



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL
HORMIGÓN ESTRUCTURAL EN BASE A SU RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN, FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS
TRÓPICO DE CAPRICORNIO Y SANTA ISABEL, UBICADAS EN EL
SECTOR EL BARRANCO CANTÓN MERA EN LA PROVINCIA DE
PASTAZA”**

AUTOR: Flores Medina Pablo Xavier

TUTOR: Ing.Mg. Wilson Santiago Medina Robalino

AMBATO-ECUADOR

Septiembre-2020

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema “**ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS TRÓPICO DE CAPRICORNIO Y SANTA ISABEL, UBICADAS EN EL SECTOR EL BARRANCO CANTÓN MERA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA.**” elaborado por el Sr. Flores Medina Pablo Xavier portador de la cédula de ciudadanía: 1600658718, 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.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2020



Ing. Mg. Wilson Santiago Medina Robalino

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Flores Medina Pablo Xavier, con CI. 1600658718 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS TRÓPICO DE CAPRICORNIO Y SANTA ISABEL, UBICADAS EN EL SECTOR EL BARRANCO CANTÓN MERA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA”**, 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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Pablo Flores', is written over a horizontal line.

Flores Medina Pablo Xavier

C.I: 1600658718

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



Flores Medina Pablo Xavier

C.I: 1600658718

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 FLORES MEDINA PABLO XAVIER de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS TRÓPICO DE CAPRICORNIO Y SANTA ISABEL, UBICADAS EN EL SECTOR EL BARRANCO CANTÓN MERA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA”**.

Ambato, Septiembre 2020

Para constancia firman:



Ing. MSc Suquillo Ronquillo Betzabeth Jessenia

Miembro del tribunal



Ing.Msc,Ureña Aguirre Maritza Elizabeth

Miembro del tribunal

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios, ya que sin él no hubiese encontrado la fuerza para finalizar esta linda etapa de mi vida. A mis padres Mileni y Luis Alberto que, sin su guía, sus consejos y su amor todo lo que he logrado sería imposible, por haber hecho un enorme sacrificio demostrándome que, con trabajo duro, se hacen realidad nuestros mayores sueños, y por darme la mejor herencia que es la educación,

A mi hermana Nathaly Carolina, a mi Abuela Lolita que son unos de mis pilares para seguir adelante y no rendirme nunca.

Y no podría faltar mi amada Mickella, que durante años siempre fue y ha sido un gran apoyo en mi vida, y a pesar de los ases del destino aun extraño su calor, extraño como la luna quedaría atrapada en sus ojos, el refugio de sus brazos al mi alrededor, silenciando caos de la tormenta, el trueno de sus respiraciones sobre mí, recordándome que no estoy solo. Esto también es para ti.

AGRADECIMIENTO

A mis Padres por todo el apoyo que me han brindado, A mi padre Luis Alberto que en la adversidad siempre tuvo la fortaleza para darme todo lo necesario al igual que mi madre Mileni.

Agradezco a quienes estuvieron a lo largo de este largo camino, A Juan Fernando Escobar que ha sido más que un hermano, que la vida nos permita construir más de lo que soñamos, como colegas, como profesionales y como amigos.

Al Ing. Santiago Medina, por compartir sus conocimientos y guiarme en la elaboración del presente proyecto de titulación.

A todas aquellas personas que no confiaron en mí. Gracias a ellas he demostrado que con esfuerzo y dedicación todo es posible

Dios, Patria y Ciencia

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación	4
1.1.3 Fundamentación Teórica	6
1.1.3.1 Hormigón	6
1.1.3.1.1 Diseño para mezclas de hormigón	6
1.1.3.1.2 Propiedades del hormigón en estado fresco	9
1.1.3.1.3 Propiedades del hormigón en estado endurecido	12
1.1.3.2 Agregados	17
1.1.3.2.1 Definición	17
1.1.3.2.2 Clasificación	18
1.1.3.2.3 Características de los áridos	21
1.1.3.3 Cemento portland	29
1.1.3.3.1 Definición	29

1.1.3.3.2 Tipos de cemento portland.....	30
1.1.3.3.3 Requisitos de los cementos	31
1.1.3.4 Agua.....	32
1.1.3.4.1 Agua de amasado	32
1.1.3.4.2 Agua de curado	32
1.1.3.4.3 Agua para el lavado de áridos	33
1.1.3.5 Aditivo	33
1.1.4 Hipótesis.....	34
1.2 Objetivos	35
1.2.1 Objetivo General	35
1.2.2 Objetivos Específicos	35
CAPÍTULO II	36
METODOLOGÍA	36
2.1 Tipo de investigación.....	36
2.2 Población	37
2.3 Muestra	37
2.4 Materiales y equipos.....	37
2.4.1 Materiales.....	37
2.4.2 Equipos	38
2.5 Métodos	39
2.5.1 Plan de recolección de datos	39
2.5.2 Plan de Procesamiento y Análisis de Información	40
CAPÍTULO III.....	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	42
3.1.1 Determinación de la densidad real del cemento	42

