregados.....	54
3.1.2.8. Resistencia al desgaste en el agregado grueso.....	57
3.1.3. Diseño de mezclas con el método de la densidad máxima.....	58
3.1.3.1. Antecedentes	58
3.1.3.2. Ensayos de caracterización de los agregados.....	58
3.1.3.3. Resultados de mezclas de prueba.....	59
3.1.4. Diseño de mezcla final.....	61
3.1.4.1 Ensayos realizados con dosificación final.....	63
3.1.5. Determinación del módulo de elasticidad estático (MEE) del hormigón. 68	
3.1.5.1. Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón.	71

CAPÍTULO IV	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
Bibliografía	76
ANEXOS.....	78
Anexo 1. Requisitos de gradación para árido grueso.	78
Anexo 2. Ubicación Minas	79
Anexo 3. Resultados de ensayos realizados.	81
a) Material más fino que pasa el tamiz con abertura de 75 μ m (No. 200), mediante lavado.	81
b) Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino.	82
c) Análisis granulométrico en el árido fino.	83
d) Análisis granulométrico en el árido grueso.	85
e) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.....	87
f) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.	89
g) Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.	91
h) Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino.....	92
i) Ensayo de abrasión (porcentaje de desgaste de áridos).....	94
Anexo 4. Diseño de mezclas de prueba.....	95
Anexo fotográfico.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Algunas sustancias nocivas y sus efectos sobre el hormigón	22
Tabla 2. Placa orgánica de colores	23
Tabla 3. Compuestos principales del cemento Portland.	29
Tabla 4. Tipos y aplicaciones del cemento portland estándar.....	31
Tabla 5. Número de probetas a ser elaboradas en fase final	36
Tabla 6. Resultados densidad real del cemento	41
Tabla 7. Ensayos realizados en los agregados para su caracterización.....	41
Tabla 8. Material más fino que pasa el tamiz No. 200 “Mina La Playa”	42
Tabla 9. Material más fino que pasa el tamiz No. 200 “Cantera Salvador”	43
Tabla 10. Resultados del ensayo “Impurezas orgánicas en el árido fino”	43
Tabla 11. Análisis granulométrico del agregado fino para “Mina La Playa”	44
Tabla 12. Análisis granulométrico del agregado fino “Cantera Salvador”	46
Tabla 13. Análisis granulométrico del agregado grueso para “Mina La Playa”	48
Tabla 14. Análisis granulométrico del agregado grueso “Cantera Salvador”	50
Tabla 15. Densidad relativa (SSS) del agregado fino.	52
Tabla 16. Densidad relativa (SSS) del agregado grueso	52
Tabla 17. Capacidad de absorción del agregado fino	53
Tabla 18. Capacidad de absorción del agregado grueso	53
Tabla 19. Densidad aparente en el árido fino.....	54
Tabla 20. Densidad aparente en el árido grueso.	54
Tabla 21. Densidad aparente compactada de la mezcla “Mina La Playa”	55
Tabla 22. Densidad aparente compactada de la mezcla “Cantera Salvador”	56
Tabla 23. Porcentaje de desgaste del árido grueso “Mina La Playa”	57
Tabla 24. Porcentaje de desgaste del árido grueso “Cantera Salvador”	57
Tabla 25. Resumen de las propiedades en el árido fino.....	58
Tabla 26. Resumen de las propiedades en el árido grueso.....	59
Tabla 27. Densidades aparentes para la mezcla y porcentajes óptimos.....	59
Tabla 28. Ensayo de probetas $f'c$ 21 Mpa “Mina La Playa”	64
Tabla 29 Ensayo de probetas $f'c$ 28 Mpa “Mina La Playa”	65
Tabla 30. Ensayo de probetas $f'c$ 21 Mpa “Cantera Salvador”	66
Tabla 31. Ensayo de probetas $f'c$ 28 Mpa “Cantera Salvador”	67

Tabla 32. MEE para “Mina La Playa” f_c 21 Mpa	68
Tabla 33. MEE para "Mina La Playa" f_c 28 Mpa	68
Tabla 34. MEE para "Cantera Salvador" f_c 21 Mpa	69
Tabla 35. MEE para "Cantera Salvador" f_c 28 Mpa.	69
Tabla 36. Comparación entre MEE experimental y teórico del hormigón	71
Tabla 37. Factores de zona para MEE del concreto.....	73
Tabla 38. Factores de zona para MEE del concreto.....	73
Tabla 39. Factores locales k_a y k_b obtenidos.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Módulo secante del concreto.	9
Figura 2. Forma de las partículas	16
Figura 3. Áridos angulares y redondeados	17
Figura 4. Máquina de abrasión de Los Ángeles	19
Figura 5. Poros y absorción de humedad en los agregados.....	20
Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino “Mina La Playa”	44
Figura 7. Curva granulométrica del agregado fino “Cantera Salvador”	46
Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso “Mina La Playa”	48
Figura 9. Curva granulométrica del agregado grueso “Cantera Salvador”	50
Figura 10. Comparación en función de la resistencia a la compresión $f'c$ 21 Mpa. ..	60
Figura 11. Comparación en función de la resistencia a la compresión $f'c$ 28 Mpa. ..	60
Figura 12. Gráfica esfuerzo vs tiempo para 21 Mpa “Mina La Playa”	64
Figura 13. Gráfica esfuerzo vs tiempo para 28 Mpa “Mina La Playa”	65
Figura 14. Gráfica esfuerzo vs tiempo para 21 Mpa “Cantera Salvador”	66
Figura 15. Gráfica esfuerzo vs tiempo para 28 Mpa “Cantera Salvador”	67

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental se lo realizó acorde a lo expuesto en las distintas normativas vigentes, en primer lugar se desarrolló una inspección visual y toma de muestras, de acuerdo con lo especificado en NTE INEN 695, de dos de las minas que aportan material a la ciudad de Ambato, posteriormente, se realizó la reducción a tamaño de ensayo como indica NTE INEN 2566; a continuación iniciaron los ensayos de caracterización de los agregados con el propósito de conocer sus propiedades y su posible comportamiento en el hormigón estructural, acatando lo dispuesto en NTE INEN 872; así también, se determinó la densidad real del cemento basándonos en lo expuesto en NTE INEN 156. Finalmente se realizó el diseño de mezclas, utilizando el método de la densidad máxima, para resistencias a la compresión a los 28 días de edad de 21 y 28 Mpa.

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

Como aspecto principal se determinó el módulo de elasticidad estático, experimental, cuyo proceso se ilustra en ASTM C469 y teórico, empleando las ecuaciones propuestas en ACI 318, para su posterior comparación y análisis.

ABSTRACT

This experimental work was carried out according to the current regulations set in place. The first step was developing a visual inspection and followed by taking samples in accordance with specifications found in NTE INEN 695. First and foremost it was taken from two of the mines that contribute material to Ambato city, subsequently, the reduction to trial size as indicated by NTE INEN 2566; then it started the characterization tests of the aggregates in order to know its properties and its possible behavior in structural concrete, abiding by what was provided in NTE INEN 872. Additionally, the real density of the cement was determined based on what was stated in NTE INEN 156. Finally, the design of mixtures, using the maximum density method, for compressive strengths at 28 days of age of 21 and 28 Mpa.

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

In conclusion, the experimental static modulus of elasticity were determined and the process is illustrated in ASTM C469. In addition, the theoretical was also determined using the equations proposed in ACI 318, for later comparison and analysis.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

El progreso del hombre está tan íntimamente ligado al desarrollo de los materiales que es difícil discernir si uno hubiese sido posible sin el otro. El descubrimiento de un nuevo material permitía al hombre llevar a la práctica ideas que antes estaban vedadas. Resulta innegable que la prosperidad de las civilizaciones humanas ha dependido fuertemente del dominio alcanzado en la producción y manipulación de los recursos naturales [1].

Probablemente el empleo de materiales cementantes se remonta al inicio de la civilización cuando el hombre se vio en la necesidad de construir, utilizando para ello arcilla o una mezcla de cal y arena para unir las piedras y conformar una estructura simple que le sirviera de protección. No existe manera de determinar la primera vez que se utilizó un material aglomerante, sin embargo, hay vestigios que indican que la obra de concreto más antigua fue construida alrededor de los años 5600 a.C. en las riberas del río Danubio. Como los morteros de cal viva no resistían adecuadamente la acción del agua durante periodos largos, se presume que a esta mezcla se incorporaron toda clase de agregados y durante estas pruebas empíricas se descubrió que la arena tenía mayor resistencia y duración [2].

El concreto puede ser definido como la mezcla de un material aglutinante por lo general cemento Pórtland, unos materiales de relleno agregados o áridos, agua y eventualmente aditivos, que al endurecer forman un sólido compacto y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. Se ha convertido en el material de construcción más utilizado a nivel mundial en razón a su

extraordinaria versatilidad en cuanto a las formas que se pueden obtener, sus propiedades físicas y mecánicas para ser usado como elemento estructural.

Los agregados son el mayor constituyente del concreto, por lo general componen más del 70% del material en un metro cúbico de concreto y son los que hacen que sea un material de construcción económico. En la elaboración de concreto de masa normal, usado en la mayoría de las construcciones de la provincia de Tungurahua, los agregados son obtenidos de canteras, como es el caso de Mina la Playa y Cantera Salvador, cuyo material es objeto de estudio en el presente trabajo experimental. La fuente de materiales debe estar localizada a una distancia razonable del sitio de trabajo y para su selección hay que considerar que sus propiedades no difieren significativamente una de otra. Cada una puede variar en la mineralogía de sus componentes por las condiciones físicas de sus partículas tales como la distribución de tamaños, la forma y la textura. todos estos factores tienen un efecto en el comportamiento del concreto [2].

Uno de los parámetros más importantes dentro del análisis estructural es el módulo de elasticidad, debido a que este influye en el cálculo de las deflexiones, derivas de piso y rigideces de una estructura de hormigón. Un aspecto importante del análisis y diseño estructural se relaciona con las deformaciones que causan las cargas aplicadas a la estructura, por ello es imprescindible evitar que se produzcan grandes deformaciones producto de la aplicación de estas, ya que pueden impedir que la estructura se comporte de acuerdo con el propósito para el cual se diseñó. En muchos de los casos entre los calculistas existe la tendencia de suponer valores para el módulo de elasticidad, para lo cual emplean ecuaciones sugeridas por diversas instituciones como es el caso del Comité 318-14 de ACI.

El ACI 318, propone constantes para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón y establece valores referenciales para ofrecer seguridad estructural. De igual forma ACI establece una relación del módulo de elasticidad con la resistencia a la compresión simple y el peso unitario del hormigón. Para ello plantea valores para hormigones con

peso unitario entre 1440 y 2560 Kg/m^3 de $E_c = w_c^{1.5} 0.14 \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$ y para hormigones de peso normal puede considerarse $E_c = 15100 * \sqrt{f'c} (Kg/cm^2)$ [4].

A nivel nacional hace ya algunas décadas nace la necesidad de conocer la realidad en cuanto a la calidad de los agregados utilizados para la elaboración del hormigón y su influencia sobre la resistencia a la compresión y demás propiedades como el módulo de elasticidad estático ya que códigos como ACI proponen ecuaciones y valores para el cálculo estructural que no corresponden a nuestra realidad, para la provincia de Tungurahua a través de la Universidad Técnica de Ambato se han realizado este tipo de análisis en las distintas canteras que aportan el material para la construcción [6].

Sánchez [7] por ejemplo determinó el módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión, utilizando para ello materiales de la Cantera “Playa Llagchoa” y cemento tipo IP, se realizaron dosificaciones para hormigones de resistencias de 210, 240 y 280 Kg/cm^2 , con un asentamiento de 6 a 9 cm, que fueron ensayados a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días, con el propósito de obtener la curva tiempo vs resistencia, determinando el módulo de elasticidad estático experimental para cada probeta, para poder comparar los resultados con los valores teóricos de las ecuaciones propuestas por A.C.I. 318 y A.C.I. 363; de lo cual obtiene las siguientes conclusiones:

- Se determinó el módulo de Elasticidad Estático experimental del hormigón según la norma ASTM C469, obteniendo valores muy por debajo de los propuestos por el Comité A.C.I. 318 y A.C.I. 363.
- Se consiguieron resistencias a la compresión próximas a las especificadas de 210, 240 y 280 Kg/cm^2 , esto debido a la calidad de los agregados en especial al agregado grueso el cual presenta una elevada porosidad.
- Se establecieron curvas de relación entre el Módulo de Elasticidad Estático Experimental y la Resistencia a la compresión del hormigón para edades de 7, 14, 21 y 28 días, lo que facilitó la obtención del módulo de elasticidad estático para distintas resistencias por medio de gráficas o ecuaciones planteadas.

Ortega [8] en su tesis “LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS DE TRES CANTERAS DE LA CIUDAD DE AMBATO Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES” realiza el estudio de las propiedades mecánicas de los agregados de distintas canteras en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil, obteniendo como resultado lo siguiente:

Para la Cantera Villacrés:

- El tamaño nominal máximo del agregado grueso es de 1 ½” lo cual indica una adecuada distribución de partículas.
- El módulo de finura para el agregado fino es de 3.0 que indica que se trata de una arena idónea para su uso en hormigones.
- El peso unitario suelto de 1.382 gr/cm³ y de 1.326 gr/cm³ para el ripio y la arena respectivamente ambos en estado natural.
- El peso específico que se obtuvo para el ripio es de 2.585 gr/cm³ y para la arena es de 2.568 gr/cm³ mismos que se encuentran dentro del rango admisible.
- El peso unitario óptimo de la mezcla fue de 1.890 gr/cm³ lo que corresponde al 39% de arena y 61% de ripio.

Para la Cantera “Playa Llagchoa”

- El tamaño nominal máximo del agregado grueso es de 1½” lo cual indica una adecuada distribución de partículas.
- El módulo de finura para el agregado fino es de 2.5 que es bajo pero aceptable.
- El peso unitario suelto de 1.395 gr/cm³ y de 1.306 gr/cm³ para el ripio y la arena respectivamente ambos en estado natural.
- El peso específico que se obtuvo para el ripio es de 2.554 gr/cm³ y para la arena es de 2.512 gr/cm³ mismos que se encuentran dentro del rango admisible, pero debe tomarse en cuenta que la arena se encuentra muy cercana al límite inferior.
- El peso unitario óptimo de la mezcla fue de 1.799 gr/cm³ lo que corresponde al 33% de arena y 67% de ripio.

Para la planta industrial de trituración de áridos.

- El tamaño nominal máximo del agregado grueso es de 1" lo cual indica una adecuada distribución de partículas de diferentes tamaños.
- El módulo de finura para el agregado fino es de 2.9 que indica que se trata de una arena idónea para su uso en hormigones.
- El peso específico que se obtuvo para el ripio es de 2.611 gr/cm³ y para la arena es de 2.624 gr/cm³ mismos que se encuentran dentro del rango admisible.

García [6] de la Universidad Central del Ecuador de la Facultad de Ingeniería, Ciencias físicas y Matemática de la Carrera de Ingeniería Civil en su trabajo "MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f'_c=24\text{Mpa}$) FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA VILLACRÉS, UBICADA EN EL SECTOR DE LA PENÍNSULA CANTÓN AMBATO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO HOLCIM" propone lo siguiente:

Experimentalmente se determinaron todas las propiedades físicas de cada uno de los agregados y con los resultados obtenidos se calcularon las dosificaciones iniciales de mezcla de prueba para la resistencia establecida de 24 Mpa, utilizando el método de la densidad óptima.

Mediante ensayos a compresión simple, a la edad de 28 días, según lo especificado en la norma ASTM C 469, se obtiene el módulo de Estático de Elasticidad del hormigón de cada probeta y los compara con las ecuaciones propuestas por ACI.

Los resultados experimentales obtenidos en este estudio determinan que el módulo estático de elasticidad del hormigón, utilizando los materiales de la mina "Villacrés" y cemento Holcim para dar existencia de 24 MPa, difiere de los propuestos por A.C.I. y le corresponden las siguientes ecuaciones:

$$E_c = 3246 * \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

$$E_c = 10361 * \sqrt{f'_c} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) \quad (2)$$

1.1.2. Justificación

El uso del concreto en proyectos de construcción implica en general los procesos de diseño, manejo, colocación, compactación y curado que pueden diferir notablemente en cada caso. Así también, las diferencias que presentan los agregados usados por cada proveedor implican que las propiedades del concreto en el elemento estructural pueden variar apreciablemente. Es así como nace la necesidad de contar con un concreto de calidad, que aproveche para su elaboración la existencia de materiales pétreos extraídos de minas locales, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las características mecánicas, físicas y químicas de estos. Sin embargo, de los problemas más frecuentes que se encuentran a diario los ingenieros y constructores al utilizar hormigón es la poca verificación de las propiedades de los agregados, lo que deriva con frecuencia en la obtención de resultados distintos a los esperados. Por tanto, surge la necesidad de estudiar a detalle las propiedades de los agregados de las distintas minas que aportan material en gran volumen para la construcción de obras en la ciudad de Ambato, como es el caso de las minas La Playa y Salvador [8].

El módulo de elasticidad estático del concreto es considerado uno de los parámetros más importantes en el diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado, en el concreto el valor aumenta con el tiempo dependiendo de la resistencia, por lo que es dependiente del concreto en particular. En general a mayor resistencia del concreto y mayor densidad se tiende a obtener un valor mayor del módulo de elasticidad estático, sin embargo, dependiendo de los componentes y dosificación del concreto o mortero los valores pueden diferir de manera apreciable. Así también, investigaciones han permitido determinar que esta variación máxima puede variar dependiendo de otros factores como la ganancia de hidratación in situ, la que no siempre se puede determinar en las pruebas destructivas, puesto que la ganancia de resistencia monitoreada por tecnologías no destructivas tiende a diferir del valor determinado en cilindros [9].

Definir el módulo de elasticidad de los hormigones elaborados con agregados de las minas “La Playa” y “Salvador”, resulta un gran aporte a la sociedad ya que los valores a obtenerse representarían una fuente confiable y segura para el ingeniero calculista que requiere de este tipo de información en su trabajo, para garantizar a la ciudadanía: seguridad estructural, economía y durabilidad en sus diseños [1], Adoptar un correcto conocimiento acerca del módulo de la elasticidad estático del hormigón bajo condiciones de carga estáticas podría resultar de gran utilidad para emplearse en futuras investigaciones que incursionen en el ámbito dinámico es decir un módulo de elasticidad dinámico del concreto para con ello intuir el comportamiento del concreto bajo la acción de un sismo, lo cual resulta de vital importancia ya que gran parte del territorio ecuatoriano está catalogado como de amenaza sísmica alta, con excepción del nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y del litoral que presenta una amenaza sísmica muy alta [2].

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. Módulo de elasticidad del hormigón

El módulo de elasticidad de un material es un parámetro que mide la variación de esfuerzo en relación a la deformación en el rango elástico. Es función del ángulo de la línea esfuerzo -deformación y es una medida de rigidez o resistencia a la deformación de dicho material. El concreto presenta un comportamiento elastoplástico y por ello los esfuerzos no son directamente proporcionales a la deformación. Por lo anterior, ha sido necesario definir términos como módulo secante y módulo tangente en un intento por convenir un valor para el módulo de elasticidad del concreto [10].

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

De acuerdo con ASTM C469 la recta secante se traza desde un punto con una deformación de 0.00005 mm/mm al que le corresponde un esfuerzo que se debe determinar, hasta otro punto en donde en cambio se conoce el esfuerzo cuyo valor es igual al 40% de la carga máxima, en donde también debe determinarse el valor de la deformación correspondiente, todo esto se ilustra en la figura 1.

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

$$E_c = 0.14w^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad \left(\text{en } \frac{Kg}{cm^2}\right) \quad (3)$$

Dónde:

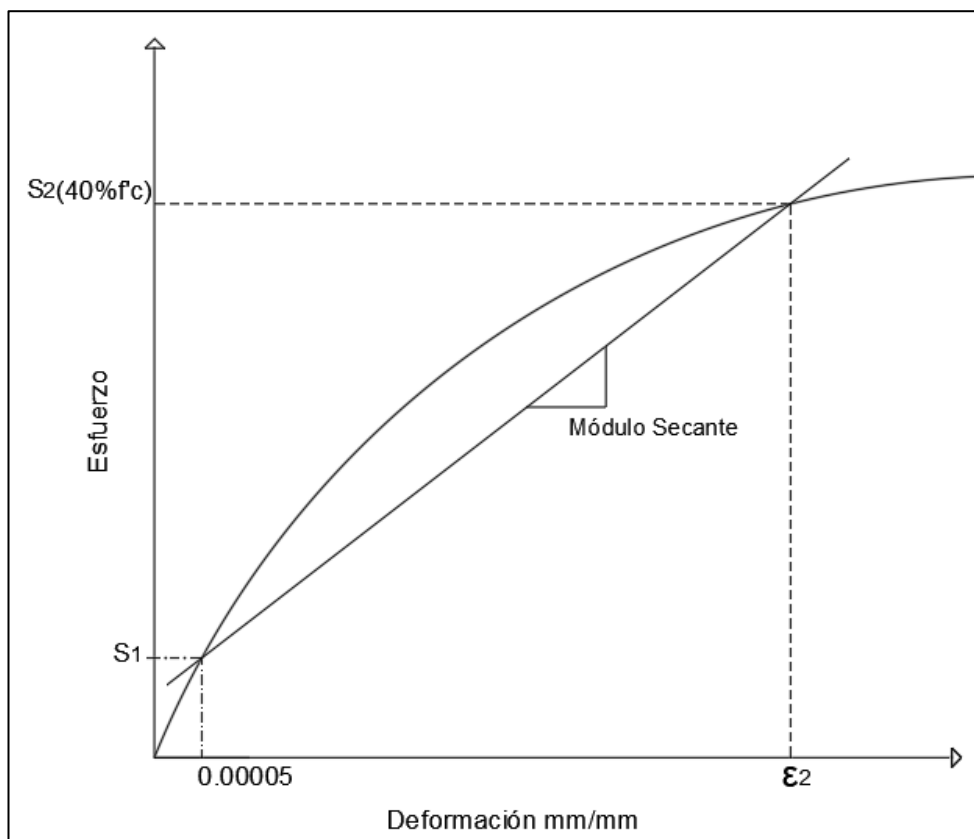
w = Peso unitario del concreto. La expresión (3) es válida si se trata de valores entre 1440 y 2560 $\frac{Kg}{m^3}$.

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto.

Para concretos normales, con pesos unitarios de aproximadamente $2300 \frac{Kg}{m^3}$ se usa también la expresión.

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \quad \left(\text{en } \frac{Kg}{cm^2}\right) \quad (4)$$

Figura 1 Módulo secante del concreto.



Realizado por: Oscar Andachi

1.1.3.2. Agregados o áridos

Son cualquier sustancia sólida o partículas añadidas intencionalmente al concreto que ocupan un espacio rodeado por pasta de cemento, de tal forma que en combinación con esta, proporcionan resistencia mecánica al mortero o concreto en estado endurecido, reducen el costo del hormigón al reducir la cantidad de pasta, comunican

su resistencia a la compresión y a la abrasión al hormigón y controlan los cambios volumétricos (retracción) que normalmente tienen lugar durante el fraguado del cemento, ya que el cemento disminuye su volumen al fraguar, así como los que se producen por las variaciones en el contenido de humedad de las estructuras [11].