3.1.2 Ensayos en los áridos para determinar su aptitud para utilizarlos en el hormigón estructural	43
3.1.2.1 Toma y reducción de muestras.....	43
3.1.3 Análisis granulométrico en los áridos.....	44
3.1.3.1 Análisis granulométrico en el árido fino	44
3.1.3.2 Análisis granulométrico en el árido grueso.....	47
3.1.4 Determinación de la densidad SSS del árido fino y grueso	50
3.1.5 Determinación de la capacidad de absorción en los áridos fino y grueso .	51
3.1.6 Determinación de la densidad suelta y compactada de los agregados.....	52
3.1.7 Condición mezcla del árido grueso más fino.....	53
3.1.8 Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles	55
3.1.9 Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No.200), mediante lavado	56
3.1.10 Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón	56
3.1.11 Diseño de mezclas con el método de la densidad óptima.....	57
3.1.12 Diseño de mezcla final.....	60
3.1.12.1 Ensayos realizados con la dosificación final.....	62
3.1.12.1 Ensayos del hormigón en estado fresco	62
3.1.12.2 Ensayos del hormigón en estado endurecido	63
3.1.13 Determinación del MEE del hormigón; ASTM C469-02.....	65
3.1.13.1 Análisis de los resultados del MEE y sus factores locales	72
3.1.14 Verificación de hipótesis	76
CAPÍTULO IV	77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

ANEXOS	82
ANEXO EA. RESULTADO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS	82
a) Análisis granulométrico en el árido fino: INEN 696:2011	82
b) Análisis granulométrico en el árido grueso: INEN 696:2011	83
c) Ensayo de la densidad del árido fino y capacidad de absorción: NTE INEN 856 84	
d) Ensayo de la densidad SSS del árido grueso y capacidad de absorción: NTE INEN 857	86
e) Ensayo densidad suelta de los agregados: NTE INEN 858	88
f) Ensayo de abrasión: NTE INEN 860	91
g) Material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No.200). mediante lavado: INEN 697:2010	92
h) Colorimetría: INEN 855:2010.....	93
ANEXO DISEÑO DE MEZCLAS. – Diseño de mezclas de prueba.....	94
a) Diseños de mezclas únicos.....	94
b) Estado fresco: Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico); NTE INEN 1579.....	97
c) Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico INEN 1573 dosificación final única	98
ANEXO FOTOGRÁFICO.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos requeridos por el método de la densidad óptima	7
Tabla 2. Cantidad de pasta según asentamientos	8
Tabla 3. Resistencia a la compresión del hormigón para relación a/c	8
Tabla 4. Consistencia de los hormigones en estado fresco	10
Tabla 5. Clasificación según su tamaño	19
Tabla 6. Interpretación de color	24
Tabla 7. Requisitos de gradación para árido fino.....	26
Tabla 8. Requisitos de gradación para árido grueso	27
Tabla 9. Principales componentes del cemento portland.....	29
Tabla 10. Requisitos que deben cumplir los cementos	31
Tabla 11. Número de probetas a ser elaboradas en fase final	37
Tabla 12. Resultados densidad real del cemento	42
Tabla 13. Ensayos realizados en los áridos para su caracterización	43
Tabla 14. Resumen granulometría árido fino Trópico de Capricornio	44
Tabla 15. Resumen granulometría en el árido fino Santa Isabel.....	45
Tabla 16. Resumen granulometría en el árido grueso Trópico de Capricornio	47
Tabla 17. Resumen granulometría árido grueso Santa Isabel	48
Tabla 18. Resumen densidades SSS obtenidas para los áridos finos.....	50
Tabla 19. Resumen densidades SSS obtenidas para los áridos gruesos.....	50
Tabla 20. Resumen capacidades de absorción para los áridos finos.....	51
Tabla 21. Resumen capacidades de absorción áridos gruesos	51
Tabla 22. Densidades aparentes en los áridos gruesos para condiciones: suelta y compactada.....	52
Tabla 23. Densidades aparentes en los áridos finos para condiciones: suelta y compactada.....	52

Tabla 24.Densidad aparente para una mezcla de árido grueso con árido fino	53
Tabla 25.Densidad Aparente para mezcla de árido grueso con árido fino.....	54
Tabla 26.Porcentajes de desgaste del árido grueso	55
Tabla 27.Coefficientes de uniformidad del árido grueso	55
Tabla 28. Resultados para el material más fino que pasa el tamiz No.200.....	56
Tabla 29. Resultados del ensayo de colorimetría.....	56
Tabla 30.Resumen de las propiedades en el árido fino.....	58
Tabla 31.Resumen de las propiedades del árido grueso	58
Tabla 32.Densidades aparentes para una mezcla de árido grueso con fino y %.....	59
Tabla 33.Resumen ensayo del hormigón en estado fresco	62
Tabla 34.Resumen ensayos del hormigón en estado endurecido: Edad vs Esfuerzo. 63	
Tabla 35.Resumen ensayos del hormigón en estado endurecido: Edad vs Esfuerzo. 64	
Tabla 36.MEE y factores locales (ka, kb).....	68
Tabla 37.MEE y factores locales (ka, kb).....	69
Tabla 38.MEE y factores locales (ka, kb).....	70
Tabla 39.MEE y factores locales (ka, kb).....	71
Tabla 40. Comparativa entre MEE experimental vs teórico del hormigón	72
Tabla 41.Factores de zona para MEE del concreto.....	74
Tabla 42.Factores de zona para MEE del concreto.....	75
Tabla 43.Factores locales redondeados ka y kb obtenidos	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de distribución a la resistencia de los hormigones.....	13
Figura 2. Curva genérica esfuerzo-deformación unitaria.....	14
Figura 3. Curva típica de Esfuerzo vs Deformación para el concreto bajo compresión, y puntos para definir el MEE según ASTM C-469-02	15
Figura 4. Árido fino	20
Figura 5.Árido grueso	20
Figura 6.Humedad superficial de los agregados	22
Figura 7.Curvas envolventes y sus límites.....	25
Figura 8. Curva granulométrica del árido fino Trópico de Capricornio	44
Figura 9.Curva granulométrica del árido fino Santa Isabel	46
Figura 10.Curva granulométrica del árido grueso Trópico de Capricornio	47
Figura 11.Curva granulométrica del árido grueso Santa Isabel	49
Figura 12.Comparación en función de la resistencia a la compresión 21 Mpa.....	59
Figura 13:Comparación en función de la resistencia a la compresión 28 Mpa	60
Figura 14.Comparativa MEE experimental vs MEE teórico	73
Figura 15.Comparativa MEE experimental vs MEE teórico	73

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental se inició con la toma de muestras de los agregados de las dos minas, siguiendo los lineamientos de la norma INEN 695 y su posterior reducción a tamaño de ensayo según INEN 2566; por consiguiente, se desarrollaron los estudios de caracterización de los áridos para decretar su aptitud a ser utilizados en el hormigón estructural señalados en la INEN 872; además de conseguir la densidad real del cemento INEN 156. En base a lo anterior se desarrolló el diseño de mezclas con su respectiva dosificación para las resistencias a la compresión del hormigón de 21 y 28 Mpa, con ayuda del método de la densidad óptima.

Se utilizó una dosificación única debido a que en los ensayos de prueba si alcanzaron las resistencias esperadas; a continuación, se ensayó un total de 84 probetas según INEN 3124, con sus respectivos ensayos en estado fresco tales como: toma de muestras INEN 1763, densidad, contenido de aire y rendimiento INEN 1579, asentamiento INEN 1578; así como en estado endurecido obteniéndose las resistencias a la compresión INEN 1573 a edades de 7, 14, 21 y 28 días, posibilitando graficar las curvas edad vs resistencia a la compresión y esfuerzo vs deformación del hormigón estructural.

Finalmente, el módulo de elasticidad estático del hormigón (MEE) se lo determinó siguiendo la normativa ASTM C469 y en función de esto se proponen las constantes para su adaptación local según sea la procedencia del material y ecuación utilizada que se presenta en el presente trabajo experimental.

ABSTRACT

The present experimental work began with the sampling of the aggregates of the two mines, following the guidelines of INEN 695 and their subsequent reduction to test size according to INEN 2566; Therefore, arid characterization studies were developed to decree their suitability to be used in structural concrete identified in INEN 872; in addition to achieving the actual density of INEN 156 cement. Based on the above, the design of mixtures with their respective dosage was developed for the compression resistances of the 21 and 28 Mpa concrete, with the help of the optimal density method.

A single dosage was used because in test trials if they achieved the expected resistances; a total of 84 specimens were then tested according to INEN 3124; with their respective fresh trials such as: INEN 1763 sampling, density, air content and INEN 1579 performance, INEN 1578 settlement; as well as in hardened state obtaining the resistances to INEN 1573 compression at ages 7, 14, 21 and 27 days, making it possible to graph the curves age vs resistance to compression and stress vs deformation of structural concrete.