En un principio los agregados se consideraban como elementos de relleno, con el criterio de utilizarlos al máximo para lograr el mayor aprovechamiento posible de la pasta de cemento, con fines orientados principalmente a la economía. Hoy se considera que este criterio prevalece, pero con otra prioridad, ya que el principal beneficio que se obtiene por reducir al mínimo posible la proporción de pasta en el concreto es de índole técnico, pues con ello disminuyen los cambios volumétricos del concreto y los probables agrietamientos en las estructuras, con lo cual puede mejorarse la durabilidad, siempre y cuando los agregados posean la calidad necesaria.

La calidad de los agregados está determinada por el origen, su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. Se han clasificado en agregado grueso y fino, fijando un valor en tamaño de 4,76 mm a 0,075 mm para el fino o arena y de 4,76 milímetros en adelante para el grueso. Frecuentemente, la fracción de agregado grueso es subdividida dentro de rangos, tales como, 4,76 mm a 19 mm para la gravilla y de 19 mm a 51 mm para grava. La selección del tamaño de agregado grueso para un concreto reforzado está en función del tipo de estructura y separación de la armadura [2].

Arena, Árido o Agregado fino

La fracción de material que pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8") y que la mayor parte de partículas pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75µm (No. 200) [10]. Es el árido de mayor responsabilidad, al punto que podría decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena [11].

Módulo de finura

Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de las series estandarizadas según ASTM C125 (#100, #50, #30, #16, #8, #4 y 3/8"), dividido

entre 100. Las series estandarizadas consisten en mallas, cada una del doble de tamaño de la precedente: 150, 300, 600 μm , 1.18, 2.36, 5.00 mm, hasta la malla de mayor tamaño (9.5 mm) [12].

Lo usual es que el módulo de finura se calcule para un agregado fino más que para uno grueso. Los valores típicos tienen un rango entre 2.3 y 3.1 de acuerdo con lo especificado en la norma NTE INEN 872:2011, donde un valor más alto que 3.1 indica una gradación más gruesa es decir una arena muy gruesa, mientras que un valor menor a 2.3 indica que se trata de arenas muy finas lo que se traduce en el aumento de la superficie específica. La utilidad del módulo de finura no solo radica en la detección de variaciones ligeras en un agregado de la misma fuente que podría afectar la manejabilidad del concreto fresco, sino que también ayuda a estimar las cantidades de los agregados en las mezclas de hormigón [12].

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto. La mayoría de las especificaciones permiten que del 10% al 30% pase por la malla de 0.30mm (No.50).

Requerimientos de la gradación.

Para comenzar, la gradación es importante solo en tanto que afecte la manejabilidad, ya que la resistencia es independiente de la gradación. Sin embargo, una alta resistencia requiere una compactación máxima con una cantidad de trabajo razonable, lo cual solo puede lograrse con una mezcla lo suficientemente manejable. De hecho, no existe una gradación ideal debido a la interacción de los factores principales que influyen en la manejabilidad: el área de la superficie de agregado, que determina la cantidad necesaria de agua para humedecer todos los sólidos; el volumen relativo ocupado por el agregado; la tendencia a la segregación y la cantidad de material fino en la mezcla [1].

Garzón [13] Respecto a la selección visual y calidad de la arena con la que se va a preparar hormigón, recomienda que debemos tener en cuenta lo siguiente:

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

Ripio, Grava, Agregado o Árido grueso.

Estos áridos son partículas granulares de material pétreo que en su mayoría quedan retenidas en el tamiz de 4,75mm (No. 4) [10], es decir, piedras, de tamaño variable. Este material se origina por la fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial. En este último caso actúan los procesos de trituración utilizada en las respectivas canteras. El material procesado corresponde principalmente a minerales de caliza, granito, dolomita, basalto, arenisca, cuarzo y cuarcita [11].

Garzón [13] recomienda tener en cuenta siempre lo siguiente:

- Su resistencia está ligada a su dureza, densidad, y módulo de elasticidad.

- Una buena grava tiene una densidad real mayor a $2.6 \frac{gr}{cm^3}$, y una resistencia a la compresión mayor a $1000 \frac{Kg}{cm^2}$.
- Una grava no admisible tiene una densidad real menor a $2.3 \frac{gr}{cm^3}$, y una de una resistencia a la compresión menor a $500 \frac{Kg}{cm^2}$.

Tamaño máximo o tamaño nominal máximo de la grava

Es el tamaño de la malla de la serie estandarizada anterior a la primera malla, en el que hubo el 15% o más de porcentaje retenido acumulado. Para hacer la correcta selección del tamaño nominal máximo de grava que conviene utilizar en cada caso, es necesario tomar en consideración los efectos que su variación puede ocasionar dentro del concreto en estado fresco como ya endurecido. En el concreto fresco debe tomarse en cuenta [2]:

- El riesgo de que se produzca segregación
- Las dimensiones mínimas de la estructura y separación del acero de refuerzo (que son limitaciones para la colocación en el espacio cimbrado).
- El requerimiento de pasta de cemento por unidad de volumen.

En cuanto a la influencia que el cambio de tamaño máximo de grava produce en el concreto endurecido, hay varias consideraciones posibles, pero principalmente debe tomarse en cuenta el nivel de resistencia que se pretende obtener. Varios estudios han demostrado que para una resistencia a la compresión alta con un elevado contenido de cemento y baja relación agua cemento el tamaño máximo debe mantenerse en el mínimo posible [12].

En nuestro medio se recomienda usar para hormigones convencionales agregado grueso cuyo tamaño nominal máximo esté entre $\frac{3}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ ". Dependiendo del uso que se le vaya a dar, un agregado menor que $\frac{3}{4}$ " hará que la superficie específica del material aumente y por ende la cantidad de cemento; Por otra parte, un agregado de tamaño mayor a $1\frac{1}{2}$ " podría causar atascamiento del concreto en el acero de refuerzo al momento del colado produciendo vacíos en el interior del elemento y reducción de la resistencia del hormigón [14]

Una de las recomendaciones que ACI 318 [4] indica es que el tamaño nominal máximo no debe exceder al menor de:

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

Adicionalmente a estos requisitos la NEC-SE-HM [15] señala que el TNM no debe ser mayor que el recubrimiento de las barras de acero de refuerzo.

1.1.3.3. Propiedades de los agregados

Las propiedades de los agregados están dadas por las características tanto de las partículas de forma individual como también por las características del material combinado. Estas propiedades pueden describirse a su vez según sus características físicas, químicas, y mecánicas. Hay varias características de las partículas individuales que son importantes a la hora de determinar si una fuente de áridos es adecuada para ser utilizada en trabajos específicos [11].

Las propiedades de los agregados se pueden tomar como un indicio de la calidad final del hormigón, pero esto no quiere decir que se garantiza la resistencia de este ya que la calidad de un buen concreto depende de varios factores que involucran la fase constructiva [12].

Granulometría

La granulometría describe la distribución de tamaños de las partículas del agregado. Esta distribución es un atributo importante de los áridos. Los áridos de gran tamaño son económicamente recomendables en el hormigón de cemento Portland y el hormigón asfáltico, ya que tienen menor área específica y, por tanto, requieren menos aglomerante. Sin embargo, En las mezclas de árido grueso, ya sean de hormigón asfáltico o de hormigón de cemento Portland, aumenta la complejidad en la trabajabilidad al ser mezcladas en obra. Por tanto, existen una serie de consideraciones constructivas, como: la capacidad de los equipos, las dimensiones de los elementos

constructivos, el espacio disponible entre la armadura de acero de los elementos y espesor de las capas, que limitan el tamaño máximo de las partículas de árido.

Granulometría de la Grava

A lo largo del tiempo se ha aceptado que los cambios granulométricos de la grava no influyen considerablemente en las características y propiedades del concreto en sus estados fresco y endurecido. No obstante, siempre se busca que en las mezclas de concreto convencional de consistencia plástica la curva granulométrica sea moderadamente continua, es decir, que, aunque dicha curva exhiba desviaciones, no se manifieste ausencia total de partículas en ningún intervalo [16]. Esto se justifica porque para obtener mezclas de concreto que sean manejables y al mismo tiempo no segreguen con facilidad, es necesario que exista continuidad en los diferentes tamaños de partículas de agregado en todo su intervalo dimensional.

La composición granulométrica del agregado grueso puede ser objeto de maniobra táctica y ajuste en mayor o menor grado. Por ejemplo, Para tamaños máximos de hasta 20 mm (3/4") es usual y se acostumbra a que la grava se maneje en una sola fracción que abarque todo su intervalo nominal. Cuando el tamaño nominal máximo sobrepasa los 20 mm es recomendable, y se acostumbra, dividir el agregado grueso en dos o más fracciones, con el propósito de facilitar el acomodo de su granulometría a un cierto modelo deseable, mediante la selección manual de sus diferentes fracciones.

Granulometría del árido fino.

La composición granulométrica de la arena se determina pasándola por las distintas mallas estandarizadas según NTE INEN 154:2013 [17] (#100, #50, #30, #16, #8, #4 y 3/8") con lo cual se obtienen grupos de partículas y para hacer la evaluación de las proporciones en que resultan estos grupos, se utilizan los siguientes medios:

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

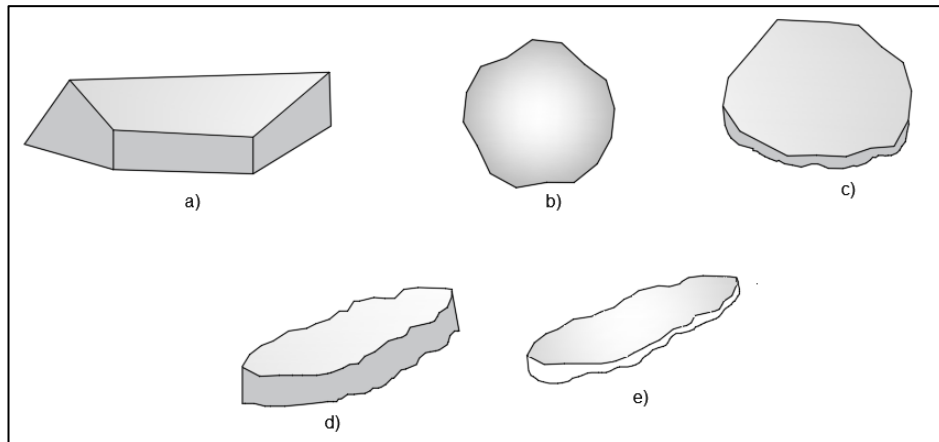
Para la aplicación del primer medio, es común considerar un límite superior y uno inferior de acuerdo con lo establecido en la norma INEN 872:2011 [18]

Forma y textura superficial de las partículas.

La forma de las partículas individuales de los agregados, como se muestran en las figuras 2 y 3, determinan cómo se acomodará el material para obtener una configuración mucho más compacta, así como la dispersión de las partículas dentro de una mezcla. Al momento de seleccionar el material, hay que tener presentes dos consideraciones: la angularidad y la foliación. El proceso de trituración de rocas produce partículas angulares con esquinas afiladas. Debido a la meteorización, las esquinas de las partículas se rompen dando lugar a partículas subangulares. Cuando las partículas dan vueltas al ser arrastradas por el agua, las esquinas tienden a adoptar una forma redondeada. Generalmente, las partículas de agregados angulares dan lugar a capas de materiales con una mayor estabilidad que las partículas redondeadas. Sin embargo, es más difícil trabajar con partículas de formas angulares que con redondeadas, dado que su forma hace más complicado que puedan deslizarse dentro de una masa de hormigón [1].

Figura 2. Forma de las partículas

a) angular, b) redondeada, c) foliada d) elongada y e) foliada



Realizado por: Óscar Andachi

Figura 3. Áridos angulares y redondeados



Realizado por: Óscar Andachi

La rugosidad de la superficie de las partículas juega un papel importante en la forma en la que el árido se compacta y se adhiere con el material aglomerante.

Los agregados que poseen una textura rugosa son más difíciles de compactar cuando se desea una configuración densa que aquellos agregados de partículas suaves. Normalmente, la textura rugosa mejora la capacidad de adherencia e incrementa la fricción entre partículas. La resistencia a la flexión se ve afectada mucho más que la resistencia a la compresión [12]. Por regla general, la arena y la grava naturales tienen una textura suave, mientras que los áridos obtenidos por trituración tienen una textura rugosa.

Para la preparación de hormigón de cemento Portland independientemente de su uso, es deseable utilizar partículas de áridos angulares y rugosos a pesar de que aumente la trabajabilidad del hormigón en estado fresco durante las operaciones de amasado. Sin embargo, es más aconsejable emplear partículas angulares y rugosas para el hormigón asfáltico y para las bases de cimentación, para obtener mayor estabilidad de los materiales una vez colocados en su lugar y también para disminuir la aparición de grietas. Las partículas de áridos con un alto nivel de foliación y alargadas no son deseables para la fabricación de hormigón ya que son difíciles de compactar durante las obras y se rompen fácilmente [11].

Consistencia y durabilidad

Se define como la capacidad de los áridos para resistir la meteorización. Los agregados utilizados en las obras de Ingeniería Civil deben ser consistentes y duraderos, particularmente si la estructura está sujeta a condiciones climatológicas extremas. La congelación del agua en los poros existentes en las partículas de áridos genera esfuerzos que pueden fracturar las piedras. La prueba de consistencia NTE INEN 863:2011 [19] simula la meteorización impregnando a los áridos con una solución de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio, estos sulfatos provocan el recrecimiento de cristales dentro de las partículas, simulando el efecto de la congelación [11]

Tenacidad, dureza y resistencia a la abrasión.

La capacidad de los áridos para resistir el efecto dañino de las cargas está relacionada con la dureza de las partículas del árido y se describe mediante la tenacidad y la resistencia a la abrasión. El árido es sometido a la trituración, la degradación y la desintegración cuando se acumula formando cúmulos, cuando se mezcla para obtener hormigón de cemento Portland u hormigón asfáltico, cuando se coloca y se compacta, o cuando es sometido a cargas de trabajo.

La prueba de abrasión de Los Ángeles NTE INEN 860:2011 [20] y NTE INEN 861:2011 [21] evalúa la tenacidad y la resistencia a la abrasión de los áridos. En esta prueba, una muestra de áridos producto de un tamizado previo se coloca en un tambor de acero con esferas de acero de tamaño estándar cuyo número depende de la gradación de la muestra, que actúan como carga abrasiva. El tambor se hace girar normalmente durante 500 revoluciones. después de esto, se extrae de la máquina el material y se lo tamiza a través del tamiz #12. El porcentaje de pérdida de peso será igual a la degradación del agregado [1].

Figura 4. Máquina de abrasión de Los Ángeles



Realizado por: Oscar Andachi

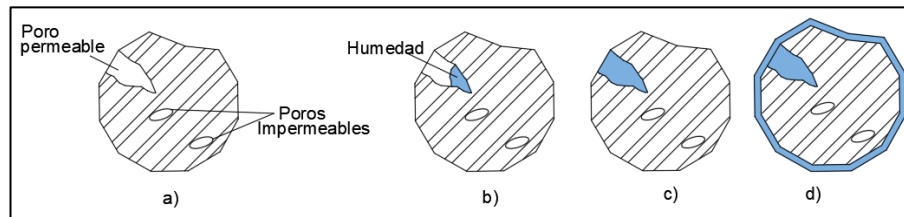
Absorción

Aunque los agregados tanto fino como grueso son inertes, pueden almacenar agua en los poros superficiales. La cantidad de agua que absorbe el árido es importante en el diseño de hormigones, ya que la humedad almacenada en los poros del agregado no estará disponible para mejorar la trabajabilidad del hormigón y para reaccionar con el cemento. No existe un nivel específico de absorción definido para los áridos empleados en el hormigón de cemento Portland, pero en nuestro medio se recomienda que para el árido fino sea del 0.2% al 2% y para el grueso del 0.2% al 4%, es preciso evaluar en laboratorio la absorción del árido con el fin de determinar la cantidad apropiada de agua que hay que mezclar en el hormigón [16].

La absorción también es importante para el hormigón asfáltico, ya que el asfalto absorbido no estará disponible para actuar como aglomerante. Por tanto, los áridos altamente absorbentes requieren mayores cantidades de aglomerante asfáltico, lo que hace que la mezcla resulte menos económica. Por otro lado, es deseable una cierta absorción del asfalto para mejorar la unión entre el asfalto y el árido [11].

En el agregado se pueden presentar 4 condiciones de humidificación como lo muestra la figura 5.

Figura 5. Poros y absorción de humedad en los agregados



Realizado por: Oscar Andachi

- a) **Totalmente seco (SH):** Quiere decir que el árido no contiene humedad, para esto se requiere secar el árido en un horno hasta que se recupere su masa original.
- b) **Humedad natural o secado al aire (SA):** Cuando el árido está secado al aire los poros del agregado pueden contener algo de humedad, se da a temperatura y humedad ambiente, el estado de saturación no está cuantificado.
- c) **Saturado superficie seca (SSS):** En una condición de saturado superficie seca, los poros del árido están llenos de humedad, pero el área superficial principal de las partículas de este está seca. Por lo general es en esta condición en la cual se utiliza el agregado como índice estándar para la dosificación del hormigón.
- d) **Saturada superficie húmeda (SSH):** Los poros del agregado se presentan totalmente llenos de agua mientras que la superficie del árido se muestra con una película de agua. Hay que tomar en consideración que al estar en esta condición el agregado transfiere agua a la mezcla de hormigón.

Gravedad específica

Las características de peso-volumen de los áridos no son un indicador importante de la calidad del árido, pero claro que son importantes en el diseño de mezclas de hormigón convencional ya que nos ayudan a calcular el volumen ocupado por los agregados en mezclas de concreto. La densidad, la masa por unidad de volumen, podrían utilizarse para estos cálculos. Sin embargo, la gravedad específica, es decir la masa de un material dividida entre la masa de un volumen igual de agua destilada, se emplea más comúnmente. Se definen cuatro tipos de gravedad específica, basándose

en cómo se consideran los huecos existentes en las partículas del árido. Tres de estos tipos (gravedad específica en estado seco, gravedad específica en estado saturado con superficie seca y gravedad específica aparente) están ampliamente aceptadas y se emplean en el diseño de mezclas de hormigón de cemento Portland, de hormigón asfáltico y de otras mezclas que son dosificadas o analizadas en base al volumen absoluto.

La gravedad específica y la absorción de los áridos gruesos se determina de acuerdo con la especificación NTE INEN 856:2010 [21]. En este procedimiento se sumerge una muestra representativa del árido durante $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, una muestra de árido previamente secada hasta conseguir una masa constante, con el objetivo de llenar completamente sus poros. Seguidamente se retira del agua, se procede a secar el agua superficial de las partículas hasta lograr la condición SSS y determinamos su masa. Luego, se coloca parte de la muestra en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico o volumétrico [22].

Masa unitaria (Peso volumétrico) y porcentaje de vacíos.

Para establecer las proporciones de las mezclas para hormigón de cemento Portland, es necesario conocer el peso unitario de los agregados. De acuerdo con el procedimiento de NTE INEN 858:2010 [23], un contenedor rígido de volumen determinado se rellena de árido en condición seca, utilizando una pala. Se procede a compactar el material mediante varillas de apisonamiento o una máquina de sacudidas, dependiendo de la condición a determinar (compactada o suelta).

El porcentaje de vacíos en un volumen de árido es el espacio entre las partículas de una masa de agregado no ocupado por el material sólido. El cálculo del porcentaje de vacíos entre las partículas del árido, basado en la masa unitaria (peso volumétrico) se incluye en el procedimiento de NTE INEN 858:2010. Los vacíos dentro de las partículas permeables o impermeables, no se consideran en los vacíos determinados en el método de ensayo.

1.1.3.4. Sustancias nocivas en los áridos

Una sustancia nociva es cualquier material que afecta negativamente a la calidad del hormigón de cemento Portland. La tabla 1 identifica las principales sustancias nocivas de los agregados, junto con sus efectos sobre el hormigón de cemento Portland.

Tabla 1. Algunas sustancias nocivas y sus efectos sobre el hormigón






Sustancia	Efecto dañino
Impurezas orgánicas	Retarda el asentamiento y el endurecimiento, puede reducir el aumento de resistencia y puede causar deterioros.
Materiales de menos de 0,075 mm Tamiz(No 200)	Debilita las uniones, puede incrementar las necesidades de agua.
Carbón, Lignita, u otros materiales de baja densidad	Reduce la durabilidad, puede provocar la aparición de ampollas o manchas.
Masas de arcilla y partículas desmenuzables	Ampollas, reduce la durabilidad y la resistencia al desgaste.
Partículas blandas	Reduce la durabilidad y la resistencia al desgaste, ampollas.

Fuente: Michael S. John P [11]

Impurezas orgánicas

En el árido fino natural en ocasiones se concentran impurezas orgánicas, las cuales menoscaban la hidratación del cemento y el desarrollo consecuente de la resistencia a la compresión del concreto. Por lo general esas impurezas se evitan por medio del despejado adecuado del depósito y un adecuado lavado del agregado, para eliminar por completo la tierra vegetal. La detección del contenido orgánico en el árido fino se lleva a cabo con facilidad por medio de la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio, que detalla la norma ASTM C-40. Algunas impurezas en el árido fino pueden dar indicación de un elevado contenido orgánico, pero en realidad no ser dañino [24].

Tabla 2. Placa orgánica de colores

Placa orgánica N ^o	Gardner N ^o	Color	Color de referencia práctico	Propiedades
1 	5	Blanco claro a transparente	Claro transparente o jugo de limón	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas
2 	8	Amarillo pálido	Jugo de piña	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad
3 	11	Marrón Anaranjado (color base)	Anaranjado	Contiene impurezas orgánicas en altas cantidades. Puede usarse en hormigones de baja resistencia.
4 	14	Anaranjado rojizo	Tamarindo	Contiene impurezas orgánicas en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad.
5 	16	Anaranjado oscuro	Rojo oscuro	Arena de muy mala calidad. Existen demasiadas impurezas orgánicas, limos o arcilla. No se usa.

Fuente ASTM C-40

Reacción álcali-agregado

Algunos áridos reaccionan con el cemento Portland dañando la estructura del hormigón. La reacción más común especialmente en ciudades húmedas y cálidas se produce entre los constituyentes activos del silicio de los áridos y los álcalis del cemento (óxido de sodio, Na_2O , y óxido de potasio, K_2O). La reacción álcali-silicio provoca una expansión excesiva, la aparición de fisuras y la formación de ampollas en el hormigón endurecido. Otros constituyentes como los carbonatos también pueden reaccionar con el álcali del cemento; sin embargo, esa reacción es menos dañina. La reacción álcali-agregado se ve afectada por la cantidad, tipo y tamaño de partícula del material reactivo, así como por el contenido de álcali soluble y de agua del hormigón [1].

La mejor forma de evaluar el potencial de la reacción álcali-agregado es revisar el historial de comportamiento del árido procedente de una mina determinada en las obras edificadas con este material. Para los áridos de los que no se disponga de un historial de comportamiento, existen pruebas de laboratorio que permiten verificar la reactividad potencial del álcali-agregado [1].

1.1.3.5. Agua para el concreto

El agua es un ingrediente fundamental en la elaboración de concreto y mortero debido a que desempeña una función importante en el estado fresco y endurecido.

Generalmente se hace referencia a su papel en cuanto a la cantidad para proveer una relación agua/cemento acorde con las necesidades de trabajabilidad y resistencia, pero es evidente que para usarla en el lavado de agregados, en la preparación de la mezcla o durante el curado del concreto, no solamente su cantidad es importante, sino también su calidad química y física [12].