Finally, the static elasticity modulus of concrete was determined according to ASTM C469 and accordingly the constants are proposed for local adaptation depending on the origin of material equation used that is presented in the present experimental work.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

En el antiguo Imperio Romano el uso del hormigón como material constructivo tanto en pequeñas como en grandes estructuras alcanzó un grado alto de satisfacción debido a la gran habilidad en obra de los romanos y la facilidad de conseguir cerca de Roma arenas volcánicas con propiedades cementicias, con las que se preparaba un mortero mezclando dichas arenas con piedras naturales. Este mortero poseía propiedades físicas y mecánicas prácticamente idénticas a las que posee el hormigón utilizado en la actualidad. [1]

Durante la edad media y el renacimiento el hormigón fue poco empleado, posiblemente no se usó en gran escala por la mala calidad debida a una cocción incompleta de la cal, descuido en la mano de obra y carencia de tobas volcánicas. Después del siglo XII, mejoró la calidad y de nuevo se utilizó gracias a una perfecta calcinación de la cal y al uso de algún material similar en propiedades a las piedras volcánicas. En América, hay muestras de desarrollo de materiales cementantes y estructuras imponentes como las ciudades construidas por los Mayas y los Aztecas en México o las construcciones de Machu Pichu en el Perú, entre otras. Obras que resultan tan importantes como las pirámides de Egipto, e indican el gran desarrollo de la Ingeniería y de la tecnología del hormigón, en esas civilizaciones precolombinas. [2]

A mediados del siglo XVII el matemático inglés, Robert Hooke desarrolló el estudio de la resistencia de los materiales y publica su investigación que aún se mantiene vigente hasta la actualidad denominada Ley de Hooke, principio que menciona la

variación de deformación unitaria sea directamente proporcional a la variación de esfuerzo, siempre que no se sobrepase el límite elástico. En 1810 Thomas Young basado en la ley de Hooke, definió el módulo de elasticidad (E) propio de cada material, como la constante de proporcionalidad entre deformaciones y esfuerzos. [3]

En Latinoamérica la demanda del cemento portland como elemento para la construcción creció durante las tres primeras décadas del siglo XX debido a la expansión industrial dinámica y competitiva. Los países como Argentina y Brasil absorbían con creces más de la mitad de los materiales necesarios para la elaboración del concreto lo que generó una apremiante necesidad de analizar las características de dichos elementos. [4]

La necesidad de contar con un hormigón estructural de calidad hace indispensable conocer las propiedades físico-mecánicas de los agregados puesto que dentro de la mezcla son un componente dinámico. Investigaciones recientes en México D.F han determinado variaciones en sus características durante los procesos de explotación, manejo y transporte. [5]

Para la determinación del Módulo de Elasticidad del hormigón en el Ecuador se han acogido ecuaciones y valores impuestos por establecimientos internacionales como el American Concrete Institute (A.C.I), las cuales se basan en estudios realizados en su medio y con sus propios materiales, no obstante, estas ecuaciones no garantizan un comportamiento similar con los concreto de nuestro medio. [6] [7]

Las investigaciones acerca de los conglomerados con los que se trabajan en la Provincia de Pastaza, han sido escasas y desarrolladas únicamente de manera superficial sin profundizar la determinación de las propiedades más importantes. Por tal motivo al no tener datos sobre estas investigaciones, no ha sido posible estudiar a profundidad el Módulo de elasticidad del hormigón fabricado con estos agregados.

Con el presente trabajo experimental se pretende obtener una constante para el cálculo del Módulo de Elasticidad Estático del Hormigón, con la finalidad de que este valor sea confiable para el dimensionamiento de estructuras de hormigón estructural, cuando se utilice agregados provenientes de las minas “Trópico de Capricornio” y “Santa Isabel” de la parroquia Madre Tierra, Provincia de Pastaza.

1.1.2 Justificación

El hormigón ha alcanzado gran importancia como material estructural en nuestro medio, debido a que entre otros factores puede adaptarse fácilmente a una gran variedad de moldes, adquiriendo formas arbitrarias, de dimensiones variables, gracias a su consistencia plástica en estado fresco. [8]

Una de las propiedades más importantes del hormigón es su Módulo Estático de Elasticidad o medida de rigidez; es decir, una medida de resistencia del material a las deformaciones axiales. Los agregados gruesos y finos son elementos de mayor volumen, a más del cemento, agua y aditivos; por lo cual, es necesario conocer: sus características, propiedades físicas y mecánicas; puesto que, de esta forma podemos entender mejor el comportamiento del hormigón como material estructural. [9]

Hay que poner énfasis en que, en nuestro país, se han adoptado ecuaciones y valores impuestos por institutos internacionales tales como: American Concrete Institute (A.C.I) y el American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.), los cuales se basan en investigaciones realizadas en su medio y con sus propios materiales; sin embargo, estas ecuaciones no aseguran un comportamiento similar a los hormigones de nuestro medio. [10]

El Comité del American Concrete Institute (A.C.I) recomienda determinados valores referenciales con la finalidad de ofrecer seguridad, estos son: $E_c = 4700\sqrt{f'c}$ (MPa), donde $f'c$ es el esfuerzo a la compresión del hormigón, sin considerar las propiedades de los materiales locales que forman parte del hormigón en cada zona de nuestro país. [11]

Además, el mencionado comité relaciona el módulo de elasticidad con la resistencia a la compresión simple y el peso unitario del hormigón. Plantea valores para hormigones

con peso unitario entre 1500 y 2500 Kg/m³ de $E_c = wc^{1.5}0.14\sqrt{f'_c}$ (Kg/cm²) y para hormigones de peso normal puede considerarse $E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$ (Kg/cm²). [12]

Es por esta razón que nos proponemos desarrollar la presente investigación del cálculo del Módulo de Elasticidad Estático, proponiendo una constante acorde a los materiales de las minas más utilizadas para construcciones civiles, que son: “Trópico de Capricornio” y “Santa Isabel” de la parroquia Madre Tierra, provincia de Pastaza; lo que permitirá brindar mayor certeza en los diseños con hormigón estructural.

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Hormigón

Definición

El hormigón es una mezcla de grava, arena, roca triturada y otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de un material cementante y agua. En ciertas ocasiones se agregan aditivos para modificar ciertas características del concreto, tales como la durabilidad, ductilidad y tiempo de fraguado. [13]

Al igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene una muy baja resistencia a la tensión, pero una alta resistencia a la compresión. Las propiedades del hormigón dependen de la calidad y las proporciones de los elementos de la mezcla, igualmente de las condiciones de temperatura y humedad durante los procesos de elaboración, colocación y fraguado del hormigón. [13]

1.1.3.1.1 Diseño para mezclas de hormigón

La dosificación de hormigones tiene por finalidad encontrar las proporciones que hay que mezclar a los diferentes componentes de estos para conseguir combinaciones que posean determinadas características como: resistencia, durabilidad, consistencia, etc. [14]

El cálculo teórico de las proporciones en que hay que mezclar a los componentes no exime de la comprobación experimental para la puesta a punto de la composición a adoptar. El diseño del concreto se realizará mediante el método de la Densidad Óptima, la característica principal de este método es que se lo puede aplicar con agregados que presenten una granulometría deficiente respecto a las normas y límites que se recomienda en el A.C.I, dicho método consiste en obtener una combinación del árido grueso con el árido fino de la cual se tenga el menor porcentaje de vacíos. [14]

❖ Método de la densidad óptima

Este método consiste en determinar las densidades óptimas para la mezcla de los áridos y la cantidad de agua y pasta para ocupar los espacios vacíos que dejan los agregados. El objetivo principal es obtener la pasta necesaria para cubrir cada partícula de agregado con la finalidad de generar enlaces entre ellas, y así conseguir un hormigón estructural con la resistencia deseada. [15]

La tabla 1, 2 y 3 señala los datos necesarios para la dosificación de hormigones aplicando el método ya mencionado.

Tabla 1. Datos requeridos por el método de la densidad óptima

Datos requeridos para la dosificación	Nomenclatura
Resistencia del hormigón a los 28 días	f _c
Asentamiento en el Cono de Abrams	Asent
Densidad real del cemento	DRC
Densidad real árido fino	DRF
Densidad real árido grueso	DRG
Densidad suelta AF	DSAF
Densidad suelta AG	DSAG
Porcentaje óptimo de AF	POF
Porcentaje óptimo de AG	POG
Densidad óptima de la mezcla	DOM

Fuente: Marco Garzón

A continuación, se presentan las fórmulas de cálculo para 1m³ de hormigón

1. Densidad real de la mezcla (DRM)

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

2. Porcentaje óptimo de vacíos (POV)

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

3. Cantidad de pasta (CP)

Tabla 2. Cantidad de pasta según asentamientos

Asentamiento (cm)	Cantidad de pasta en dm ³
0-3	[POV + 2 + 0.03 (POV)]*10
3-6	[POV + 2 + 0.06 (POV)]*10
6-9	[POV + 2 + 0.08 (POV)]*10
9-12	[POV + 2 + 0.11 (POV)]*10
12-15	[POV + 2 + 0.13 (POV)]*10

Fuente: Marco Garzón

4. Relación a/c

Tabla 3. Resistencia a la compresión del hormigón para relación a/c

f _c en MPa a los 28 días	Relación agua/cemento (a/c)
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