Características químicas y físicas del agua de mezclado

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

Para verificar la calidad del agua, se acostumbra hacer un ensayo de relación de resistencia a la compresión con cilindros de hormigón ensayados a los 7, 28 y 90 días de edad, de manera que se considera que el agua es apta para el concreto, si la resistencia a la compresión de los cilindros hechos con el agua en cuestión no es inferior al 90 por ciento de la resistencia de los cilindros elaborados con agua destilada [25].

No es deseable introducir grandes cantidades de sedimentos en el concreto, se ha comprobado que aguas que contengan menos de 2.000 ppm (partes por millón) de sólidos disueltos, generalmente son óptimas para la elaboración de hormigón estructural. Por otra parte, aguas que contengan más de 2.000 ppm de sólidos disueltos, deben ser ensayadas para determinar sus efectos sobre la resistencia y el fraguado del hormigón; A continuación, se explica algunos de los efectos de las impurezas presentes en el agua de mezclado sobre la calidad del hormigón.

- **Carbonatos y bicarbonatos alcalinos.**

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos sobre los tiempos de fraguado en los distintos aglomerantes utilizados en el

hormigón, como es el caso del cemento. El carbonato de sodio puede causar fraguados rápidos, los bicarbonatos pueden también acelerar o retardar el fraguado. En altas concentraciones estatales pueden reducir la resistencia del concreto.

- **Cloruros y sulfatos**

El alto contenido de cloruros en el agua de mezclado puede generar corrosión en el acero de refuerzo o en los cables de tensión si se tratara de un concreto preesforzado, debido a que el ión de cloro ataca a la lámina de óxido que se forma en el acero. Los cloruros se pueden introducir al concreto dentro de cada uno de sus componentes por separado (cemento, agregados o en aditivos incorporados), o por exposición de a ciertas sales o agua de mar.

Un alto contenido de sólidos disueltos dentro del agua generalmente presenta altos contenidos de cloruro de sodio o sulfato de sodio. Concentraciones de 20.000 ppm de cloruro de sodio son generalmente tolerables en concretos que estarán secos y con bajo potencial de reacciones corrosivas durante su vida útil. Por el contrario, el agua usada en concreto pre esforzado no debe presentar concentraciones del ión cloro superiores a 500 ppm y para el caso de concretos con elementos de aluminio embebidos o galvanizados y otros concretos expuestos a humedad ambiente, el agua no debe presentar concentraciones superiores a 1000 ppm del ión cloro, finalmente, el agua de mezclado que contenga hasta 10.000 ppm sulfato de sodio puede ser usada sin problema alguno [25].

Otras sales comunes

Los carbonatos de calcio y magnesio no son muy solubles en el agua y rara vez se encuentran en concentraciones tales que puedan afectar la resistencia del hormigón. Sin embargo, concentraciones superiores a 40.000 ppm del ión bicarbonato en cualquiera de estas formas es considerado dañino.

Los sulfatos de magnesio y los cloruros de magnesio pueden estar presentes en altas concentraciones sin causar efectos dañinos en la resistencia.

- **Sales de hierro**

Las aguas naturales rara vez contienen más de 20 a 30 ppm de hierro; sin embargo, algunas aguas ácidas pueden tener grandes cantidades. Las sales de hierro en concentraciones de hasta 40.000 ppm usualmente no presentan efectos adversos en la resistencia del hormigón.

- **Sales inorgánicas**

Las sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo en el agua de mezclado pueden causar reducciones significativas en la resistencia y grandes variaciones en los tiempos de fraguado. de éstas, las sales de zinc, cobre y plomo son muy activas.

Aguas ácidas

La aceptación para el agua de mezclado ácida debe ser basada en la concentración de partes por millón (ppm) de ácidos en el agua. Ocasionalmente su aceptación se basada en el pH, el cual es una medida de concentración del ión hidrógeno.

Agua con azúcar

El azúcar en pequeñas cantidades como de 0.03% a 0.15% por peso de cemento, generalmente retarda el proceso de fraguado de la pasta de cemento; de acuerdo con el tipo de cemento, la resistencia a los 7 días de edad se puede reducir mientras que a los 28 días puede mejorar. Cuando la cantidad de azúcar se incrementa a un 0.20% por peso de cemento, el fraguado generalmente se acelera; si la cantidad es de 0.25% o más por peso de cemento puede causar un fraguado rápido y una sustancial reducción de resistencia a los 28 días de edad.

Partículas en suspensión

Cerca de 2.000 ppm de partículas de arcilla o limos suspendidos en el agua de mezclado se pueden tolerar. Cantidades superiores a estas, pueden no afectar la resistencia a la compresión, pero si influir en algunas de las propiedades de las mezclas de concreto.

Aguas negras

Un agua negra típica contiene 400 ppm de materia Orgánica. Si esta agua ha sido eficientemente tratada, su concentración se puede reducir a cerca de 20 ppm o menos, esta cantidad es tan pequeña que no tiene un efecto considerable sobre la resistencia del concreto. De otra forma, en ningún caso se recomienda emplear agua con un contenido de materia orgánica mayor.

Agua de mar

El agua de mar, que tiene una salinidad total de hasta del 3.5% (35.000 ppm), es generalmente recomendada para concreto no reforzado. Sin embargo, el concreto hecho con agua de mar produce una resistencia temprana ligeramente mayor pero una menor resistencia a largo plazo; usualmente la pérdida de la resistencia no es mayor del 15%.

En el caso del concreto estructural, el agua de mar incrementa el riesgo de corrosión del acero de refuerzo, especialmente en zonas tropicales como en la costa ecuatoriana, Por lo cual no se considera recomendable el uso de agua de mar para la elaboración de hormigón estructural.

Agua de mezclado o amasado

Se adiciona junto con los agregados y el cemento. Se necesita este último para producir una pasta con la fluidez tal que permita la lubricación adecuada de la mezcla de concreto, cuando se encuentra en estado plástico, esta pasta va estructurándose de forma diferente para producir el gel de cemento.

Dependiendo de la cantidad de agua adicionada, la fluidez de la pasta será mayor o menor, y al endurecerse una cantidad del agua quedará fija como parte de la estructura y otra permanecerá como agua libre. En la medida que el agua de mezclado aumenta, la parte fija es la misma y por consiguiente el agua libre aumenta, con lo cual se aumenta la porosidad, debido a que, con el tiempo, esta agua libre se evapora dejando unos pequeños conductos en el interior del concreto endurecido. Con este aumento se

disminuye la resistencia del concreto, de ahí la importancia del control de la cantidad de agua utilizada en la mezcla [12].

Agua de curado

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

El agua que se utiliza en la mezcla generalmente es apta para el curado, sin embargo, la causa más común de las manchas en las superficies del concreto es por la presencia de una alta concentración relativa de hierro o materias orgánicas. Así mismo, bajas concentraciones de estas impurezas pueden causar manchas si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora. No existe ningún método práctico y confiable que relacione las posibilidades de manchas con los contenidos de impurezas orgánicas o de hierro contenido en el agua [2].

En la evaluación de las impurezas que contienen las aguas de curado se deben tener las siguientes consideraciones:

- Que no manchen las superficies del concreto.
- Qué no ataquen ni deterioren el concreto.

En algunos casos, las manchas superficiales no son tan importantes, pero siempre es necesario que el agua de curado esté libre de sustancias que ataquen el concreto endurecido. Por otro lado, en el caso de concretos arquitectónicos o a la vista, resulta mucho más perjudicial emplear aguas con impurezas durante su curado que en su amasado. Es el caso del agua del mar, se puede usar para amasar concreto no reforzado, pero no se puede utilizar durante su curado.

1.1.3.6. Cemento Portland

Al hablar de cemento nos referimos a cualquier material cementicio que es capaz de unir ya sea porciones de sustancias no adhesivas por sí mismas en un todo cohesivo, o de cementar materiales no adhesivos. Al usar la palabra cemento en el uso común, se refiere al cemento portland y en tal sentido se emplea en este trabajo.

Es una combinación química de materiales arcillosos estrictamente controlada (sílice, alúmina) y materiales calcáreos (cal) con óxido de hierro y pequeñas cantidades de otros ingredientes [26]. Calcinando hasta principio de fusión la caliza y arcilla se obtiene el “Clinker”, la calcinación en el horno reestructura la composición molecular, produciendo 4 compuestos principales, que se muestran en la tabla 3. El Clinker se pulveriza agregando aproximadamente un 3% de yeso con el propósito de regular el proceso de fraguado. La mezcla de arcilla y caliza puede hacerse por vía seca o húmeda. La cocción se realiza en hornos verticales y hornos giratorios con temperatura de 1.500 °C. Cuando el Clinker está frío se muele en molinos agregando el yeso [27]. El cemento puzolánico se obtiene al agregar al cemento portland puzolanas en proporciones del 15% al 40%.

Tabla 3. Compuestos principales del cemento Portland.

Compuesto	Fórmula química	Fórmula común*	Rango usual en peso(%)
Silicato tricálcico	$3 CaO * SiO_2$	C_3S	45-60
Silicato dicálcico	$2 CaO * SiO_2$	C_2S	15-30
Aluminato tricálcico	$3 CaO * Al_2O_3$	C_3A	6-12
Aluminoferrita tetracálcica	$4 CaO * Al_2O_3 * Fe_2O_3$	C_3AF	6-8
* La industria cementera suele utilizar una notación abreviada para las fórmulas químicas: C= óxido de calcio, S= dióxido de silicio, A= óxido de aluminio y F= óxido de hierro			

Fuente: Michael S. John P [11]

Finura del cemento

La finura de las partículas de cemento es una propiedad importante que hay que controlar cuidadosamente. Dado que la hidratación comienza en la superficie de las partículas de cemento, cuanto más finas sean estas, mayor será el área específica y más

rápido se producirá la hidratación. Por consiguiente, el empleo de un material más fino tiene como resultado un desarrollo mucho más rápido de la resistencia y un calor de hidratación mayor.

Gravedad específica del cemento

Es necesaria para el cálculo de las proporciones en las mezclas de hormigón. La gravedad específica del cemento Portland sin tener en cuenta los poros existentes entre las partículas es de aproximadamente $3.15 \frac{gr}{cm^3}$, puede variar dependiendo de la empresa que lo fabrique y puede determinarse de acuerdo con NTE INEN 156:2009 [28], como se lo ha de realizar en el presente estudio. La densidad del cemento incluyendo los poros entre las partículas varían considerablemente, dependiendo de cómo se maneje y almacene el cemento. Por ejemplo, la vibración durante el transporte del cemento hace que el cemento se consolide e incremente su densidad [27].

Hidratación del cemento

La hidratación corresponde a la reacción química entre las partículas de cemento y el agua. Las magnitudes que permiten caracterizar esta reacción son el cambio en la naturaleza molecular de los materiales, el nivel de energía y la velocidad de reacción. Puesto que el cemento Portland está formado por varios compuestos, se producen simultáneamente varias reacciones [11].

El proceso de hidratación tiene lugar a través de dos mecanismos: mecanismo de solución y el topoquímico. El mecanismo de Solución se desarrolla en los siguientes pasos:

1. Disolución de los compuestos anhídridos y sus constituyentes.
2. Formación de hidratos en solución.
3. Precipitación de los hidratos a partir de la solución sobresaturada.

El mecanismo de solución domina las etapas iniciales de la hidratación. La hidratación topoquímica es una reacción química de estado sólido que se produce en la superficie de las partículas de cemento.

Tipos de cemento Portland

Las diferentes aplicaciones del hormigón requieren que se empleen cementos con distintas propiedades. Algunas aplicaciones requieren una rápida ganancia de resistencia para acelerar el proceso de construcción. Otras aplicaciones precisan un bajo calor de hidratación, para controlar los cambios volumétricos y las grietas de contracción asociadas al proceso de fraguado. En algunos casos, el hormigón está expuesto a sulfatos, que pueden deteriorarlo. Afortunadamente, estas situaciones pueden controlarse variando los materiales empleados en la producción del cemento y alterando así las relaciones de los 4 compuestos principales del cemento, expuestos en la tabla 3. La velocidad de hidratación también puede modificarse variando la finura del cemento producido en la molidora final. El cemento se clasifica en 5 tipos estándar como lo muestra la tabla 4, además de en otros tipos especiales [11].

Tabla 4. Tipos y aplicaciones del cemento portland estándar.

Tipo	Nombre	Aplicación
I	Normal	Trabajo en general con hormigón cuando no sean necesarias las propiedades de los otros tipos. Adecuado para suelos, estructuras de hormigón reforzado, pavimentos, etcétera
II	Resistencia Moderada a los sulfatos	Protección frente a una exposición moderada a los sulfatos, de 0,1-0.2% de peso de sulfatos solubles en agua en suelos o 150-1.500 ppm de sulfato en agua (aguas de mar). Puede especificarse con un calor moderado de hidratación por lo que lo hace adecuado para grandes muelles, grandes contrafuertes.
III	Alta resistencia Inicial	Utilizado para la construcción rápida cuando es necesario retirar los encofrados lo más pronto posible, o cuánto se debe poner en servicio la estructura en poco tiempo. En ambientes fríos reduce el tiempo requerido de curado controlado.
IV	Bajo calor de hidratación	Se utiliza cuando la masa de la estructura, como en el caso de las presas de gran tamaño, requiera un control cuidadoso del calor de hidratación.
V	Alta resistencia a los sulfatos	Protección frente a una exposición severa a sulfatos, de entre 0,2-2.0% de peso de sulfatos solubles en agua para suelos, o de 1,500-10,800 ppm de sulfatos en agua

Fuente: Michael S. John P [11]

1.1.3.7. Diseño de mezclas de concreto

La mezcla de concreto que conviene utilizar en cada ocasión debe ser la apropiada para satisfacer los requerimientos específicos del caso, pero sin descuidar la conciliación del aspecto técnico con el económico, es decir, la mezcla más conveniente debe ser la que permita cumplir con el objetivo de su utilización al menor costo [16].

En el aspecto económico un factor muy importante relacionado con la composición del concreto tiene que ver con el costo por concepto de su contenido de cemento. Como se sabe, entre los componentes que son usuales en la elaboración de concreto convencional, el cemento es el de precio unitario más alto, de este modo, aunque en este tipo de concreto el cemento sólo constituye alrededor del 10% del volumen total, puede llegar a representar más de 70 por ciento de su costo por concepto de ingredientes. Debido a ello suele resultar económicamente ventajoso tratar de reducir el consumo unitario de cemento, pero sin sacrificar ninguna de las características y propiedades esenciales.

En el aspecto técnico, los requerimientos que se deben satisfacer al diseñar las mezclas se refieren tanto al comportamiento que se demanda del concreto en su estado fresco como a las propiedades que se le exigen en estado endurecido. En lo relativo al estado fresco el atributo más frecuente requerido en las mezclas es la trabajabilidad, que engloba 5 características:

- Homogeneidad y uniformidad
- Consistencia (cohesión y viscosidad)
- Estabilidad (oposición a la segregación y sangrado)
- Aptitud para la compactación
- Disposición para el acabado (condiciones de textura)

Métodos de diseño

Los métodos de dosificación de mezclas tienen como objetivo principal encontrar una mezcla que, utilizando la menor cantidad de pasta (relación agua-cemento), reúna las condiciones de trabajabilidad adecuadas en estado fresco y de resistencia, durabilidad e impermeabilidad de la masa endurecida. Toda dosificación mal establecida lleva a

consecuencias negativas como por ejemplo incremento en los costos, mayor cantidad de agua de exudación y por consiguiente superficies débiles, mayor cantidad de vacíos en el hormigón los cuales producirán mayor vulnerabilidad a la humedad y al ataque de agentes agresivos [14].

Método de la densidad óptima (densidad máxima) o de laboratorio

EL método se fundamenta en la consideración general de crear una roca artificial, mediante el relleno de espacios vacíos que simultáneamente dejan los agregados, para ser llenados con pasta de cemento y agua, bajo las siguientes consideraciones [13] :

- Un volumen aparente de agregado grueso contiene un cierto porcentaje de vacíos entre partículas, que debe ser llenado por el agregado fino.
- Una mezcla de agregado fino y grueso correspondiente a su densidad óptima, dejan porcentaje de vacíos que deben ser llenados por la pasta de cemento y agua. Pero esta pasta no sólo debe ocupar los vacíos que deja la mezcla de agregados, sino que deberá cubrir todas y cada una de las partículas constituyendo el enlace o punto de unión entre partículas.

1.1.4. Hipótesis

El módulo de elasticidad estático del hormigón obtenido mediante la norma ASTM C469, así como de acuerdo con la ecuación empírica propuesta por ACI 318, podrá variar en un rango de $\pm 20\%$, al emplear los agregados de las minas: La Playa, ubicada en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi y Salvador, ubicada en el cantón Ambato provincia de Tungurahua.

1.2. Objetivos

1.2.1. General:

Determinar el módulo de elasticidad estático del hormigón estructural elaborado con agregados de las minas “La Playa”, “Salvador” y cemento Portland para el cantón Ambato provincia de Tungurahua.

1.2.2. Específicos:

- Determinar las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los agregados de las minas: “La Playa”, “Salvador” requeridas para la dosificación del hormigón.
- Diseñar las mezclas de hormigón para resistencias a la compresión a los 28 días de: 21 y 28 Mpa, aplicando el método de la densidad máxima.
- Proponer una constante para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, para el cantón Ambato, que reemplace los valores dados en la normativa ACI 318-14 y NEC-SE-HM 2015 correlacionados con la raíz cuadrada de la resistencia especificada a la compresión del hormigón y su peso unitario.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Nivel o tipo de Investigación

Se consideran cuatro niveles que caracterizan y por medio de los cuales se desarrolla la investigación científica, siendo estos: estudios preliminares o exploratorios, descriptivos, explicativos o causales y experimentales [29].

Nivel preliminar o exploratorio: Se pretende determinar una constante para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón que sea aplicable para el cantón Ambato, provincia de Tungurahua, mediante el empleo de los agregados fino y grueso de dos de las canteras que aportan material en gran cantidad para las obras de la ciudad, y ver en qué porcentaje el módulo de elasticidad estático obtenido con la norma ASTM C469 variará, respecto a las fórmulas propuestas por ACI 318-14, para ello se tomarán muestras de las minas Salvador y La playa.

Nivel descriptivo: Aquí se espera determinar las propiedades de los agregados en estudio.

Nivel explicativo: Se detalla cómo la calidad de los agregados en estudio afectará al módulo de elasticidad estático del hormigón obtenido con la norma ASTM C469.

Nivel experimental: Se plantea una nueva constante para determinar el módulo de elasticidad estático del hormigón, a partir de la correlación entre los agregados utilizados, el peso unitario y la resistencia a la compresión del hormigón, que sustituya los valores propuestos en las normativas ACI 318-14 para su aplicación en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Para las dosificaciones de prueba se elaborarán seis probetas por cada mina (3 por cada resistencia), obteniéndose un número de 12 cilindros a ensayarse a compresión a la edad de 7 y 14 días; en caso de no cumplir las resistencias establecidas se harán las modificaciones apropiadas y se repetirá el proceso de ensayo.

2.2.2. Muestra

El número total de muestras para la fase final se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Número de probetas a ser elaboradas en fase final

Mina	f _c (Kg/cm ²)	Número de probetas a ensayar por edad				Probetas para determinar el MEE	Total
		7 días	14 días	21 días	28 días		
Salvador	210	3	3	3	3	9	21
	280	3	3	3	3	9	21
La Playa	210	3	3	3	3	9	21
	280	3	3	3	3	9	21
Total		12	12	12	12	36	84

Realizado por: Oscar Andachi

2.3. Materiales y Equipos

En el desarrollo del presente trabajo experimental y con el fin de determinar propiedades y características de los agregados y el cemento a través de los distintos ensayos basados en las recomendaciones expuestas por las normas INEN y ASTM, se emplearon los siguientes equipos y materiales.

2.3.1. Materiales

- Gasolina
- Agua potable
- Cemento hidráulico tipo GU en sacos de 50 Kg.
- Solución normalizada de hidróxido de sodio al 3%
- Agregados fino y grueso de las minas: SALVADOR y LA PLAYA.

2.3.2. Equipos

- Báscula de 30 Kg de capacidad, con precisión de 1g.
- Báscula de 6000g de capacidad, con precisión de 1g.
- Báscula análoga de 100Kg de capacidad.
- Báscula manual
- Tamizadora
- Concretera eléctrica de medio saco.
- Máquina de los ángeles
- Horno
- Probetas graduadas
- Compresómetro
- Pala de mano y cuadrada
- Palustre
- Cepillo de acero
- Brocha
- Martillo de goma
- Flexómetro
- Varilla de compactación punta redondeada
- Cono de Abrams
- Moldes cilíndricos
- Comparador de colores ASTM C 40
- Juego de tamices cuadrados (2", 1½", 1", ¾", ⅜", ½", #4)
- Juego de tamices redondos (#4, #8, #12, #16, #30, #50, #100, y #200 más fuente, tapa)
- Termómetro

- Molde metálico de 22Lt de capacidad.
- Picnómetro
- Pipeta
- Cámara fotográfica y computadora.
- Canastilla metálica
- Pesas metálicas
- Recipientes metálicos
- Recipientes plásticos
- Cámara de curado
- Carretilla
- Bandeja metálica
- Molde metálico en forma de cono truncado
- Compactador metálico de cara circular y plana
- Recipiente cilíndrico de metal
- Embudo

2.4. Métodos

Plan de recolección de datos

Al principio se obtienen las fuentes bibliográficas, así como la revisión de las diversas normativas aplicadas, recopilando información necesaria para comenzar las actividades que se dividirán en tres fases: toma de muestras, ensayos de caracterización y elaboración de cilindros.

Toma de muestras

1. Recolección de muestras de los áridos de 2 minas, norma NTE INEN 695
2. Transporte a un centro de acopio.
3. Reducción a tamaño de ensayo, norma NTE INEN 2566
4. Medición y etiquetado
5. Traslado a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la UTA

Ensayos de caracterización y obtención de datos para el diseño de mezclas de hormigón.

6. Determinación de la densidad del cemento hidráulico, NTE INEN 156
7. Secado de los agregados fino y grueso
8. Determinación del material más fino que pasa el tamiz #200, NTE INEN 697
9. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón, INEN 855
10. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso, norma NTE INEN 696
11. Determinación de la densidad relativa y absorción del árido fino, NTE INEN 856
12. Determinación de la densidad relativa y absorción del árido grueso, INEN 857
13. Determinación de la masa unitaria para condiciones suelta y compactada, NTE INEN 858
14. Ensayo de abrasión con la máquina de los ángeles, NTE INEN 860, 861
15. Diseño de mezclas para resistencias a la compresión del hormigón de 210 y 280 Kg/cm², con el método de la densidad máxima.

Elaboración de probetas cilíndricas

Las probetas de hormigón se elaboraron en 2 etapas: Probetas para pruebas iniciales y para pruebas finales.