Fuente: Marco Garzón

5. Cantidad de cemento (CC)

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

6. Cantidad de agua (CA)

$$CA = \frac{a}{w} * CC$$

7. Cantidad de árido fino (AF)

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

8. Cantidad de árido grueso (AG)

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

9. Dosificación

Al momento de dosificar para el árido fino, grueso y el agua se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Dosif al peso (Agua, Árido fino, Árido grueso)} = \frac{\text{Cant de material (CA,AF,o AG)}}{\text{Cantidad de cemento}}$$

1.1.3.1.2 Propiedades del hormigón en estado fresco

Denominamos hormigón fresco al hormigón que por poseer plasticidad tiene la facultad de poder moldearse. El hormigón fresco posee una vida que está comprendida entre el momento que abandona la hormigonera y aquel que se inicia el fraguado del cemento. [14]

❖ Consistencia

El concreto es un material formado por componentes de características muy dispares que hacen que pueda considerarse a éste, cuando se encuentra en pequeños volúmenes, como un material heterogéneo. [14]

Cuando el hormigón esta endurecido, los áridos que generalmente son los componentes más pesados quedan encapsulados por la pasta de cemento, pero cuando el hormigón está fresco estos componentes no se encuentran ligados por ella y por las acciones de transporte y puesta en obra pueden separarse con facilidad dando lugar a problemas de segregación y de exudación. [14] y [16]

El hormigón además de tener la consistencia adecuada debe rellenar perfectamente todos los huecos de un molde y adaptarse en las armaduras envolviéndolas para que se tenga una buena adherencia con ellas. [14] y [16]

Uno de los métodos para calcular el grado de consistencia del hormigón en su estado fresco es el cono de Abrams (Ver Tabla 4), se lo realiza con un molde en forma de cono truncado, se llena con la mezcla en tres capas de igual altura, compactando cada una con 25 golpes de varilla; luego se levanta el molde, y se mide el descenso de la mezcla en el punto central. [16]

Tabla 4. Consistencia de los hormigones en estado fresco

<i>Consistencia del hormigón</i>	<i>Ensayo de asentamiento Asentamiento, cm</i>
Hormigón seco.	0 - 1
Hormigón plástico.	3 - 10
Hormigón colado	10 - 15
Hormigón líquido	15 - 20
Segregación de los materiales (segregación)	superior a 20

Fuente: Obras de fábrica y metálicas

❖ **Trabajabilidad o Docilidad**

Es la facilidad que tiene un hormigón para ser amasado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación que se disponga. [17]

La docilidad de un hormigón depende del tipo de árido empelado siendo mayor, a igual de otras condiciones, con áridos rodados que con machacados. Por otra parte, la docilidad aumenta con el contenido de árido fino, con el incremento de cemento, con el uso de aditivos plastificantes y con el aumento de agua de amasado. [14] y [17]

❖ **Homogeneidad**

El hormigón es una mezcla de componentes solidos muy diferentes y de un líquido, por tal motivo y por su propia naturaleza, tiene que ser un material heterogéneo; sin embargo, al decir que un hormigón debe ser homogéneo se indica que debe ser uniformemente heterogéneo, es decir, que en cualquier parte de su masa los componentes del hormigón deben estar perfectamente mezclados y en la proporción prevista la diseñar la mezcla. [14]

La pérdida de homogeneidad se debe a la segregación o por decantación (los granos gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie, cuando la mezcla es muy líquida). [14] y [17]

❖ **Peso específico o densidad**

El peso unitario del concreto está determinado por la densidad del agregado grueso y por la cantidad de aire en la masa de hormigón terminado. El uso de agregados fuertes pero ligeros puede reducir el peso de la mezcla y las densidades bajas se alcanzan con la inclusión de aire hasta un 20% del volumen con el uso de agregados muy ligeros,

pero la resistencia y otras propiedades se reducen con rapidez. [18]. El valor de la densidad oscila entre 2155 y 2560 kg/m³ para hormigones armados a diferencia de los hormigones ligeros que esta entre 200 y los 1500 kg/m³ que dependen de la densidad real y de la proporción participante de los materiales que componen el hormigón. [17]

1.1.3.1.3 Propiedades del hormigón en estado endurecido

Las características de un hormigón endurecido dependen no solo de la propia naturaleza de este sino, de su edad y de las condiciones de humedad y temperatura a las que se ha estado sometiendo. [14]

❖ Resistencia a la compresión

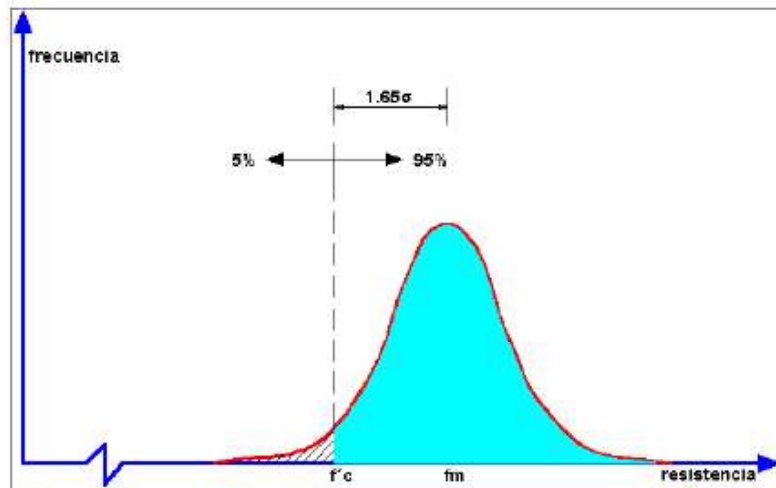
El hormigón es un material que resiste a las solicitaciones de compresión, tracción y flexión. La resistencia que presenta frente a los esfuerzos de compresión es la más elevada de todas, cifrándose, aproximadamente en unas diez veces de la tracción, y es la que más interés presenta en su determinación dado que en la mayor parte de las aplicaciones del hormigón, se hace uso de esa capacidad resistente a su relación con otras muchas propiedades del mismo. [14]

La resistencia a compresión del hormigón depende de muchos factores, unos inherentes a la calidad de este, otros a la forma y dimensiones de los cilindros y otros a las condiciones en que se lleva a efecto el ensayo. Se aplica la resistencia a la compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de las propiedades del concreto mejoraran al incrementarse esta resistencia. [14] y [18]

La resistencia a la compresión de un hormigón, utilizada en el diseño estructural f'_c se determina en términos probabilísticos, precisando de esta manera que solamente un reducido porcentaje de muestras (5%) (Figura 1), puedan tener resistencias inferiores

a las especificadas, lo que da a lugar a la resistencia media de la muestra que sea mayor a la resistencia característica. [8]

Figura 1. Curva de distribución a la resistencia de los hormigones



Fuente: Marcelo Romo Proaño

La resistencia a la compresión de un concreto ($f'c$) debe ser alcanzado a los 28 días con una adecuada relación Agua/ Cemento (Ver Tabla 3), después de vaciado y realizado el curado respectivo. La edad de 28 días se eligió en los momentos en que se comenzaba a estudiar a fondo la tecnología del concreto, por razones técnicas y prácticas. [17] y [18]

❖ Módulo de Elasticidad del hormigón

El módulo de elasticidad o módulo de deformación longitudinal de un hormigón es muy importante para determinar su forma de trabajar en las estructuras en las que se va a formar parte. [14]

El módulo de Young E o también conocido como módulo de elasticidad estático no tiene un valor único, sino que depende de las consideraciones que se hagan en su

determinación. Es un parámetro mecánico fundamental, que refleja la capacidad del concreto para deformarse elásticamente y se define como la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria (Figura 2) correspondiente a los esfuerzos de tensión y compresión [8]

Figura 2. Curva genérica esfuerzo-deformación unitaria



Fuente: Steven Kosmatka

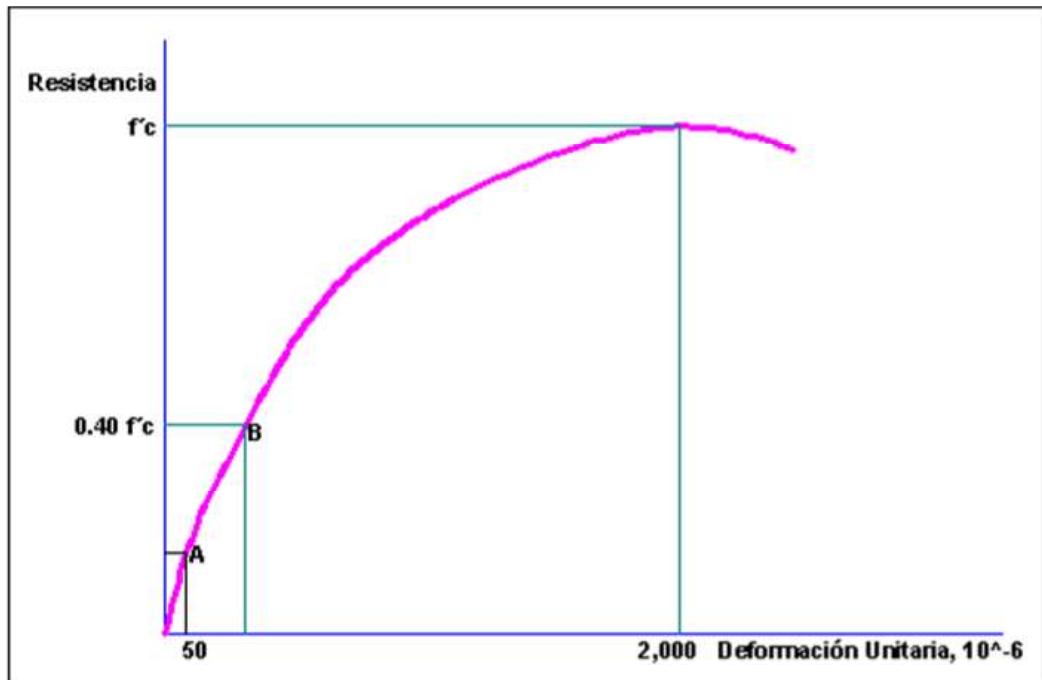
- **Métodos de determinación del módulo de elasticidad**