16. Elaboración de cilindros de prueba NTE INEN 3124.

Las siguientes actividades se realizaron a la par con la elaboración de cilindros

- Toma de muestras de hormigón fresco, NTE INEN 1763
- Ensayo del hormigón en estado fresco, asentamiento, NTE INEN 1578
- Determinación del rendimiento, densidad y contenido de aire, NTE INEN 1579
- Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, NTE INEN 1573

17. Elaboración y curado de probetas finales, NTE INEN 3124
 - Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, a edades de 7,14,21 y 28 días, NTE 1573
18. Determinación de MEE con la aplicación de la norma ASTM C469
19. Propuesta de una constante para el MEE correlacionada con la raíz cuadrada de la resistencia especificada a la compresión del hormigón y el peso unitario

2.5. Plan de Procesamiento y Análisis de la Información

Toma de muestras

Para la etapa inicial se procederá a dar una denominación al material procedente de cada mina; asignando los códigos SA y LP para las minas Salvador y La Playa respectivamente.

Ensayos de caracterización y obtención de datos para el diseño de mezclas de hormigón

En cuanto a la segunda etapa se procederá a elaborar un inventario y registro sistematizado para cada uno de los ensayos respaldado por hojas de cálculo que permitan controlar parámetros estadísticos como rangos permisibles, desviación estándar y coeficiente de desviación, señalados en las diferentes normas.

Además, se realizarán tablas de control con las diferentes propiedades de los agregados de cada mina con el objetivo de que su revisión sea más eficaz, para obtener todos los datos necesarios para las distintas dosificaciones.

Se procederá a realizar la curva edad vs resistencia del hormigón y tabulación de datos obtenidos para determinar el MEE, para garantizar de esta forma la propuesta de una constante que correlacione la raíz cuadrada de la resistencia especificada a la compresión del hormigón y su peso unitario.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento.

Tabla 6. Resultados densidad real del cemento

Parámetros de Control		
Parámetro	Valor	Precisión 1 Op INEN 156
Rango	0.009	<0.03
Desviación estándar	0.007	<0.012
Coeficiente de variación(%)	0.002	<1%
Resultado(gr/cm³)	2.974	

Realizado por: Oscar Andachi

3.1.2. Ensayos en los agregados.

De los ensayos propuestos en la norma NTE INEN 872 para la caracterización de los agregados, se realizaron los siguientes:

Tabla 7. Ensayos realizados en los agregados para su caracterización

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

Fuente: NTE INEN 872 [18]

3.1.2.1. Toma y reducción de muestras

Las muestras para los ensayos han sido tomadas por la parte responsable del desarrollo de este estudio experimental, tanto para la mina Salvador como para la mina La Playa fueron tomadas del producto terminado tal como lo indica la norma NTE INEN 695, de igual manera se realizó una inspección visual previa del material, para determinar la existencia de posibles variaciones considerables.

En el caso de la mina Salvador la toma de muestras se la realizó de contenedores, se obtuvieron tres porciones iguales, seleccionadas al azar de la unidad a ser muestreada y se las combinaron para formar una sola muestra in situ, cuya masa resultó superior al mínimo recomendado por la norma.

En el caso de la mina La Playa la toma de muestras se la realizó desde la cinta transportadora, de igual forma se obtuvieron tres porciones similares, seleccionadas al azar de la unidad a ser muestreada y se las combinaron para formar una sola muestra in situ, cuya masa resultó superior al mínimo recomendado por la norma.

En cuanto a la reducción de muestras a tamaño de ensayo, se utilizó el método B (cuarteo) sobre una superficie firme, limpia y nivelada, de acuerdo con lo expuesto en la norma NTE INEN 2566, para el árido fino y grueso respectivamente.

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

Mina La Playa

Tabla 8. Material más fino que pasa el tamiz No. 200 “Mina La Playa”

Parámetros de control		
Parámetro	Mina	Precisión 1 Op INEN 697
	La Playa	
Rango	0.28	<0.43
Desviación estándar	0.23	<0.15
Coefficiente de variación(%)	6.06	--
Resultado(%)	3.83	<7%

Realizado por: Oscar Andachi

Cantera Salvador

Tabla 9. Material más fino que pasa el tamiz No. 200 “Cantera Salvador”

Parámetros de control		
Parámetro	Mina	Precisión 1 Op INEN 697
	Salvador	
Rango	0.16	<0.43
Desviación estándar	0.08	<0.15
Coefficiente de variación(%)	2.82	--
Resultado(%)	2.87	<3%

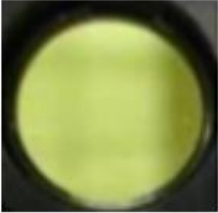
Realizado por: Oscar Andachi

Comentario

El límite permisible de contenido de material más fino que el tamiz No 200 en el caso de la mina “La Playa” se puede incrementar hasta el 7% como lo indica la norma NTE INEN 872 [18], ya que se trata de polvo de trituración, mientras para Cantera Salvador el porcentaje permisible se mantiene en 3% como indica la norma NTE INEN 697, 872 [30] [18].

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

Tabla 10. Resultados del ensayo “Impurezas orgánicas en el árido fino”

Parámetro	Mina	
	La Playa	Salvador
Color de la muestra, placa orgánica		
Referencial	Color transparente	Color transparente
No comparador	Jugo de limón	Jugo de limón
Color escala Gardner	1	1
Contenido aceptable	Si	Si
Propiedad ASTM C40	Arena de muy buena calidad, no contiene materiales orgánicos, limos o arcillas.	Arena de muy buena calidad, no contiene materiales orgánicos, limos o arcillas.

Realizado por: Oscar Andachi

3.1.2.4. Análisis granulométrico en los agregados.

Análisis granulométrico en el agregado fino.

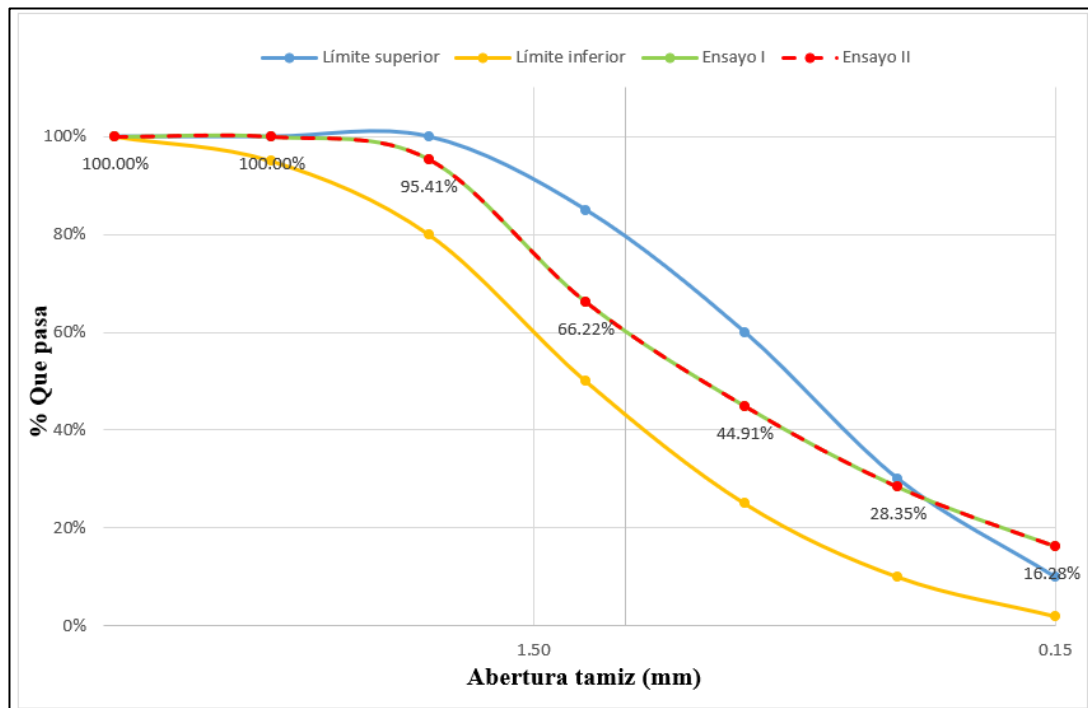
Mina La Playa

Tabla 11. Análisis granulométrico del agregado fino para “Mina La Playa”

TAMIZ	Abertura(mm) NTE INEN	% Que pasa		Límites NTE INEN 782	
		Ensayo I	Ensayo II	L. inferior	L. superior
3/8 "	9.50	100	100	100	100
No. 4	4.75	100	100	95	100
No. 8	2.36	95.41	95.35	80	100
No. 16	1.18	66.22	65.86	50	85
No. 30	0.60	44.91	44.88	25	60
No. 50	0.30	28.35	28.51	5	30
No. 100	0.15	16.28	16.33	0	10
Módulo de finura				2.50	2.50
Módulo de finura promedio				2.50	

Realizado por: Oscar Andachi

Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino “Mina La Playa”



Realizado por: Oscar Andachi

Comentario

El agregado fino (polvo de piedra) ensayado en el laboratorio de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma NTE INEN 696, muestra una distribución de tamaños adecuada y uniforme en todos los rangos de la curva, sin embargo no cumple con las especificaciones de gradación de la norma NTE INEN 872 al 100%, ya que sobrepasa del límite superior en cierto intervalo de la curva, esto debido a que en el tamiz #100 (150 μ m) el límite de la norma indica un rango de entre el 5% al 10%.

Las cantidades que pasan las mallas #100 y #50 afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto, cantidades superiores a las indicadas por los límites suponen una mejor trabajabilidad y una textura superficial tersa en concreto de acabados a mano, mientras que por otro lado cantidades inferiores resultan en un ligero aumento de la trabajabilidad.

Módulo de finura: El análisis granulométrico del agregado fino se complementa calculando el valor del módulo de finura, el análisis del agregado fino (polvo de piedra) indica que su módulo de finura es de 2.5, valor adecuado para la fabricación de concreto estructural como lo indica NTE INEN 872.

Análisis

Se trata de una arena de finura media con características adecuadas para la elaboración de hormigón estructural [31], en donde las cantidades de pasta no serán altas, la trabajabilidad será buena, la segregación será reducida y facilitará texturas superficiales tersas.

Al tener una distribución de tamaños adecuada y continua permite la máxima capacidad del concreto en estado fresco y una mayor densidad en estado endurecido, por ende, tendrá una mayor resistencia.

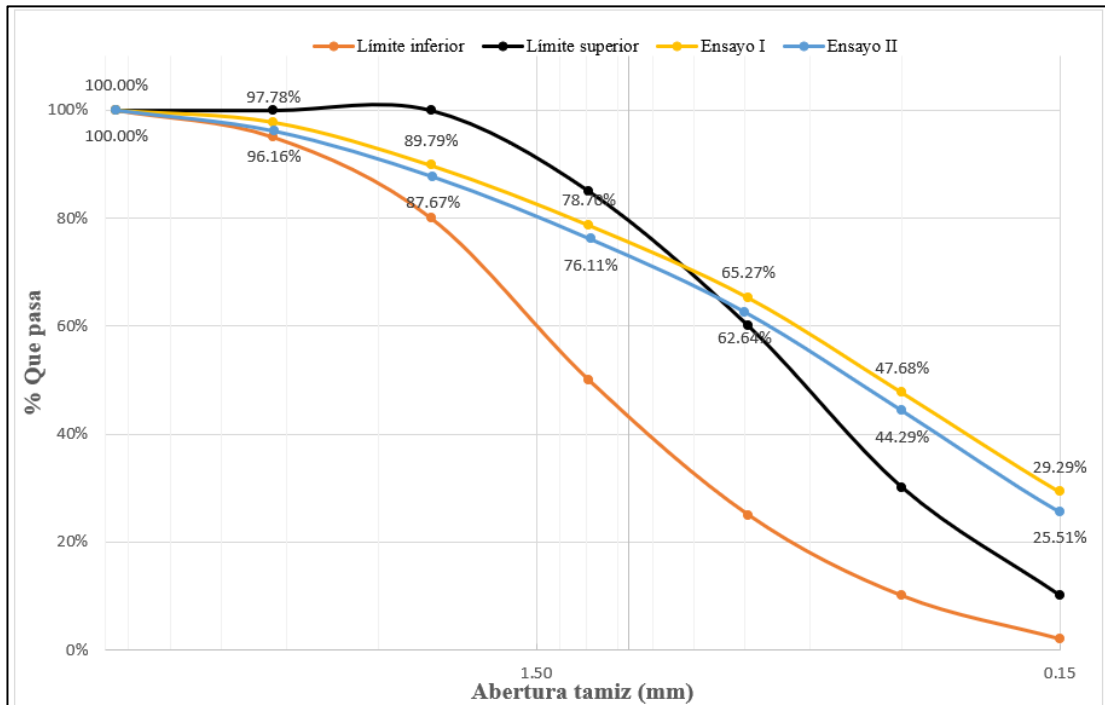
Cantera Salvador

Tabla 12. Análisis granulométrico del agregado fino “Cantera Salvador”

TAMIZ	Abertura(mm) NTE INEN 154	% Que pasa		Límites NTE INEN 782	
		Ensayo I	Ensayo II	L. inferior	L. superior
3/8 "	9.50	100	100	100	100
No. 4	4.75	97.78	96.16	95	100
No. 8	2.36	89.79	87.67	80	100
No. 16	1.18	78.70	76.11	50	85
No. 30	0.60	65.27	62.64	25	60
No. 50	0.30	47.68	44.29	5	30
No. 100	0.15	29.29	22.51	0	10
Módulo de finura				1.91	2.08
Módulo de finura promedio				2.00	

Realizado por: Oscar Andachi

Figura 7. Curva granulométrica del agregado fino “Cantera Salvador”



Realizado por: Oscar Andachi

Comentario

Los resultados mostrados en la tabla 12 y en la figura 7, indican que la arena no cumple con las especificaciones de gradación de la norma NTE INEN 872, esto debido a que a partir del tamiz #30 en adelante los porcentajes que pasan están por encima del límite superior establecido.

El valor del módulo de finura promedio obtenido es de 2.0 el cual se ubica fuera del rango especificado por la norma INEN 872 (de entre 2.3 a 3.1).

Análisis

Se trata de una arena fina de características aceptables para la elaboración de hormigón estructural, pero esto traduce en un mayor consumo de arena provocando entonces el aumento de la superficie específica [32] y por ende el aumento de pasta de cemento, repercute adversamente en los cambios volumétricos [31], la trabajabilidad será buena, la segregación será reducida y facilitará texturas superficiales tersas.

Análisis granulométrico del agregado grueso

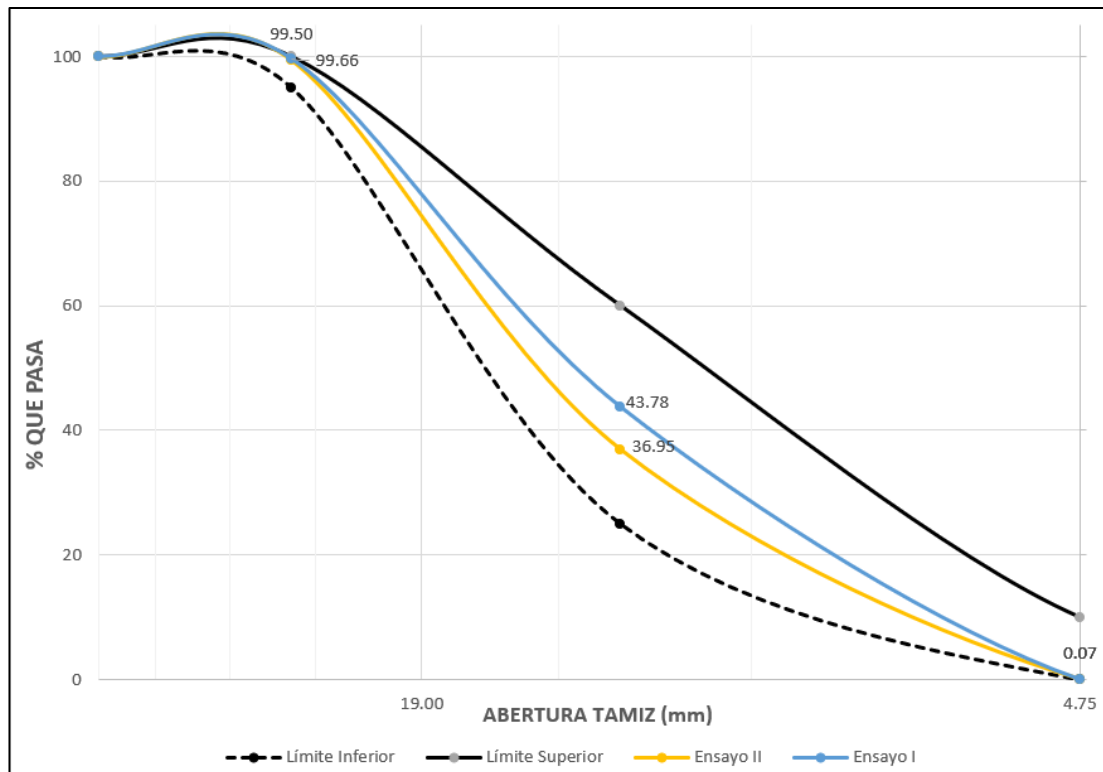
Mina La Playa

Tabla 13. Análisis granulométrico del agregado grueso para “Mina La Playa”

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Límites ASTM 782		Porcentaje que pasa(%)	
		Límite inferior(%)	Límite superior(%)	Ensayo I	Ensayo II
1 1/2"	37.50	100	100	100	100
1"	25.00	95	100	99.66	99.50
1/2"	12.50	25	60	43.78	36.95
No. 4	4.75	0	10	0.07	0.07
No. 8	2.36	0	5	0.03	0.03
Fuente				0.00	0.00
Tamaño Nominal máximo:				3/4"	

Realizado por: Oscar Andachi

Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso “Mina La Playa”



Realizado por: Oscar Andachi

Comentario

La curva granulométrica, así como la tabla de resultados muestran que el agregado cumple con los requisitos de NTE INEN 872, la curva se desarrolla en su totalidad dentro de los límites establecidos, así también, se nota una ligera tendencia hacia el límite inferior. Lo ideal en todo material es que se presente una adecuada cantidad de partículas de agregado en todos sus intervalos, esto permite la máxima capacidad del concreto en estado fresco y una mayor densidad en estado endurecido, y por ende una mayor resistencia.

El tamaño nominal máximo del agregado es de 3/4”

Análisis

Se puede decir que estamos frente a un agregado grueso bien graduado y que cumple con las especificaciones establecidas por la norma NTE INEN 872, esto indica que se ha de tener una buena distribución de partículas de agregado dentro del hormigón, lo que resulta beneficioso cuando se necesita alcanzar resistencias a la compresión altas.

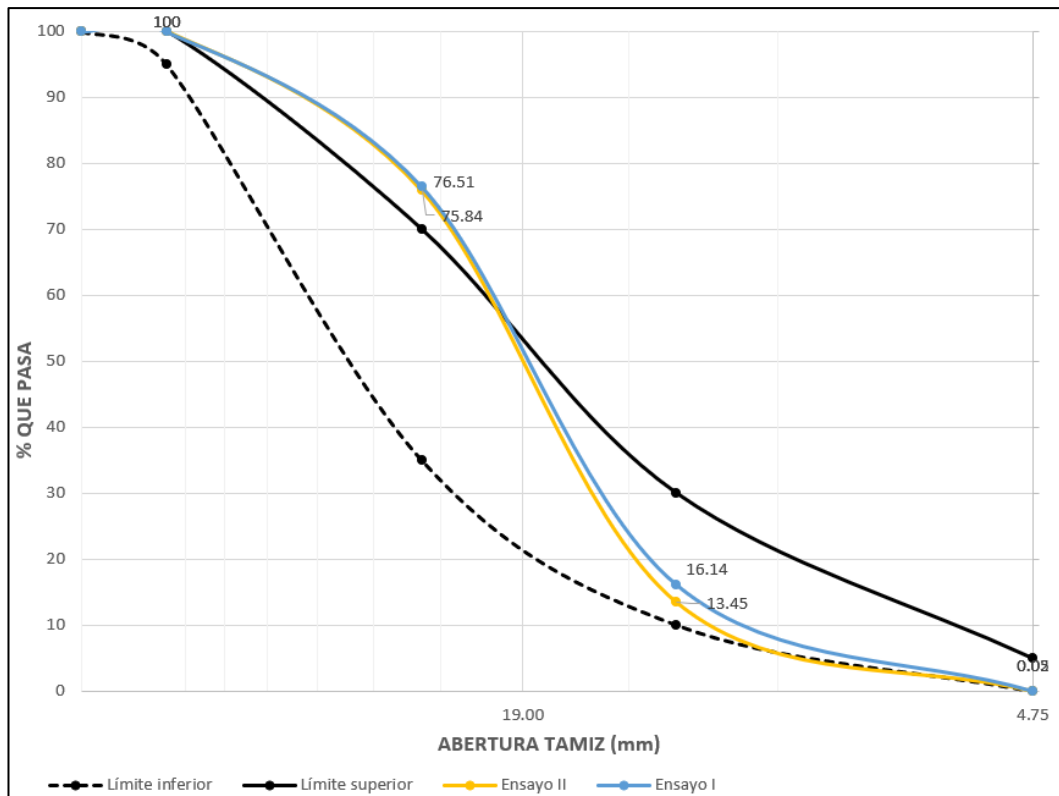
Cantera Salvador

Tabla 14. Análisis granulométrico del agregado grueso “Cantera Salvador”

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Límites ASTM 782		Porcentaje que pasa(%)	
		Límite inferior(%)	Límite superior(%)	Ensayo I	Ensayo II
2 1/2"	63.00	100	100	100	100
2"	50.00	95	100	100	100
1"	25.00	35	70	76.51	75.84
1/2"	12.50	10	30	16.14	13.45
No. 4	4.75	0	5	0.05	0.02
Fuente				0.00	0.00
Tamaño Nominal máximo:				1 1/2"	

Realizado por: Oscar Andachi

Figura 9. Curva granulométrica del agregado grueso “Cantera Salvador”



Realizado por: Oscar Andachi

Comentario

La curva granulométrica, así como la tabla de resultados muestran que el agregado no cumple con los requisitos de NTE INEN 872, la curva supera el límite superior en el porcentaje correspondiente al tamiz de 1" para posterior volver a ubicarse dentro de los límites establecidos.

Siempre se busca que en las mezclas de concreto convencional de consistencia plástica la curva granulométrica sea moderadamente continua, es decir, que, aunque dicha curva exhiba desviaciones, no se manifieste ausencia total de partículas en ningún intervalo [16]. Esto se justifica porque para obtener mezclas de concreto que sean manejables y al mismo tiempo no segreguen con facilidad, es necesario que exista continuidad en los diferentes tamaños de partículas de agregado en todo su intervalo dimensional.

El tamaño nominal máximo es de 1 ½".

Análisis

Se puede decir que estamos frente a un agregado que no cumple con las especificaciones establecidas por la norma NTE INEN 872 al 100%, la misma menciona que los agregados que no cumplan con las especificaciones dadas podrán ser utilizadas siempre y cuando se demuestre una evidencia aceptable de un comportamiento satisfactorio.

En el presente trabajo experimental y en función de la resistencia a la compresión obtenida, de acuerdo con la dosificación calculada, se podrá interpretar si los agregados analizados podrán ser usados en la elaboración de hormigón estructural.

3.1.2.5. Determinación de la densidad relativa (Gravedad específica).

Agregado fino

Tabla 15. Densidad relativa (SSS) del agregado fino.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	La Playa	Salvador	
Rango	0.01	0.01	<0.027
Desviación estándar	0.0092	0.0095	<0.0095
Coefficiente de variación(%)	0.36	0.37	-
Resultado(gr/cm³)	2.593	2.569	-

Realizado por: Oscar Andachi

Agregado grueso

Tabla 16. Densidad relativa (SSS) del agregado grueso

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 857
	La Playa	Salvador	
Rango	0.005	0.007	<0.02
Desviación estándar	0.003	0.005	<0.007
Coefficiente de variación(%)	0.13	0.21	-
Resultado(gr/cm³)	2.606	2.505	-

Realizado por: Oscar Andachi

Comentario

Los resultados obtenidos a través de los ensayos de laboratorio tanto para agregado grueso como para agregado fino en estado saturado superficie seca (SSS) cumplen las especificaciones de la norma NTE INEN 856, 857 y se consideran agregados de densidad normal.

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

Agregado fino

Tabla 17. Capacidad de absorción del agregado fino

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	La Playa	Salvador	
Rango	0.10	0.18	<0.31
Desviación estándar	0.05	0.08	<0.11
Coefficiente de variación(%)	2.41	4.15	-
Resultado(%)	2.00	1.82	-

Realizado por: Oscar Andachi

Comentario

Los valores de absorción presentados se encuentran dentro del rango permisible del 0.2% al 2% para ser considerados áridos de buena calidad.

Agregado grueso

Tabla 18. Capacidad de absorción del agregado grueso

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 857
	La Playa	Salvador	
Rango	0.16	0.02	<0.31
Desviación estándar	0.11	0.01	<0.11
Coefficiente de variación(%)	6.32	0.56	-
Resultado(%)	1.81	2.18	-

Realizado por: Oscar Andachi

Comentario

Los valores de absorción presentados se encuentran dentro del rango permisible del 0.2% al 4%, por lo tanto, son considerados áridos de buena calidad.

3.1.2.7. Determinación de la densidad aparente de los agregados.

Condición: suelta y compactada.

Árido fino

Tabla 19. Densidad aparente en el árido fino.

Parámetro	Suelta		Compactada		Precisión 1 Op INEN 858
	La Playa	Salvador	La Playa	Salvador	
Rango	0.036	0.002	0.005	0.005	<0.04
Desviación estándar	0.026	0.002	0.003	0.003	<0.014
Coefficiente de variación	1.72	0.11	0.20	0.20	<1%
Resultado(gr/cm3)	1.495	1.546	1.705	1.700	-

Realizado por: Oscar Andachi

Árido grueso

Tabla 20. Densidad aparente en el árido grueso.

Parámetro	Suelta		Compactada		Precisión 1 Op INEN 858
	La Playa	Salvador	La Playa	Salvador	
Rango	0.002	0.007	0.002	0.002	<0.04
Desviación estándar	0.002	0.005	0.002	0.002	<0.014
Coefficiente de variación(%)	0.13	0.39	0.12	0.12	<1%
Resultado(gr/cm3)	1.333	1.331	1.466	1.466	-

Realizado por: Oscar Andachi

Comentario:

Los agregados poseen una densidad normal cuando su masa unitaria se ubica en el rango de entre 1.120 gr/cm³ y 1.920 gr/cm³;

Análisis

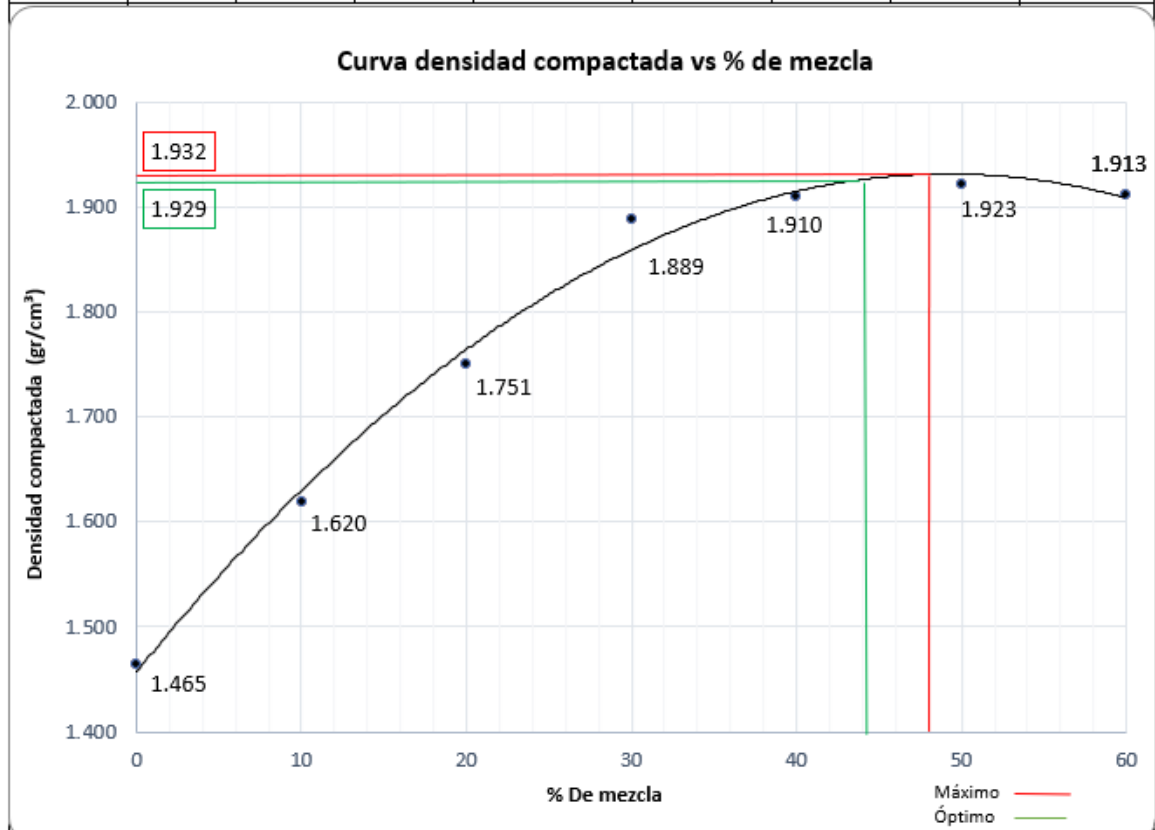
Por lo tanto, los datos obtenidos en los ensayos realizados en laboratorio se consideran adecuados ya que todos los valores ingresan en el rango establecido.

Condición: Mezcla de agregado grueso + fino.

Mina La Playa

Tabla 21. Densidad aparente compactada de la mezcla “Mina La Playa”

% Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(gr)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm ³)	DA promedio (gr/cm ³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	40100	30200	1.462	1.465
					40200	30300	1.467	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43400	33500	1.622	1.620
					43300	33400	1.617	
80	20	40000	10000	5555.56	46000	36100	1.748	1.751
					46100	36200	1.753	
70	30	40000	17142.86	7142.86	48800	38900	1.884	1.889
					49000	39100	1.893	
60	40	40000	26666.67	9523.81	49300	39400	1.908	1.910
					49400	39500	1.913	
50	50	40000	40000	13333.33	49700	39800	1.927	1.923
					49500	39600	1.918	
40	60	40000	60000	20000	49500	39600	1.918	1.913
					49300	39400	1.908	



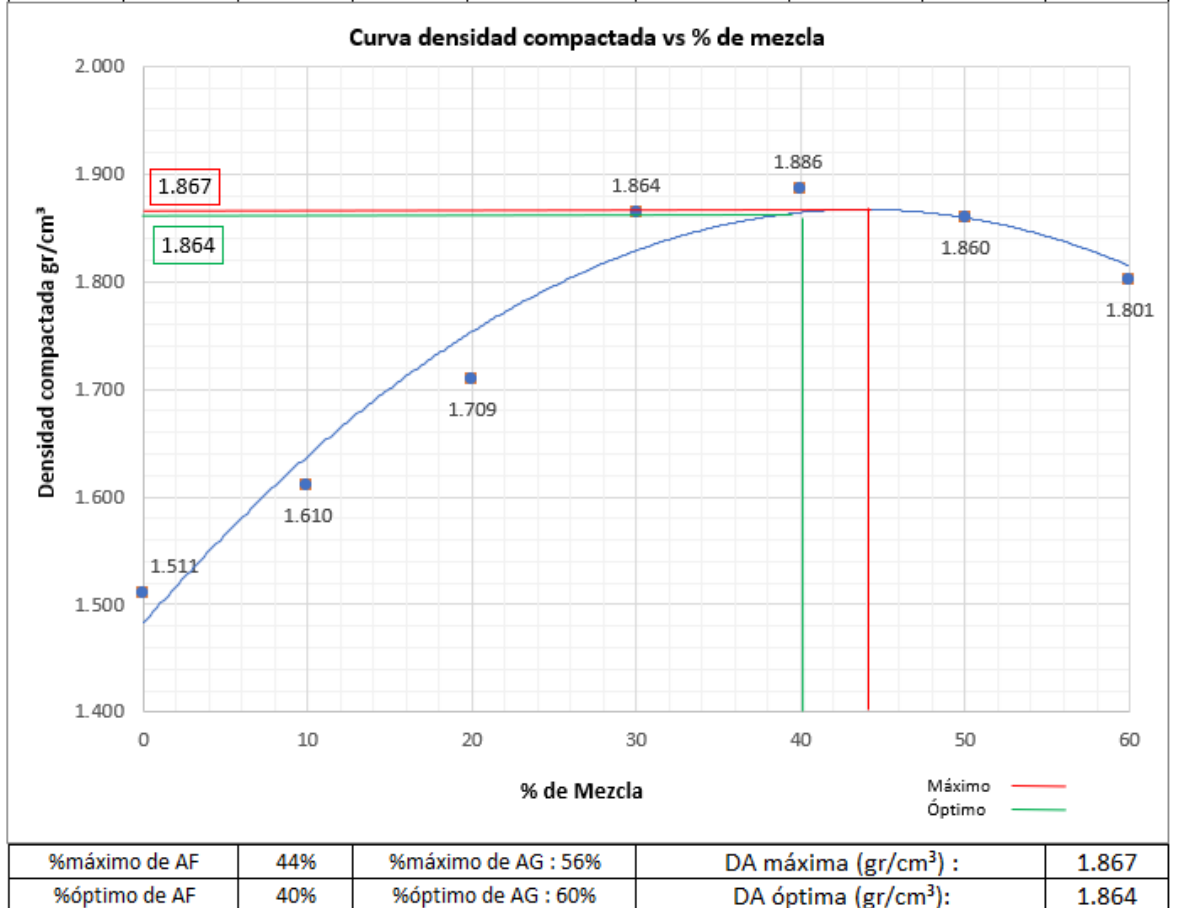
%máximo de AF	48%	%máximo de AG : 52%	DA máxima (gr/cm ³) :	1.932
%óptimo de AF	44%	%óptimo de AG : 56%	DA óptima (gr/cm ³):	1.929

Realizado por: Oscar Andachi

Cantera Salvador

Tabla 22. Densidad aparente compactada de la mezcla “Cantera Salvador”

% Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(Kg)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm ³)	DA promedio (gr/cm ³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41000	31100	1.506	1.511
					41200	31300	1.516	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43100	33200	1.608	1.610
					43200	33300	1.613	
80	20	40000	10000	5555.56	45200	35300	1.709	1.709
					45200	35300	1.709	
70	30	40000	17142.86	7142.86	48300	38400	1.860	1.864
					48500	38600	1.869	
60	40	40000	26666.67	9523.81	48800	38900	1.884	1.886
					48900	39000	1.889	
50	50	40000	40000	13333.33	48300	38400	1.860	1.860
					48300	38400	1.860	
40	60	40000	60000	20000	47000	37100	1.797	1.801
					47200	37300	1.806	



Realizado por: Oscar Andachi

3.1.2.8. Resistencia al desgaste en el agregado grueso

Determinación del valor de degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles.

Tabla 23. Porcentaje de desgaste del árido grueso “Mina La Playa”

Parámetro	Mina La Playa	Precisión 1 Operador INEN 860
Rango	0.036	<0.045
Desviación estándar	0.025	---
Coefficiente de variación	0.12%	<2%
Porcentaje de desgaste	20.65%	≤50% ASTM C131

Realizado por: Oscar Andachi

Determinación del valor de degradación del árido grueso de partículas mayores a 19mm, mediante el uso de la Máquina de los Ángeles.

Tabla 24. Porcentaje de desgaste del árido grueso “Cantera Salvador”

Parámetro	Cantera Salvador	Precisión 1 Operador INEN 861
Rango	0.026	---
Desviación estándar	0.018	---
Coefficiente de variación	0.05%	---
Porcentaje de desgaste	38.24%	≤50% ASTM C131

Realizado por: Oscar Andachi

Comentario

Los porcentajes mostrados en las tablas 23 y 24, reflejan que los agregados son adecuados para el diseño de mezclas de concreto ya que el porcentaje de desgaste en ambos casos es menor al 50% que establece la norma ASTM C131.

Análisis

Para la mina “La Playa” cuyo agregado grueso es producto de un proceso de triturado de $\frac{3}{4}$, el porcentaje de desgaste es 20.65%; mientras que para “Cantera Salvador” cuyo agregado proviene tan solo de un proceso de zarandeado, su porcentaje de desgaste equivale a 38.24%.

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

3.1.3.1. Antecedentes

Las tablas 25 y 26 muestran las condiciones bajo las cuales se diseñarán las mezclas por el método de la densidad máxima.

Nota: El valor de la densidad real del cemento obtenida fue 2.974 gr/ cm³

3.1.3.2. Ensayos de caracterización de los agregados

Agregado fino: La mayoría de los valores presentados a continuación se ajustan a los límites establecidos por las distintas normas.

Tabla 25. Resumen de las propiedades en el árido fino

Propiedad	Mina		
	La Playa	Salvador	
Material más fino que pasa tamiz#200	2.63%	2.35%	
Módulo de finura	2.5	2.0	
Cumple granulometría	No	No	
Densidad SSS (gr/cm ³)	2.594	2.568	
Porcentaje de absorción	2.00	1.82	
Densidad aparente (gr/cm ³)	Suelta	1.548	1.546
	Compactada	1.705	1.700

Realizado por: Oscar Andachi

Agregado grueso: El material de ambas minas se encuentran dentro de los límites a excepción de la granulometría.

Tabla 26. Resumen de las propiedades en el árido grueso.

Propiedad		Mina	
		La Playa	Salvador
Análisis Granulométrico	TM	1"	2"
	TNM	3/4	1 ½"
	Cumple lím INEN 872	Si	No
Densidad(SSS) (gr/cm ³)		2.606	2.505
Porcentaje de absorción (%)		1.81	2.18
Densidades aparentes	Suelta(gr/cm ³)	1.333	1.331
	Compactada(gr/cm ³)	1.466	1.466
Porcentaje de desgaste		20.65%	38.24%

Realizado por: Oscar Andachi

La tabla 27 muestra los valores de los porcentajes óptimos de los agregados y peso unitario máximo y óptimo de la mezcla, para la elaboración de mezclas de prueba.

Tabla 27. Densidades aparentes para la mezcla y porcentajes óptimos

Propiedad	Mina	
	La Playa	Salvador
Densidad aparente máxima (gr/cm ³)	1.932	1.867
Densidad aparente óptima (gr/cm ³)	1.929	1.864
Porcentaje óptimo de A. fino (%)	44	40
Porcentaje óptimo de A. grueso (%)	56	60

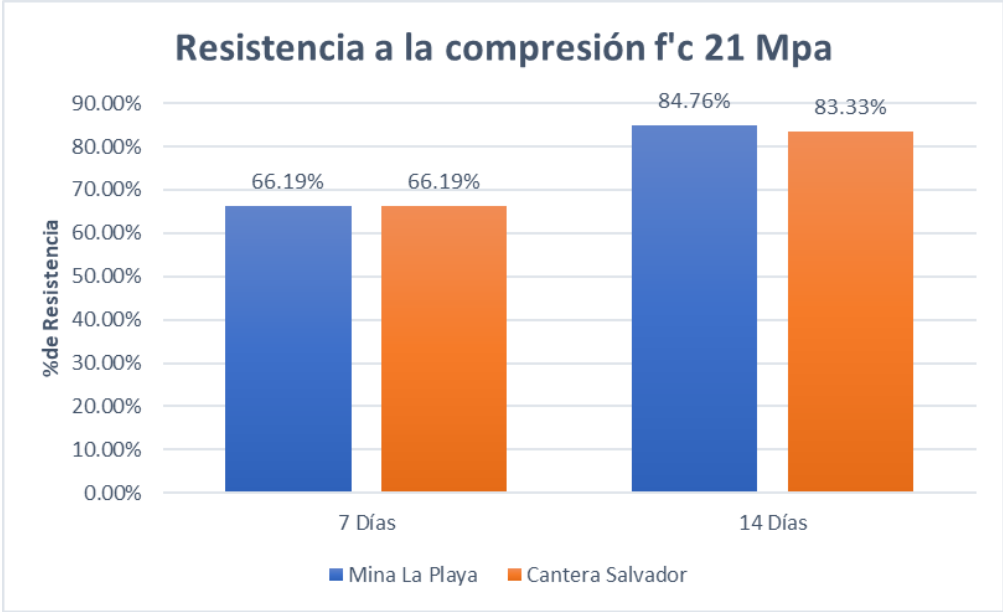
Realizado por: Oscar Andachi

3.1.3.3. Resultados de mezclas de prueba

En el Anexo 3 se presenta el diseño de las mezclas realizadas, así también en el literal “a” del mismo, los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión.

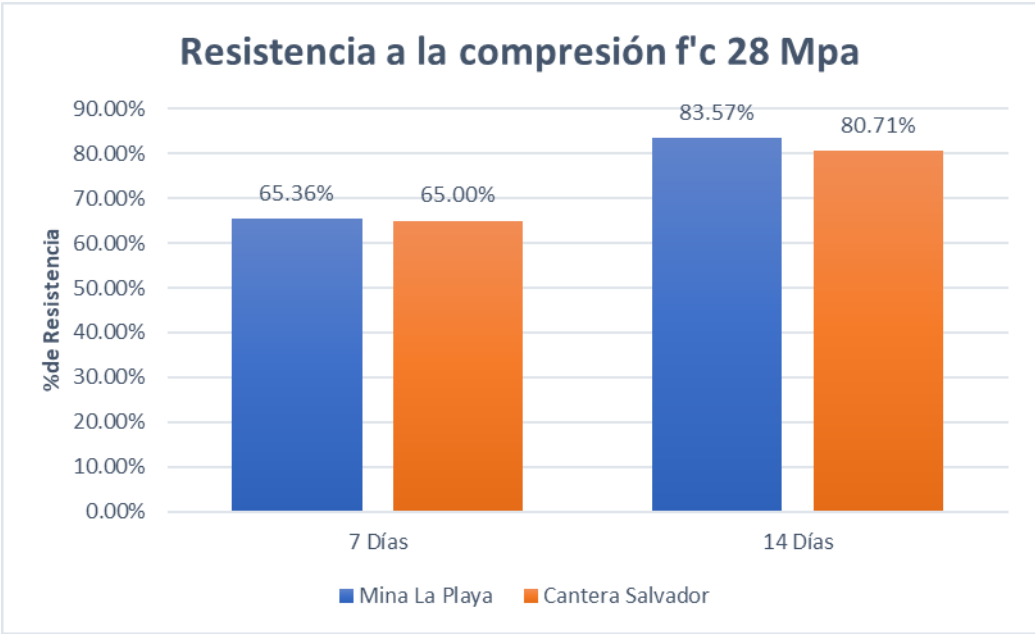
Las figuras 10 y 11, muestran cómo las dosificaciones de prueba realizadas para cada una de las minas alcanzan al menos los valores mínimos establecidos, para la resistencia a la compresión a los 7 días del 65% y a los 14 días del 80% de la resistencia especificada, para el hormigón curado.

Figura 10. Comparación en función de la resistencia a la compresión f'c 21 Mpa.



Realizado por: Oscar Andachi

Figura 11. Comparación en función de la resistencia a la compresión f'c 28 Mpa.



Realizado por: Oscar Andachi

3.1.4. Diseño de mezcla final

Mina La Playa

1. Condiciones de diseño

f _c (Kg/cm ²)	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento	Identificación
210	0.58	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU	LP210
280	0.52	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU	LP280

2. Datos requeridos

Descripción	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.974	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino : DRA	2.593	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.606	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.495	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso : DAR	1.333	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	44	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	56	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.929	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	2.5	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	2.0	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	1.81	%

3. Resultados

Resultados para f'c 210 Kg/cm ² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m ³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	189.18	0.58	29	29	lt
C	326.17	1.00	50	1	Saco
AF	799.93	2.45	122.62	3.0	Parihuela
AG	1023.35	3.14	156.87	4.4	Parihuela
	2338.63				

Resultados para f'c 280 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	181.49	0.52	26	26	lt
C	349.03	1.00	50	1	Saco
AF	799.93	2.29	114.59	2.8	Parihuela
AG	1023.35	2.93	146.60	4.1	Parihuela
	2353.80				

Cantera Salvador

1. Condiciones de diseño

f'c(Kg/cm ²)	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento	Identificación
210	0.58	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU	S210
280	0.52	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU	S280

2. Datos

Descripción	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.974	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino : DRA	2.569	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.505	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.546	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso : DAR	1.331	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	40	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	60	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.864	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	2.00	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	1.82	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	2.18	%

3. Resultados

Resultados para f'c 210 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	192.83	0.58	29	29	lt
C	332.46	1.00	50	1	Saco
AF	714.60	2.15	107.47	2.6	cajón
AG	1045.34	3.14	157.21	4.4	cajón
	2285.23				

Resultados para f'c 280 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	184.99	0.52	26	26	lt
C	355.76	1.00	50	1	Saco
AF	714.60	2.01	100.43	2.4	cajón
AG	1045.34	2.94	146.92	4.1	cajón
	2300.69				

3.1.4.1 Ensayos realizados con dosificación final

Ensayos del hormigón en estado fresco

Item	Mina			
	LP210	LP280	S210	S280
Fecha elaboración	16-Ene-20	09-Ene-20	23-Ene-20	21-Ene-20
Hora	16H00	16h00	16h00	16h00
Docilidad	Buena	Buena	Media	Buena
Homogeneidad	Buena	Media	Media	Media
Temp °C	22	22	20	18
Asentamiento(cm)	7	6.5	6.5	7
Consistencia	Media	Media	Media	Media
Densidad (Kg/m³)	2335.9721	2349.3412	2280.162	2296.714

Ensayos del hormigón en estado endurecido

Determinación de la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico; NTE INEN 1573.

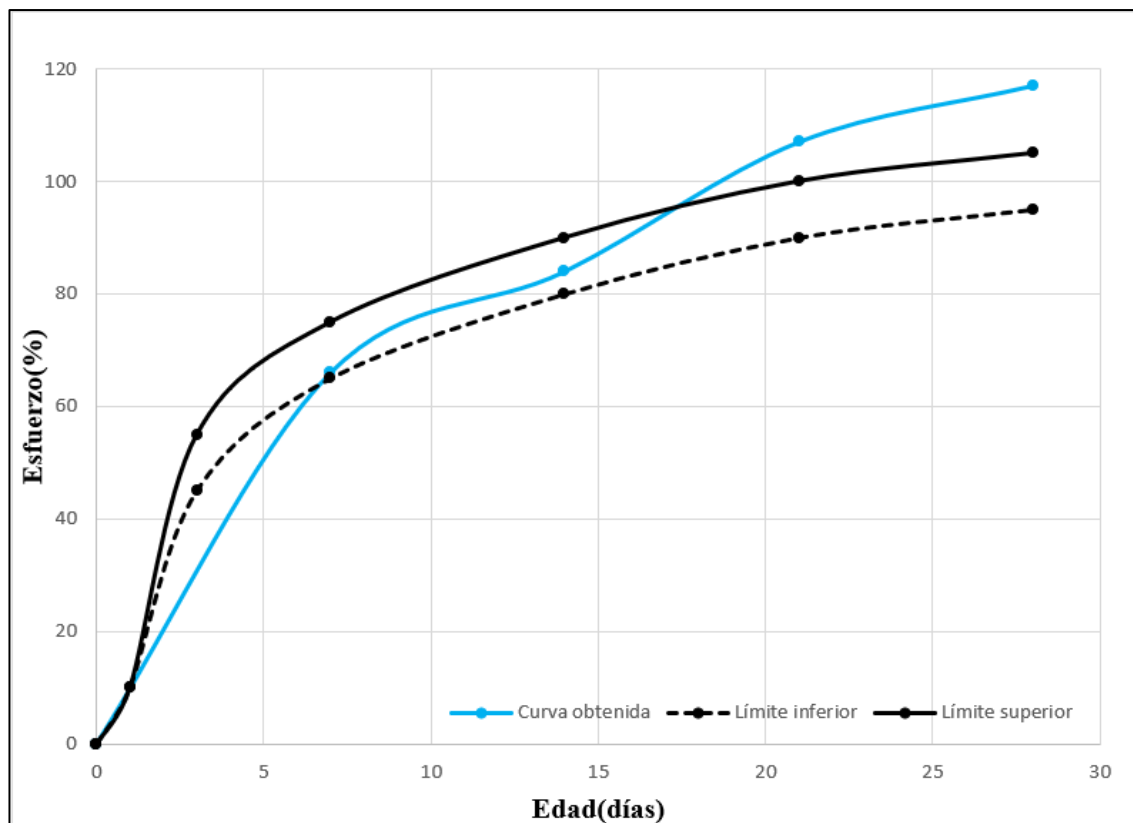
Mina La Playa

Tabla 28. Ensayo de probetas $f'c$ 21 Mpa “Mina La Playa”

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	13.97	66.52%	7	65%	75%
14	18.00	85.71%	14	80%	90%
22	20.90	99.52%	21	90%	100%
28	22.60	107.62%	28	95%	105%

Realizado por: Oscar Andachi

Figura 12. Gráfica esfuerzo vs tiempo para 21 Mpa “Mina La Playa”



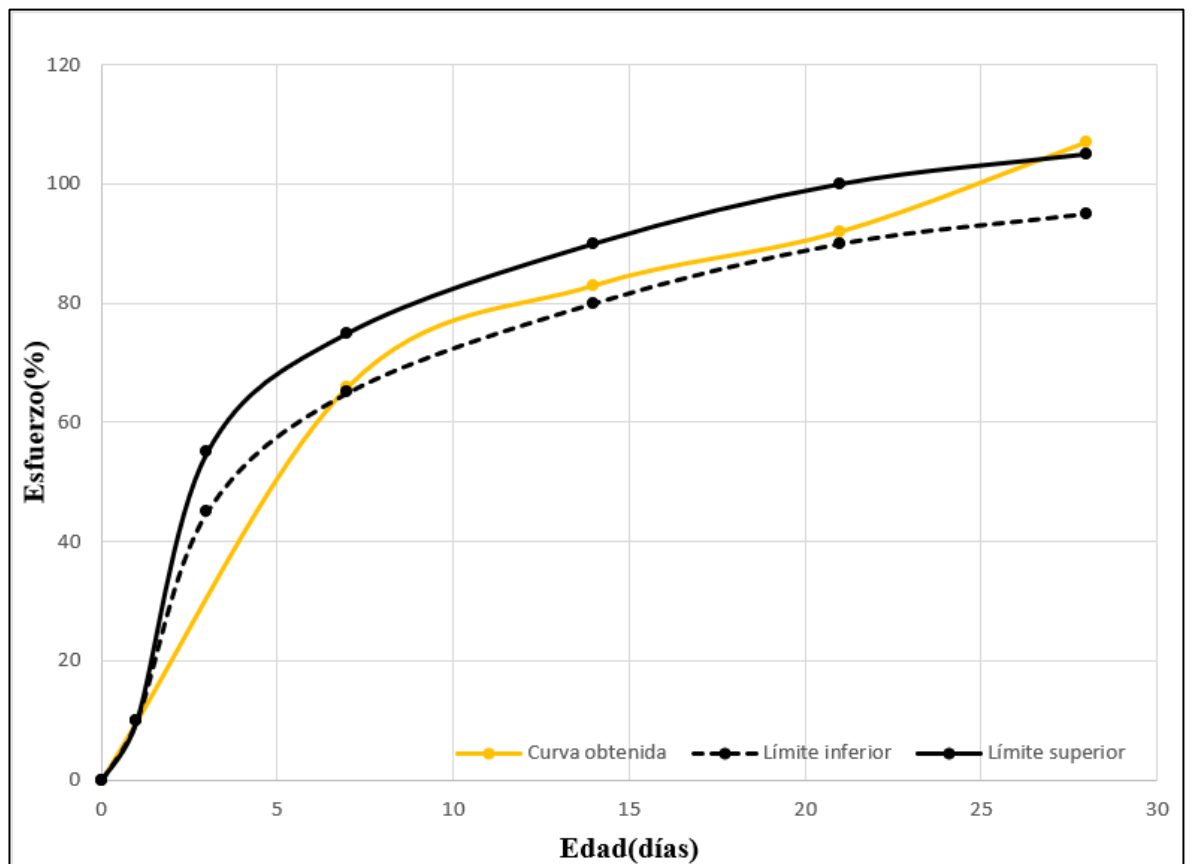
Realizado por: Oscar Andachi

Tabla 29 Ensayo de probetas f'c 28 Mpa “Mina La Playa”

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	18.53	66%	7	65%	75%
14	23.10	83%	14	80%	90%
21	25.83	92%	21	90%	100%
28	30.00	107%	28	95%	105%

Realizado por: Oscar Andachi

Figura 13. Gráfica esfuerzo vs tiempo para 28 Mpa “Mina La Playa”



Realizado por: Oscar Andachi

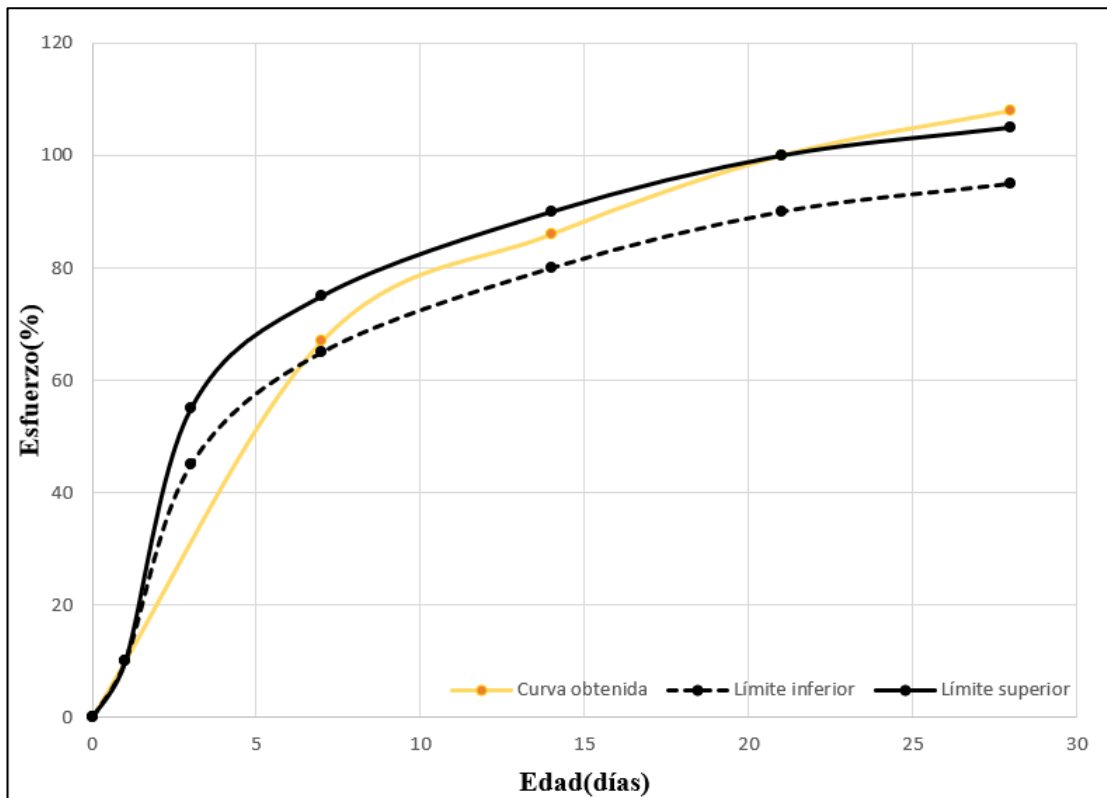
Cantera Salvador

Tabla 30. Ensayo de probetas f'c 21 Mpa “Cantera Salvador”

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	13.97	66.52%	7	65%	75%
14	18.00	85.71%	14	80%	90%
22	20.90	99.52%	21	90%	100%
28	22.60	107.62%	28	95%	105%

Realizado por: Oscar Andachi

Figura 14. Gráfica esfuerzo vs tiempo para 21 Mpa “Cantera Salvador”



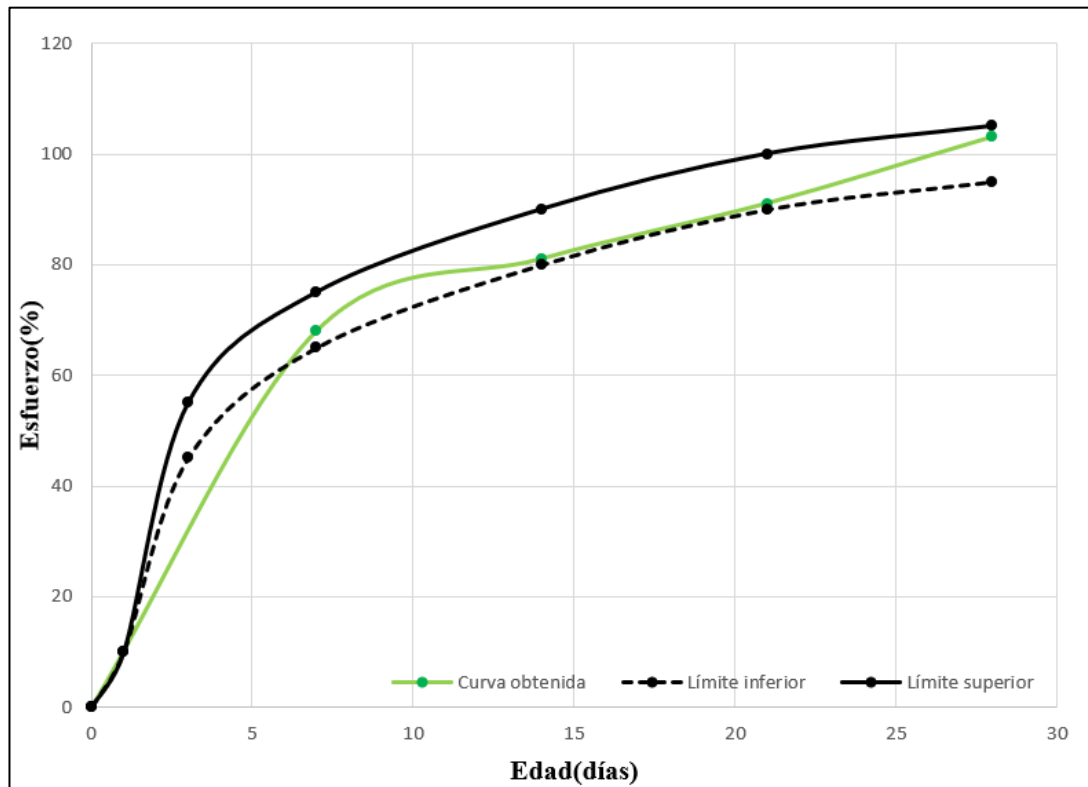
Realizado por: Oscar Andachi

Tabla 31. Ensayo de probetas f'c 28 Mpa “Cantera Salvador”

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	18.93	67.61%	7	65%	75%
14	22.48	80.29%	14	80%	90%
21	25.50	91.07%	21	90%	100%
28	28.83	102.96%	28	95%	105%

Realizado por: Oscar Andachi

Figura 15. Gráfica esfuerzo vs tiempo para 28 Mpa “Cantera Salvador”



Realizado por: Oscar Andachi

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

Mina “La Playa”

Tabla 32. MEE para “Mina La Playa” f'c 21 Mpa

Código		LP210		Norma:		ASTM C-469	
Fecha de elaboración:		16-01-20		Fecha Ensayo		14-02-20	
Edad:		28 Días		e1		0.00005	
Resistencia obtenida(Mpa):		24.6		S2(Mpa):		9.840	
Probeta Nº	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m ³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
1M	101	200	3.772	1.81222	42.90	2357.50	21181.5
2M	103	201	3.822	1.82026	41.45	2388.75	22002.0
3M	100	204	3.895	2.01458	40.70	2434.38	21919.9
4M	101	203	3.883	1.95651	41.30	2426.88	21717.6
5M	100	203	3.872	2.47304	39.90	2420.00	21108.8
6M	101	202	3.861	1.89458	41.00	2413.13	22070.6
7M	103	200	3.821	1.95686	44.60	2388.13	19906.9
8M	103	203	3.762	1.87775	46.55	2351.25	19163.1
9M	101	202	3.754	2.17963	39.10	2346.25	22464.4
Parámetros de control		Rango		88.1		3301.4	
		Desviación estandar		33.9		1092.9	
		Coeficiente de variación		1%		5%	
		Promedio		2391.8		21281.6	
		Mediana		2388.75		21717.61	

Tabla 33. MEE para "Mina La Playa" f'c 28 Mpa

Código		LP280		Norma:		ASTM C-469	
Fecha de elaboración:		09-01-20		Fecha Ensayo		06-02-20	
Edad:		28 Días		e1		0.00005	
Resistencia obtenida(Mpa):		30		S2(Mpa):		12.00	
Probeta Nº	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m ³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
10M	104	203	3.832	2.17276	46.40	2395.00	23737.3
11M*	102	201	3.822	2.57715	34.90	2388.75	NA
12M	102	202	3.855	1.54787	54.70	2409.38	21030.4
13M*	103	203	3.813	1.67910	39.64	2383.13	NA
14M	100	203	3.922	2.64758	47.15	2451.25	22191.1
15M	101	202	3.805	2.85847	44.85	2378.13	22939.8
16M	102	200	3.821	2.78260	45.40	2388.13	22815.4
17M	101	203	3.812	1.61399	46.40	2382.50	25087.0
18M	101	202	3.895	1.78451	46.00	2434.38	24915.8
Parámetros de control		Rango		73.1		4056.5	
		Desviación estandar		25.6		1456.0	
		Coeficiente de variación		1%		6%	
		Promedio		2401.2		23245.3	
		Mediana		2388.75		22939.85	

Cantera Salvador

Tabla 34. MEE para "Cantera Salvador" f'c 21 Mpa

Código		S210		Norma:	ASTM C 469		
Fecha de elaboración:		23-01-20		Fecha Ensayo	20-02-20		
Edad:		28 Días		e1	0.00005		
Resistencia obtenida(Mpa):		22.6		S2(Mpa):	9.040		
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
1M	102	201	3.742	1.34842	44.70	2338.75	19374.3
2M	103	201	3.722	1.20788	44.12	2326.25	20019.2
3M	102	202	3.755	1.54059	42.90	2346.88	19787.4
4M	103	201	3.883	1.51406	45.80	2426.88	18445.9
5M	100	201	3.682	1.49551	40.40	2301.25	21312.1
6M	101	202	3.692	1.35840	45.60	2307.50	18920.2
7M	102	200	3.721	1.45875	43.80	2325.63	19539.3
8M	104	202	3.762	1.34235	43.70	2351.25	19890.6
9M	101	202	3.754	1.49658	47.90	2346.25	17583.7
Párametros de control				Rango		125.6	3728.4
				Desviación estandar		36.6	1053.7
				Coeficiente de variación		2%	5%
				Promedio		2341.2	19430.3
				Mediana		2338.75	19539.32

Tabla 35. MEE para "Cantera Salvador" f'c 28 Mpa.

Código		S280		Norma:	ASTM C-469		
Fecha de elaboración:		21-01-20		Fecha Ensayo	18-02-20		
Edad:		28 Días		e1	0.00005		
Resistencia obtenida(Mpa):		28.83		S2(Mpa):	11.532		
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
10M	101	202	3.712	2.05438	44.80	2320.00	23813.1
11M	103	201	3.722	2.11810	46.20	2326.25	22849.3
12M	102	202	3.755	2.05660	47.50	2346.88	22295.1
13M	101	203	3.683	1.88411	46.50	2301.88	23247.9
14M	100	203	3.792	1.81446	46.30	2370.00	23529.2
15M	101	203	3.812	2.19438	48.40	2382.50	21515.2
16M	102	200	3.721	1.56835	50.25	2325.63	22019.1
17M	103	203	3.803	2.29025	46.80	2376.88	22109.5
18M	101	201	3.754	2.33454	48.20	2346.25	21290.4
Párametros de control				Rango		80.6	2522.7
				Desviación estandar		28.0	888.8
				Coeficiente de variación		1%	4%
				Promedio		2344.0	22518.8
				Mediana		2346.25	22295.07

Cálculos típicos

Datos:

$$S_2 = 11.53200 \text{ Mpa}$$

$$S_1 = 1.88411 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_2 = 0.0004650 \text{ m}$$

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.000050)} \quad (5)$$

$$E = \frac{(11.532 - 1.88411)}{(0.0004650 - 0.000050)}$$

$$E = 23247.9 \text{ Mpa}$$

En dónde:

E= Módulo de elasticidad secante, en Mpa(psi)

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

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

ε_2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S_2 .

Nota: Para el desarrollo del ejemplo ilustrativo, se seleccionó una probeta al azar, la probeta 13M, corresponde a la Cantera Salvador, cuyos datos se muestran en la tabla 35.

Comentario

Las probetas marcadas con el símbolo de asterisco “*”, no fueron consideradas en la tabulación de datos para el cálculo del módulo de elasticidad estático, debido a que su valor numérico no se considera coherente ni confiable respecto del resto.

Los parámetros de control utilizados en el análisis de datos son: coeficiente de variación, valor promedio, mediana, rango y desviación estándar.

El valor seleccionado para el módulo de elasticidad estático y para la densidad han de ser los correspondientes al de la media aritmética del total de las probetas ensayadas.

3.1.5.1. Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón.

La tabla 36 muestra la variación del módulo de elasticidad estático (MEE), entre el valor experimental obtenido de acuerdo con lo especificado en ASTM C469 y las fórmulas propuestas por A.C.I. 318-14, expresada en forma de porcentaje.

Tabla 36. Comparación entre MEE experimental y teórico del hormigón

Asignación		MEE Experimental ASTM C469			MEE Teórico ACI 318-14			
Mina	Código	Datos obtenidos		MEE (Mpa)	*(a) MEE (Mpa)	Porcentaje de variación	*(b) MEE (Mpa)	Porcentaje de variación
		Resistencia (Mpa)	Densidad (Kg/m³)					
La Playa	LP210	24.60	2391.81	21281.6	24947.4	15%	23311.2	9%
	LP280	30.00	2401.18	23245.3	27711.9	16%	25743.0	10%
Salvador	S210	22.60	2341.18	19430.3	23156.6	16%	22343.5	13%
	S280	28.83	2344.03	22518.8	26202.0	14%	25236.0	11%

Realizado por: Oscar Andachi

Nota: La ecuación utilizada para el cálculo de los valores del MEE para *(a) y *(b) se muestra en (6) y (9) respectivamente.

Factores locales K_a y K_b

Las tablas 37 y 38, muestran el valor obtenido para los factores locales k_a y k_b , mismos que se relacionan con el módulo de elasticidad estático experimental, peso específico y resistencia a la compresión del concreto. A continuación, se presenta las fórmulas utilizadas:

(a) Para densidades(w_c) de entre 1440 y 2560 Kg/m³

$$E_c = w_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'_c} \text{ (Mpa)} \quad (6)$$

$$E_c = w_c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'_c} \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

$$E_c = w_c^{1.5} * k_a * \sqrt{f'_c} \quad (7)$$

$$k_a = \frac{E_c}{w_c^{1.5} * \sqrt{f'_c}} \quad (8)$$

(b) Para concreto de peso normal

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'_c} \text{ (Mpa)} \quad (9)$$

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

$$E_c = k_b * \sqrt{f'_c} \quad (10)$$

$$k_b = \frac{E_c}{\sqrt{f'_c}} \quad (11)$$

En donde:

E_c = Módulo de elasticidad estático del hormigón.

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

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

Nota: Se consideran hormigones de peso normal a aquellos cuyas densidades varían entre 2300 y 2400 kg/m³ por lo general.

Resultados obtenidos

Mina La Playa

Tabla 37. Factores de zona para MEE del concreto.

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para Ec en Mpa		Para Ec en Kg/cm ²	
		Ka	Kb	Ka	Kb
La Playa	LP210	0.037	4290.8	0.117	13701.8
	LP280	0.036	4244.0	0.115	13552.3
Parámetros de control	Rango	0.001	46.8	0.002	149.5
	Desv. Estandar	0.0004	33.10	0.001	105.7
	Coef Variación	1.2%	0.78%	1.19%	0.78%
	Mediana	0.036	4267.4	0.116	13627.1
	Promedio	0.036	4267.4	0.116	13627.1

Realizado por: Oscar Andachi

Cantera Salvador

Tabla 38. Factores de zona para MEE del concreto.

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para Ec en Mpa		Para Ec en Kg/cm ²	
		Ka	Kb	Ka	Kb
Salvador	S210	0.0361	4087.2	0.115	13051.7
	S280	0.0370	4193.9	0.118	13392.5
Parámetros de control	Rango	0.001	106.7	0.003	340.9
	Desv. Estandar	0.0006	75.48	0.002	241.0
	Coef Variación	1.7%	1.82%	1.69%	1.82%
	Mediana	0.037	4140.6	0.117	13222.1
	Promedio	0.037	4140.6	0.117	13222.1

Realizado por: Oscar Andachi

Valores propuestos

Tabla 39. Factores locales ka y kb obtenidos.

Procedencia	(a) $Ec = wc^{1.5} * ka * \sqrt{f'c}$		(b) $Ec = kb * \sqrt{f'c}$	
	Factor ka		Factor kb	
	Mpa	Kg/cm ²	Mpa	Kg/cm ²
Mina La Playa	0.0364	0.1162	4200	13600
Cantera Salvador	0.0365	0.1166	4100	13200

Realizado por: Oscar Andachi

Verificación de la Hipótesis

Los resultados para el módulo de elasticidad estático del hormigón obtenidos a través de ensayos de laboratorio para cada uno de los agregados de las minas en estudio (Mina “La Playa” y “Cantera Salvador”) en este trabajo experimental y según lo establecido en ASTM C469 arrojan un valor menor al rango máximo de variación indicado respecto a la ecuación empírica propuesta por A.C.I 318.

Los valores obtenidos son: para la ecuación que considera la densidad (1), de mínimo el 14% y como valor máximo el 16% mientras que para la ecuación (2) que tan solo considera la resistencia a la compresión un valor mínimo de 9% y un máximo de 13%.

Por lo tanto, se ratifica que los materiales de la mina “La Playa” y “Cantera Salvador”, influyen en el módulo de elasticidad estático del hormigón estructural elaborado con los mismos.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones específicas

- Se determinaron las propiedades físico mecánicas fundamentales de los áridos en estudio correspondientes a las minas: La Playa y Salvador, necesarias para realizar la dosificación del hormigón, así también otras indicadas en NTE INEN 872 requeridas para su aceptación, concluyendo que se trata de materiales que se ajustan a los requerimientos establecidos, a excepción de los límites granulométricos.
- Se realizó el diseño de las mezclas de hormigón para resistencias a compresión a los 28 días de edad de: 210 y 280 Kg/cm², empleando el método de la densidad máxima.
- Se sugiere utilizar valores para las constantes en el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón en el cantón Ambato, a partir de las correlaciones entre los áridos utilizados, el peso específico y la resistencia a la compresión del concreto, teniéndose de esta forma los valores de : **0.1162** y **0.1166** para las minas La Playa y Salvador respectivamente, mismas que se han de sustituir en la ecuación $E_c = w c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$, los valores de 13600 para mina La Playa y 13200 para Cantera Salvador de igual forma a reemplazar en la ecuación $E_c = 15100 * \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$.
- Se sugiere utilizar valores para las constantes en el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón en el cantón Ambato, a partir de las correlaciones entre los áridos utilizados, el peso específico y la resistencia a la compresión del concreto, teniéndose de esta forma los valores de: **0.0364** y **0.0365** para las minas La Playa y Salvador respectivamente, mismos que se han de sustituir en la ecuación $E_c = w c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'c} (Mpa)$, los valores de 4200 para mina La Playa y 4100 para Cantera Salvador de igual forma se reemplazarán en la ecuación $E_c = 4700 * \sqrt{f'c} (Mpa)$

Bibliografía

- [1] J. Cintas, J. Montes y F. Cuevas, Ciencia e Ingeniería de los materiales, vol. 1ra edición, Madrid: Ediciones Paraninfo, 2014.
- [2] J. Niño, Tecnología del concreto, Colombia: Asociación colombiana de Productores de Concreto., 2010.
- [3] Comité ACI 318, «Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14),» American Concrete Institute, 2014.
- [4] Comité ACI 363, «Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 363R),» American Concrete Institute, 2005.
- [5] Comité ACI 363, «Hormigón de alta resistencia (ACI 363R),» American Concrete Institute, 2005.
- [6] E. García, «MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 24\text{MPa}$), FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA VILLACRES, UBICADA EN EL SECTOR DE LA PENINSULA CANTÓN AMBATO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO HOLCIM.,» UCE, QUITO, 2013.
- [7] J. L. Sánchez, «LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2013.
- [8] A. Ortega, «“La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles,”» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2013.
- [9] R. Quimbay, «Estimación del módulo de elasticidad del concreto y del mortero mediante TCTM,» Colombia, 2015.
- [10] T. Harmsen, Diseño de estructuras de concreto armado, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú., 2005.
- [11] M. Mamlouk y J. Zaniewski, Materiales para ingeniería civil, vol. II, Madrid: PEARSON EDUCATION, 2009.
- [12] A. Neville y J. Brooks, Tecnología del concreto, México: Trillas S.A. de C.V., 1998.
- [13] M. Garzón, «Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón.,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2010.
- [14] E. Arequipa, W. Coba, D. Garzón y L. Vargas, «MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE f_c 21 Mpa y 30 Mpa,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2012.
- [15] NEC-SE-HM, «Estructuras de Hormigón Armado,» MIDUVI, 2014.
- [16] UNAM, Manual de Tecnología del concreto., México: LIMUSA S.A., 1997.
- [17] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Requisitos. Mallas y tamices para ensayo.,» de NTE INEN 154:2013, Quito, 2013, pp. 1-15.

- [18] Instituto Ecuatoriano de Normalización , «Áridos para hormigón. Requisitos,» de *NTE INEN 872:2011*, Quito, 2011, pp. 2-12.
- [19] Instituto Ecuatoriano de Normalización , «Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.,» de *NTE INEN 863:2011*, Quito, 2011, pp. 1-12.
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles,» de *NTE INEN 860:2011*, Quito, 2011, pp. 1-10.
- [21] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles,» de *NTE INEN 861:2011*, Quito, 2011, pp. 1-10.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino,» de *NTE INEN 856:2010*, Quito, 2010, pp. 1-15.
- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.,» de *NTE INEN 858:2010*, Quito, 2010, pp. 1-11.
- [24] J. Waddell , Manual de la construcción con concreto I, vol. 3a edición, México: Mc Graw Hill, 1997.
- [25] D. Sánchez, Tecnología del concreto y del mortero., Bogotá: Universidad Javeriana., 2001.
- [26] J. Wiley, Materiales para construcción, México: Limusa S.A., 2002.
- [27] M. Nieto, Construcción de edificios, Bogotá: Nobuko S.A., 2011.
- [28] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,» de *INEN NTE 156:2009*, Quito, 2009, pp. 1-9.
- [29] S. Carrasco, Metodología de la investigación científica, Perú: Editoria San Marcos, 2005.
- [30] 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.
- [31] M. De León, «Granulometría de los agregados,» Universidad de Sucre, Colombia, 2010.
- [32] J. Corral, «CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS PLANTAS PRODUCTORAS DE ARENA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA, SU IMPACTO EN LA CALIDAD Y COSTO DEL HORMIGÓN,» *Ciencia y Sociedad*, vol. XXXVII, n° 3, pp. 293-334, 2012.
- [33] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología,» de *INEN NTE 694:2010*, Quito, 2010, pp. 1-11.
- [34] S. Medina, Hormigón, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [35] H. Minetti, Guía práctica: Hormigón elaborado, Argentina: HCB Cementverkauf AG, 2008.

ANEXOS

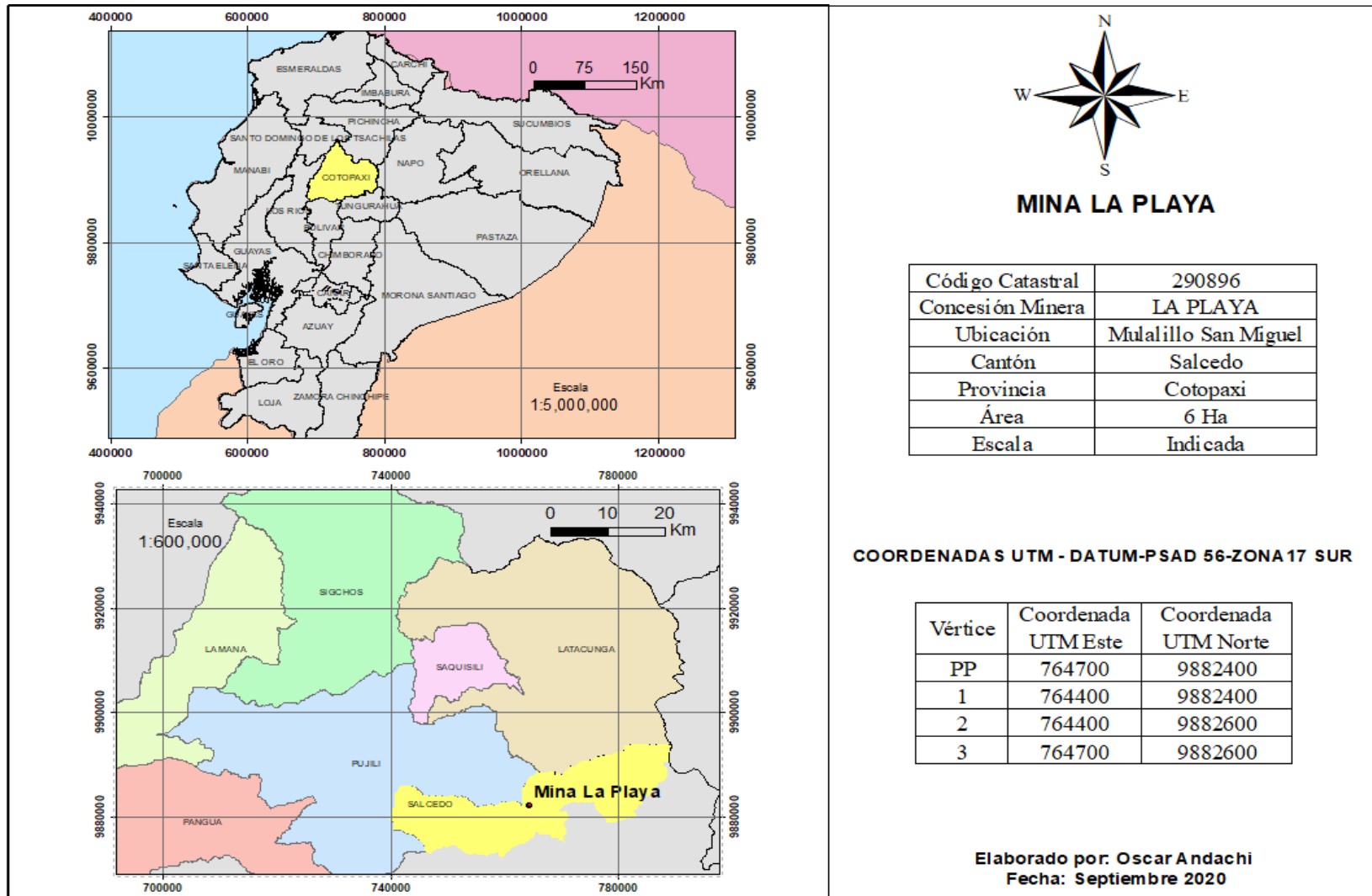
Anexo 1. Requisitos de gradación para árido grueso.

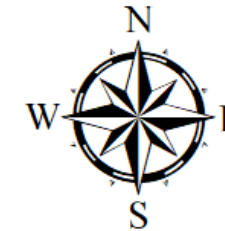
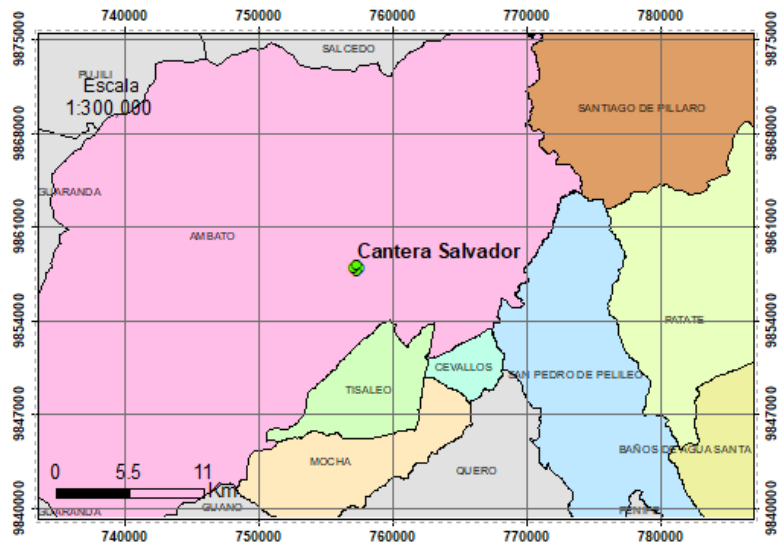
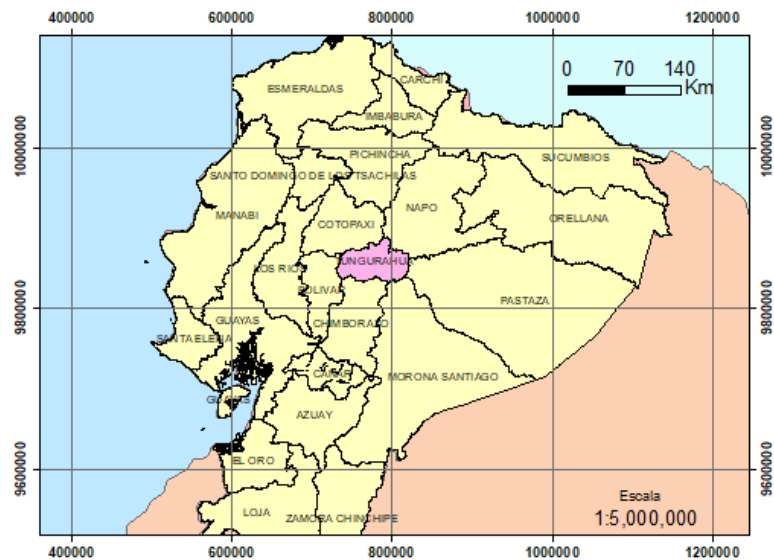
Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 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 Minas





CANTERA SALVADOR

Código Catastral	200285
Concesión Minera	CANTERA SALVADOR
Ubicación	Km 7 Vía Aguaján
Cantón	Ambato
Provincia	Tungurahua
Área	4 Ha
Escala	Indicada

COORDENADAS UTM -DATUM-PSAD 56-ZONA 17 SUR

Vértice	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte
PP	757209	9858173
1	757308	9858172
2	757308	9858172
3	757209	9858173
4	757112	9857973
5	757209	9857973

Elaborado por: Oscar Andachi
Fecha: Septiembre 2020

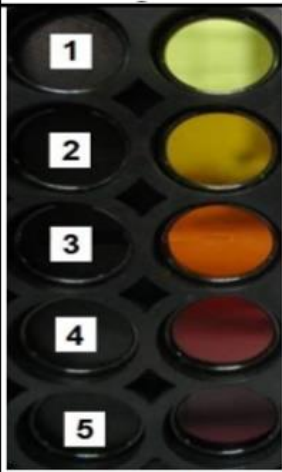


Anexo 3. Resultados de ensayos realizados.


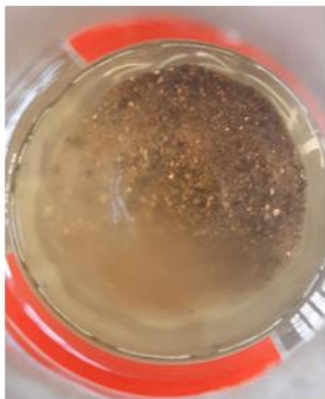

- a) **Material más fino que pasa el tamiz con abertura de 75 µm (No. 200), mediante lavado.**

Origen	Mina La Playa			
Peso de la muestra(gr)	500			
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha Muestreo:	23-Oct-19	
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	25-Oct-19	
Descripción	Ensayo			Unidad
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	500	500	500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	479.8	480.7	482.1	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	4.0	3.9	3.6	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	3.83			%

Origen	Cantera Salvador			
Peso de la muestra(gr)	500			
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha Muestreo:	23-Oct-19	
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	25-Oct-19	
Descripción	Ensayo			Unidad
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	500	500	500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	485.6	486.1	485.3	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	2.9	2.8	2.9	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	2.87			%

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

Origen	Mina La Playa		
No. comparador	1	Escala Gardner	5
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha Muestreo:	11-Nov-19
Norma	NTE INEN 855:2010	Fecha Ensayo:	13-Nov-19
Paca No.	Muestra #1	Muestra# 2	
			
Color	Claro Transparente		
Contenido orgánico aceptable	Si		
Propiedad ASTM C-40: Agregado fino de muy buena calidad al no contener materia orgánica, limoso arcillas			

Origen	Cantera Salvador		
No. comparador	1	Escala Gardner	5
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha Muestreo:	11-Nov-19
Norma	NTE INEN 855:2010	Fecha Ensayo:	13-Nov-19
Paca No.	Muestra #1	Muestra# 2	
			
Color	Claro Transparente		
Contenido orgánico aceptable	Si		
Propiedad ASTM C-40: Agregado fino de muy buena calidad al no contener materia orgánica, limoso arcillas			

c) Análisis granulométrico en el árido fino.

Mina La Playa

Origen		Mina La Playa			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		700			Pérdida de muestra		0.31%	
Ensayado por		Oscar Andachi			Fecha Muestreo:		23-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		25-Oct-19	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
No. 4	4.76	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
No. 8	2.38	32.00	32.00	4.59%	4.59%	95.41%	80%	100%
No. 16	1.19	203.70	235.70	29.19%	33.78%	66.22%	50%	85%
No. 30	0.59	148.70	384.40	21.31%	55.09%	44.91%	25%	60%
No. 50	0.30	115.60	500.00	16.57%	71.65%	28.35%	10%	30%
No. 100	0.15	84.20	584.20	12.07%	83.72%	16.28%	2%	10%
No. 200	0.08	74.90	659.10	10.73%	94.45%	5.55%	-	
Bandeja		38.70	697.80	5.55%	100.00%		-	
Módulo de Finura							2.5	

Origen		Mina La Playa			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		700			Pérdida de muestra		0.16%	
Ensayado por		Oscar Andachi			Fecha Muestreo:		23-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		25-Oct-19	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
No. 4	4.76	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
No. 8	2.38	32.50	32.50	4.65%	4.65%	95.35%	80%	100%
No. 16	1.19	206.10	238.60	29.49%	34.14%	65.86%	50%	85%
No. 30	0.59	146.60	385.20	20.98%	55.12%	44.88%	25%	60%
No. 50	0.30	114.40	499.60	16.37%	71.49%	28.51%	10%	30%
No. 100	0.15	85.15	584.75	12.18%	83.67%	16.33%	2%	10%
No. 200	0.08	76.80	661.55	10.99%	94.66%	5.34%	-	
Bandeja		37.30	698.85	5.34%	100.00%		-	
Módulo de Finura							2.5	

Cantera Salvador

Origen		Cantera Salvador				Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		700				Pérdida de muestra		0.13%	
Ensayado por		Oscar Andachi				Fecha Muestreo:		23-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		25-Oct-19	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
No. 4	4.76	15.50	15.50	2.22%	2.22%	97.78%	95%	100%	
No. 8	2.38	55.90	71.40	8.00%	10.21%	89.79%	80%	100%	
No. 16	1.19	77.50	148.90	11.09%	21.30%	78.70%	50%	85%	
No. 30	0.59	93.90	242.80	13.43%	34.73%	65.27%	25%	60%	
No. 50	0.30	123.00	365.80	17.59%	52.32%	47.68%	10%	30%	
No. 100	0.15	128.50	494.30	18.38%	70.71%	29.29%	2%	10%	
No. 200	0.08	111.80	606.10	15.99%	86.70%	13.30%	-		
Bandeja		93.00	699.10	13.30%	100.00%		-		
Módulo de finura							1.91		

Origen		Cantera Salvador				Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		700				Pérdida de muestra		0.21%	
Ensayado por		Oscar Andachi				Fecha Muestreo:		23-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		25-Oct-19	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje rretenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
No. 4	4.75	26.80	26.80	3.84%	3.84%	96.16%	95%	100%	
No. 8	2.36	59.30	86.10	8.49%	12.33%	87.67%	80%	100%	
No. 16	1.18	80.76	166.86	11.56%	23.89%	76.11%	50%	85%	
No. 30	0.60	94.10	260.96	13.47%	37.36%	62.64%	25%	60%	
No. 50	0.30	128.16	389.12	18.35%	55.71%	44.29%	10%	30%	
No. 100	0.15	131.20	520.32	18.78%	74.49%	25.51%	2%	10%	
No. 200	0.075	103.20	623.52	14.77%	89.26%	10.74%	-		
Bandeja		75.00	698.52	10.74%	100.00%		-		
Módulo de finura							2.08		

d) Análisis granulométrico en el árido grueso.

Mina La Playa

Origen		Mina La Playa				Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		6000				Pérdida de muestra		0.03%	
Ensayado por		Oscar Andachi				Fecha Muestreo:		27-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		29-Oct-19	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
1 "	25.00	20.50	20.50	0.34%	0.34%	99.66%	95%	100%	
3/4 "	19.00	313.20	333.70	5.22%	5.56%	94.44%	-	-	
1/2 "	12.50	3038.60	3372.30	50.66%	56.22%	43.78%	25%	60%	
3/8 "	9.50	2442.30	5814.60	40.72%	96.94%	3.06%	-	-	
No. 4	4.75	179.30	5993.90	2.99%	99.93%	0.07%	0%	10%	
No. 8	2.36	2.18	5996.08	0.04%	99.97%	0.03%	0%	5%	
Fuente		1.82	5997.90	0.03%	100.00%				
Tamaño Nominal máximo:						3/4"			

Origen		Mina La Playa				Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		6000				Pérdida de muestra		0.01%	
Ensayado por		Oscar Andachi				Fecha Muestreo:		27-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		29-Oct-19	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
1 "	25.00	30.00	30.00	0.50%	0.50%	99.50%	95%	100%	
3/4 "	19.00	677.00	707.00	11.28%	11.78%	88.22%	-	-	
1/2 "	12.50	3075.90	3782.90	51.27%	63.05%	36.95%	25%	60%	
3/8 "	9.50	2090.70	5873.60	34.85%	97.90%	2.10%	-	-	
No. 4	4.75	122.00	5995.60	2.03%	99.93%	0.07%	0%	10%	
No. 8	2.36	1.98	5997.58	0.03%	99.97%	0.03%	0%	5%	
Fuente		2.00	5999.58	0.03%	100.00%	0.00%			
Tamaño Nominal máximo:						3/4"			

Cantera Salvador

Origen		Cantera Salvador			Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		11000			Pérdida de muestra		0.03%	
Ensayado por		Oscar Andachi			Fecha Muestreo:		23-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		25-Oct-19	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2"	50.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
1 1/2"	37.50	78.60	78.60	0.71%	0.71%	99.29%	-	-
1 "	25.00	2504.00	2582.60	22.77%	23.49%	76.51%	35%	70%
3/4 "	19.05	3505.00	6087.60	31.87%	55.36%	44.64%	-	-
1/2 "	12.50	3134.00	9221.60	28.50%	83.86%	16.14%	10%	30%
3/8 "	9.50	1621.00	10842.60	14.74%	98.60%	1.40%	-	-
No. 4	4.75	148.00	10990.60	1.35%	99.95%	0.05%	0%	5%
Bandeja		6.00	10996.60	0.05%	100.00%			
Tamaño Nominal máximo:						1 1/2"		

Origen		Cantera Salvador			Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		11000			Pérdida de muestra		0.02%	
Ensayado por		Oscar Andachi			Fecha Muestreo:		23-Oct-19	
Norma		NTE INEN 696:2011			Fecha Ensayo:		25-Oct-19	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Límites ASTM	
							Límite inferior	Límite superior
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2"	50.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%
1 1/2"	37.50	73.80	73.80	0.67%	0.67%	99.33%	-	-
1 "	25.00	2583.00	2656.80	23.49%	24.16%	75.84%	35%	70%
3/4 "	19.00	3554.00	6210.80	32.32%	56.47%	43.53%	-	-
1/2 "	12.50	3308.00	9518.80	30.08%	86.55%	13.45%	10%	30%
3/8 "	9.50	1297.00	10815.80	11.79%	98.35%	1.65%	-	-
No. 4	4.75	180.00	10995.80	1.64%	99.98%	0.02%	0%	5%
Bandeja		2.00	10997.80	0.02%	100.00%			
Tamaño Nominal máximo:						1 1/2"		

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

Mina La Playa

Origen	Mina La Playa	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha	13-Nov-19	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	169.7	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	668.7	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	971.9	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	303.2	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	663.4	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	493.7	
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.987	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	190.5	
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	499	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	192.9	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.586	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m8	Masa del Recipiente(#28, #03)	gr	7.3	7.3
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	98.2	91.8
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	90.9	84.5
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	96.4	90.2
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	89.1	82.9
CA=((M10-M12)/M12)*100	Capacidad de absorción	%	2.02	1.93
P2=(CA1 + CA2)/2	Promedio	%	1.98	

Origen	Mina La Playa	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha	14-Nov-19	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	151.9	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	652.1	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	955.8	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	303.7	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	645.6	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	493.7	
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.987	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	190	
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	500.2	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	192.4	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.599	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m8	Masa del Recipiente(#90, #23)	gr	30.7	31.1
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	141.5	156.6
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	110.8	125.5
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	139.3	154.1
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	108.6	123
CA=((M10-M12)/M12)*100	Capacidad de absorción	%	2.03	2.03
P2=(CA1 + CA2)/2	Promedio	%	2.03	

Cantera Salvador

Origen	Cantera Salvador	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha	18-Nov-19	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	151.9	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	648.9	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	950.9	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	302	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	645.3	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	493.4	
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.987	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	191.4	
Msss=m2 - m1	Masa del agragado	gr	497	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	194	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.562	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m8	Masa del Recipiente(#48, #21)	gr	37.8	27.6
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	184.6	158.4
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	146.8	130.8
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	182.1	156.1
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	144.3	128.5
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	1.73	1.79
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.76	

Origen	Cantera Salvador	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha	19-Nov-19	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	169.7	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	670.1	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	972.1	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	302	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	663.6	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	493.9	
DA=m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0.988	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	191.9	
Msss=m2 - m1	Masa del agragado	gr	500.4	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	194.3	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2.576	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m8	Masa del Recipiente(#74, #62)	gr	31.2	30.6
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	136.1	142.7
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	104.9	112.1
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	134.2	140.6
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	103	110
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	1.84	1.91
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.88	

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

Mina La Playa

Origen	Mina La Playa	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha	20-Nov-19	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300.1	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1134	
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6307	
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	4220	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	5006.9	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3086	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1923.02	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm ³	2.604	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente(T03, T28)	gr	8	7.7
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	77.7	78.6
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	69.7	70.9
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	76.3	77.4
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	68.3	69.7
CA=((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	2.05	1.72
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.89	

Origen	Mina La Playa	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha	20-Nov-19	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300.1	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1134	
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6309	
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	4225	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	5008.9	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3091	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1920	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm ³	2.609	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente(T14, T34)	gr	7.7	7.8
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	69.5	76.9
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	61.8	69.1
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	68.3	75.9
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	60.6	68.1
CA=((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	1.98	1.47
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.72	

Cantera Salvador

Origen	Cantera Salvador	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha	20-Nov-19	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1301	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1134	
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	5302	
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3537.5	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4001	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2403.5	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1599.26	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm ³	2.502	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente(T29 T30)	gr	7.5	25.6
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	94.4	1110.1
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	86.9	1084.5
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	92.6	1086.5
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	85.1	1060.9
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2.12	2.22
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.17	

Origen	Cantera Salvador	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Oscar Andachi	Fecha	20-Nov-19	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300.1	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1134	
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	6306	
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	4147	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	5005.9	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3013	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1995.09	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr/cm ³	2.509	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente(T31 T07)	gr	7.6	7.4
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	138.6	77.1
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	131	69.7
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	136	75.5
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	128.4	68.1
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2.02	2.35
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.19	

g) Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.

Mina La Playa

Origen	Mina la PLAYA		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	06-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi		Fecha Ensayo	07-Nov-19
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	37500	27600	1.337	1.334
	37400	27500	1.332	
Fino	41200	31300	1.516	1.513
	41100	31200	1.511	

Origen	Mina la PLAYA		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	06-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi		Fecha Ensayo	07-Nov-19
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	37300	27400	1.327	1.332
	37500	27600	1.337	
Fino	41000	31100	1.506	1.477
	39800	29900	1.448	

Cantera Salvador

Origen	Cantera Salvador		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	06-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi		Fecha Ensayo	07-Nov-19
Volumen del recipiente(cm³):	Cantera Salvador			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	37500	27600	1.337	1.334
	37400	27500	1.332	
Fino	41900	32000	1.550	1.545
	41700	31800	1.540	

Origen	Cantera Salvador		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	06-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi		Fecha Ensayo	07-Nov-19
Masa del recipiente (gr)	Cantera Salvador			
Ensayado por:	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	37200	27300	1.322	1.327
	37400	27500	1.332	
Fino	42000	32100	1.554	1.547
	41700	31800	1.540	

h) Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino.

Mina La Playa

Origen	Mina la PLAYA		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	06-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi		Fecha Ensayo	07-Nov-19
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	40100	30200	1.462	1.465
	40200	30300	1.467	
Fino	45100	35200	1.705	1.707
	45200	35300	1.709	

Origen	Mina la PLAYA		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	06-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi		Fecha Ensayo	07-Nov-19
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	40300	30400	1.472	1.467
	40100	30200	1.462	
Fino	44900	35000	1.695	1.702
	45200	35300	1.709	

Cantera Salvador

Origen	Cantera Salvador		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	06-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi		Fecha Ensayo	07-Nov-19
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	40100	30200	1.462	1.465
	40200	30300	1.467	
Fino	45100	35200	1.705	1.702
	45000	35100	1.700	

Origen	Cantera Salvador		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	06-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi		Fecha Ensayo	07-Nov-19
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	40300	30400	1.472	1.467
	40100	30200	1.462	
Fino	44900	35000	1.695	1.697
	45000	35100	1.700	

i) Ensayo de abrasión (porcentaje de desgaste de áridos)

Mina La Playa

Origen	Mina La Playa	Ensayo No	I
Masa del recipiente (gr)	5000	Fecha muestreo	25-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi	Fecha ensayo	26-Nov-19
Norma	NTE INEN 861:2011		
Ensayo abrasión (porcentaje de desgaste de áridos)			
Peso inicial de la muestra	5000	gr	
Peso final retenido en el tamiz #12	3968.23	gr	
Porcentaje de desgaste del material	20.6	%	

Origen	Mina La Playa	Ensayo No	II
Masa del recipiente (gr)	5000	Fecha muestreo	25-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi	Fecha ensayo	26-Nov-19
Norma	NTE INEN 861:2011		
Ensayo abrasión (porcentaje de desgaste de áridos)			
Peso inicial de la muestra	5000	gr	
Peso final retenido en el tamiz #12	3966.45	gr	
Porcentaje de desgaste del material	20.67	%	

Cantera Salvador

Origen	Cantera Salvador	Ensayo No	I
Masa del recipiente (gr)	5000	Fecha muestreo	25-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi	Fecha ensayo	26-Nov-19
Norma	NTE INEN 860:2011		
Ensayo abrasión (porcentaje de desgaste de áridos)			
Peso inicial de la muestra	10000	gr	
Peso final retenido en el tamiz #12	6177.64	gr	
Porcentaje de desgaste del material	38.22	%	

Origen	Cantera Salvador	Ensayo No	I
Masa del recipiente (gr)	5000	Fecha muestreo	25-Nov-19
Ensayado por:	Oscar Andachi	Fecha ensayo	26-Nov-19
Norma	NTE INEN 860:2011		
Ensayo abrasión (porcentaje de desgaste de áridos)			
Peso inicial de la muestra	10000	gr	
Peso final retenido en el tamiz #12	6175.05	gr	
Porcentaje de desgaste del material	38.25	%	

Anexo 4. Diseño de mezclas de prueba

a) Datos y resultados obtenidos

Mina La Playa

Condiciones de diseño

f_c (Kg/cm ²)	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento	Identificación
210	0.58	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU	LP210
280	0.52	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU	LP280

Datos obtenidos

Descripción	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.974	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino : DRA	2.593	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.606	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.495	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso : DAR	1.333	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	44	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	56	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.929	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	2.5	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	2.0	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	1.81	%
Densidad aparente del agregado fino(compactada) : DAA	1.705	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada) : DAR	1.466	(gr/cm ³)
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	1.097	%
Contenido de humedad del agregado grueso:CHR	0.737	%

Resultados

F'c 210 Kg/cm²

Resultados para f'c 210 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m ³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por vol l=b=h=3dm ³	
W	189.18	0.58	29	29	lt
C	326.17	1.00	50	1	saco
AF	799.93	2.45	122.6	3.0	cajón
AG	1023.35	3.14	156.9	4.4	cajón
	2338.63				

Corrección por humedad

Material	Cantidad en Kg @m ³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	Corrección por humedad CA -CH		Cantidad corregida en Kg por saco de cemento
						%	Kg	
W	189.18	0.58	29	-	-	-	2.79	31.79
C	326.17	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	799.93	2.45	122.62	2.00	1.10	0.91	1.11	121.51
AG	1023.35	3.14	156.87	1.81	0.74	1.07	1.68	155.20
	2338.63							

F'c 280 Kg/cm²

Resultados para f'c 280 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m ³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por vol l=b=h=3dm ³	
W	181.49	0.52	26	26	lt
C	349.03	1.00	50	1	saco
AF	799.93	2.29	114.6	2.8	cajón
AG	1023.35	2.93	146.6	4.1	cajón
	2353.80				

Corrección por humedad

Material	Cantidad en Kg @m ³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	Corrección por humedad CA -CH		Cantidad corregida en Kg por saco de cemento
						%	Kg	
W	181.49	0.52	26	-	-	-	2.60	28.60
C	349.03	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	799.93	2.29	114.59	2.00	1.10	0.91	1.04	113.56
AG	1023.35	2.93	146.60	1.81	0.74	1.07	1.57	145.03
	2353.80							

Cantera Salvador

Condiciones de diseño

f _c (Kg/cm ²)	w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento	Identificación
210	0.58	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU	S210
280	0.52	6-9 cm	POV + 2% + 8%(POV)	1 m ³	Hidráulico Tipo GU	S280

Datos obtenidos

Descripción	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.974	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino : DRA	2.569	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.505	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.546	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso : DAR	1.331	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	40	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	60	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.864	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	2.00	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	1.82	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	2.18	%
Densidad aparente del agregado fino(compactada) : DAA	1.700	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada) : DAR	1.466	(gr/cm ³)
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	2.613	%
Contenido de humedad del agregado grueso:CHR	1.185	%

Resultados

F'c 210 Kg/cm²

Resultados para f'c 210 Kg/cm ² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por vol l=b=h=3dm ³	
W	192.83	0.58	29	29	lt
C	332.46	1.00	50	1	saco
AF	714.60	2.15	107.5	2.6	cajón
AG	1045.34	3.14	157	4.4	cajón
	2285.23				

Corrección por humedad

Material	Cantidad en Kg por @m3 de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de cemento	CA%	CH%	Corrección por humedad CA -CH		Cantidad corregida en Kg por saco de cemento
						%	Kg	
W	192.83	0.58	29.00	-	-	-	2.41	31.41
C	332.46	1.00	50.00	-	-	-	-	50.00
A	714.60	2.15	107.47	1.82	2.61	0.79	0.85	106.62
R	1045.34	3.14	157.21	2.18	1.19	0.99	1.56	155.65

F'c 280 Kg/cm²

Resultados para f'c 280 Kg/cm ² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por vol l=b=h=3dm ³	
W	184.99	0.52	26.00	26	lt
C	355.76	1.00	50.00	1	saco
AF	714.60	2.01	100.4	2.4	cajón
AG	1045.34	2.94	146.9	4.1	cajón
	2300.69				

Corrección por humedad

Material	Cantidad en Kg por @m3 de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de cemento	CA%	CH%	Corrección por humedad CA -CH		Cantidad corregida en Kg por saco de cemento
						%	Kg	
W	184.99	0.52	26.00	-	-	-	2.26	28.26
C	355.76	1.00	50.00	-	-	-	-	50.00
A	714.60	2.01	100.43	1.82	2.61	0.79	0.80	99.64
R	1045.34	2.94	146.92	2.18	1.19	0.99	1.46	145.46

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

Origen	Mina La Playa					
Ensayado por	Oscar Andachi					
Norma	NTE INEN 1579:2013					
Dato	Mina					
	LP210-1	LP210-2	LP210-3	LP280-1	LP280-2	LP280-3
Fecha Elaboración	16-Ene-20			09-Ene-20		
Hora Elaboración	16H00			16H00		
Densidad teórica (Kg/m ³)	2338.630			2353.800		
Peso(Kg)	3.67	3.67	3.67	3.70	3.69	3.69
Volumen Molde(m ³)	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Densidad H. fresco experimental (Kg/m ³)	2335.12	2337.03	2335.76	2352.31	2348.49	2347.22
Densidad promedio	2335.972			2349.341		
Asentamiento(cm)	6.5	7.5	7	6.5	7	6.5
Consistencia	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
Trabajabilidad	Buena	Regular	Buena	Regular	Buena	Buena
Homogeneidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Contenido de aire(%)	0.11			0.19		
Rendimiento Relativo	1.0			1.0		

Origen	Cantera Salvador					
Ensayado por	Oscar Andachi					
Norma	NTE INEN 1579:2013					
Dato	Mina					
	S210-1	S210-2	S210-3	S280-1	S280-2	S280-3
Fecha de elaboración	23-Ene-20			21-Ene-20		
Hora de elaboración	10H00			16H00		
Densidad teórica (Kg/m ³)	2285.230			2300.690		
Peso(Kg)	3.58	3.59	3.58	3.60	3.62	3.61
Volumen Molde(m ³)	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
Densidad H. fresco experimental (Kg/m ³)	2278.46	2282.28	2279.74	2290.56	2303.29	2296.29
Densidad promedio	2280.162			2296.714		
Asentamiento(cm)	6.5	7.5	7	7	7	6.5
Consistencia	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica	Plástica
Trabajabilidad	Regular	Buena	Buena	Regular	Buena	Buena
Homogeneidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Contenido de aire(%)	0.22			0.17		
Rendimiento Relativo	1.000			1.000		

c) Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos.

Cilindros para ensayos de prueba (7 y 14 días).

Origen		Mina La Playa								
Ensayado por		Oscar Andachi								
Norma		NTE INEN 1573:2010								
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros				Resultados ensayo		
				#	ϕ (mm)	h(mm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio
LP210	7	04-12-19	11-12-19	1	10.10	20.20	3.821	110	13.5	13.7
LP210	7			2	10.20	20.00	3.824	117	14.1	
LP210	7			3	10.20	19.90	3.826	111	13.6	
LP280	7		11-12-19	1	10.20	20.20	3.830	150	18.3	18.3
LP280	7			2	10.30	20.10	3.832	152	18.2	
LP280	7			3	10.10	20.10	3.833	148	18.5	
LP210	14	04-12-19	18-12-19	1	10.00	20.20	3.814	140	17.8	17.8
LP210	14			2	10.30	20.30	3.816	152	18.2	
LP210	14			3	10.10	20.10	3.808	139	17.4	
LP280	14		18-12-19	1	10.20	20.20	3.829	192	23.5	23.4
LP280	14			2	10.30	20.30	3.828	199	23.9	
LP280	14			3	10.20	20.00	3.834	186	22.8	

Origen		Cantera Salvador								
Ensayado por		Oscar Andachi								
Norma		NTE INEN 1573:2010								
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros				Resultados ensayo		
				#	ϕ (mm)	h(mm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio
S210	7	09-12-19	16-12-19	1	10.10	20.30	3.821	111	13.9	13.9
S210	7			2	10.30	20.10	3.824	13.6	13.6	
S210	7			3	10.10	19.90	3.826	14.2	14.2	
S280	7		16-12-19	1	10.20	20.20	3.830	149	18.2	18.3
S280	7			2	10.30	20.10	3.832	154	18.5	
S280	7			3	10.20	20.10	3.833	150	18.3	
S210	14	09-12-19	23-12-19	1	10.00	20.10	3.814	137	17.5	17.5
S210	14			2	10.20	20.30	3.816	148	18.1	
S210	14			3	10.20	20.10	3.808	138	16.9	
S280	14		23-12-19	1	10.30	20.20	3.829	186	22.3	22.6
S280	14			2	10.30	20.10	3.828	191	22.9	
S280	14			3	10.10	20.20	3.834	181	22.6	

d) Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos.

Cilindros para ensayos definitivos (7, 14, 21 y 28 días).

Origen		Mina La Playa									
Ensayado por		Oscar Andachi									
Norma		NTE INEN 1573:2010									
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros				Resultados ensayo			
				#	ϕ (mm)	h(mm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio	
LP210	7	16-01-20	23-01-20	1	10.30	20.30	3.77	114	13.7	13.90	
LP210	7			2	10.20	20.20	3.82	115	14.1		
LP210	7			3	10.30	20.30	3.90	116	13.9		
LP210	14		30-01-20	30-01-20	1	10.30	20.00	3.88	144	17.3	17.67
LP210	14				2	10.20	20.30	3.87	147	18	
LP210	14				3	10.25	20.30	3.86	146	17.7	
LP210	22		07-02-20	07-02-20	1	10.15	20.30	3.82	183	22.6	22.43
LP210	22				2	10.15	20.40	3.76	174	21.5	
LP210	22				3	10.15	20.40	3.75	188	23.2	
LP210	28		14-02-20	14-02-20	1	10.20	20.00	3.83	203	24.8	24.60
LP210	28				2	10.20	20.20	3.83	201	24.6	
LP210	28				3	10.20	20.20	3.83	199	24.4	
LP280	7	09-01-20	16-01-20	1	10.10	20.30	3.82	148	18.5	18.53	
LP280	7			2	10.25	20.30	3.83	156	18.9		
LP280	7			3	10.10	20.30	3.82	146	18.2		
LP280	14		23-01-20	23-01-20	1	10.15	20.30	3.86	183	22.6	23.10
LP280	14				2	10.25	20.40	3.81	192	23.5	
LP280	14				3	10.15	20.40	3.92	188	23.2	
LP280	21		30-01-20	30-01-20	1	10.30	20.30	3.81	217	26.1	25.83
LP280	21				2	10.30	20.40	3.82	215	25.8	
LP280	21				3	10.30	20.40	3.81	213	25.6	
LP280	28		06-02-20	06-02-20	1	101.00	20.00	3.90	259	32.3	30.00
LP280	28				2	10.10	20.00	3.83	194	24.2	
LP280	28				3	10.10	20.00	3.83	268	33.5	

Observación: Los cilindros correspondientes a “Mina La Playa” para la resistencia a la compresión de 21 Mpa a la edad de 21 días (LP210) fueron ensayados a los 22 días, debido al mantenimiento de los equipos de laboratorio, esto no influye de ninguna forma en la determinación del Módulo de elasticidad estático.

Origen		Cantera Salvador									
Ensayado por		Oscar Andachi									
Norma		NTE INEN 1573:2010									
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo				
				#	ϕ (mm)	h(mm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio	
S210	7	23-01-20	30-01-20	1	10.10	20.00	3.82	105	13.1	13.97	
S210	7			2	10.12	19.90	3.74	112	13.9		
S210	7			3	10.13	20.00	3.72	120	14.9		
S210	14		06-02-20	06-02-20	1	10.25	20.00	3.76	114	17.5	18.00
S210	14				2	10.25	20.30	3.88	155	18.8	
S210	14				3	10.25	20.30	3.68	146	17.7	
S210	22		14-02-20	14-02-20	1	10.30	20.40	3.69	173	20.8	20.90
S210	22				2	10.20	20.30	3.72	172	20.7	
S210	22				3	10.30	20.30	3.76	177	21.2	
S210	28		21-02-20	21-02-20	1	10.30	20.30	3.75	186	22.3	22.60
S210	28				2	10.30	20.40	3.83	193	23.2	
S210	28				3	10.10	20.50	3.83	186	22.3	
S280	7	21-01-20	28-01-20	1	10.20	20.20	3.83	159	19.5	18.93	
S280	7			2	10.30	20.10	3.83	154	18.8		
S280	7			3	10.20	20.10	3.71	145	18.5		
S280	14		04-02-20	04-02-20	1	10.23	20.30	3.72	193	23.5	23.50
S280	14				2	10.23	20.00	3.76	192	23.4	
S280	14				3	10.23	20.00	3.68	194	23.6	
S280	21		12-02-20	12-02-20	1	10.30	20.30	3.79	226	27.1	25.50
S280	21				2	10.30	20.20	3.81	198	23.8	
S280	21				3	10.30	20.40	3.72	213	25.6	
S280	28		18-02-20	18-02-20	1	10.30	20.30	3.80	234	28.1	28.83
S280	28				2	10.30	20.10	3.75	240	28.8	
S280	28				3	10.30	20.40	3.83	247	29.6	

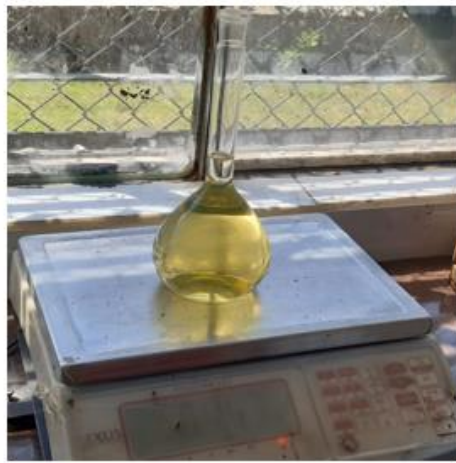
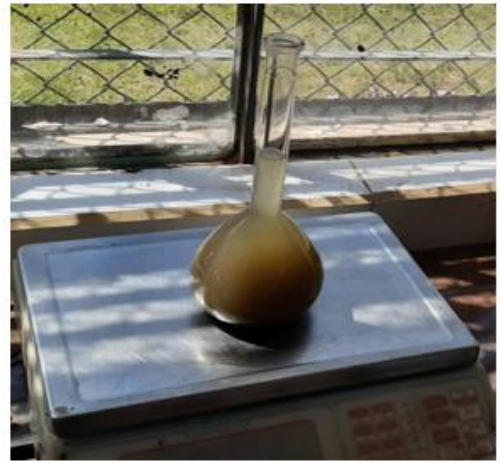
Observación: Los cilindros correspondientes a “Cantera Salvador” para la resistencia a la compresión de 21 Mpa a la edad de 21 días (S210) fueron ensayados a los 22 días, debido al mantenimiento de los equipos de laboratorio, esto no influye de ninguna forma en la determinación del Módulo de elasticidad estático.

Anexo fotográfico

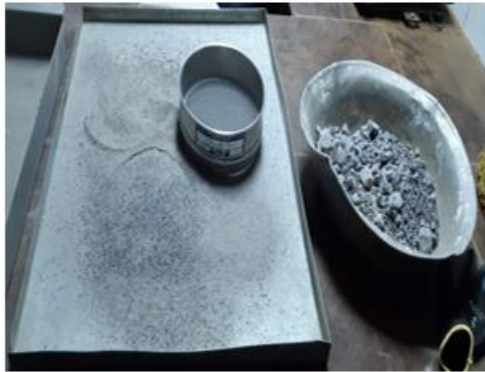
MUESTREO DE LOS AGREGADOS



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO



ENSAYO DE ABRASIÓN



GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS



DENSIDAD REAL DE LOS AGREGADOS



DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA



ENSAYOS REALIZADOS EN EL HORMIGÓN