- I. Experimental**

La norma ASTM C469-02 [19] establece que para el cálculo del MEE se debe tomar en dos puntos de referencia del ensayo a compresión de probetas cilíndricas de hormigón

- El primer punto corresponde a una deformación unitaria específica de 0.000050 mm/mm (Punto A)
- EL segundo punto corresponde al 40% del esfuerzo máximo de rotura de la muestra ensayada (Punto B)

Figura 3. Curva típica de Esfuerzo vs Deformación para el concreto bajo compresión, y puntos para definir el MEE según ASTM C-469-02



Fuente: Erika Guaño

Por medio de la figura 3 podemos encontrar el valor de MEE mediante la tangente trigonométrica de la secante mediante la fórmula:

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

Donde:

S1= Esfuerzo correspondiente a la 50 millonésima deformación unitaria

S2= Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última

ε_2 = Deformación unitaria longitudinal producida por S2

II. Empírico

El ACI 318-14 en su literal [20]19.2.2.1 permite calcular el módulo de elasticidad, E_c para el concreto por medio de (a) o (b)

(a) Para valores de W_c entre 1440 y 2560 kg/m³

$$E_c = w_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'_c} \quad (\text{en Mpa}) \quad (19.2.2.1 \text{ a})$$

$$E_c = w_c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'_c} \quad (\text{en kg/ cm}^2) \quad (19.2.2.1 \text{ a})$$

(b) Para concreto de peso normal

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

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

Donde:

f'_c = Resistencia especificada a la compresión del concreto, Mpa

W_c = Densidad, peso unitario, del concreto de peso normal, kg/m³

❖ Permeabilidad

La permeabilidad de un hormigón es la facilidad que presenta este a ser atravesado por un fluido, bien sea líquido o gaseoso, y es consecuencia de la porosidad que posee la pasta hidratada y los áridos de una falta de compactación adecuada, e incluso de la exudación. El volumen de poros por estos últimos conceptos puede llegar a alcanzar el 10% del hormigón, siendo consecuencia de un deficiente estudio de la mezcla. [14]

❖ Resistencia a la Tracción

El hormigón es un material que presenta una resistencia a tracción baja, del orden de la décima parte de su resistencia a compresión. Esta debilidad de la resistencia a tracción es causa de la fisuración del mismo. [14]

La determinación de la resistencia a tracción del hormigón tiene importancia en determinados casos, especialmente cuando se quiere conocer su comportamiento frente a fisuración. La fisuración del hormigón se produce como consecuencia del agotamiento de este frente a tracción cuando está sometido a esfuerzos de flexotracción o de cortante debidos a sollicitaciones mecánicas. [14]

En la resistencia a tracción tiene una gran influencia la naturaleza, procedencia y tamaño de los áridos, así como su limpieza, (los áridos procedentes de machaqueo y de menor tamaño dan los valores más altos), el contenido del cemento y la edad del hormigón. [14]

1.1.3.2 Agregados

1.1.3.2.1 Definición

La NTE INEN 694 señala que los agregados son materiales granulares que resulta de la separación y desgaste de las rocas o mediante la trituración de estas y se utiliza con una pasta cementante para fabricar concreto. [21]

Los áridos que se usan en el concreto ocupan las tres cuartas partes del volumen total del concreto, el volumen restante está conformado por pasta endurecida de cemento, agua sin combinar y burbujas de aire. Deben ser limpios, sin defectos, resistentes, y de calidad uniforme, no deben contener fragmentos blandos, pulverizables, delgados o

laminados y tampoco sustancias como carbón mineral mantillo o humus ni otra materia orgánica. [13] y [21]

1.1.3.2.2 Clasificación

❖ Por su origen

a) Naturales (árido rodado)

Son aquellos materiales que se localizan de esta forma en la naturaleza y son recolectados directamente en el sitio de su yacimiento sin previa transformación. Los agregados de origen natural son los más utilizados debido a su calidad y por su granulometría pueden ser muy variables lo que obliga a veces a realizar con ellos algún proceso de lavado para eliminar excesos de finos. [22] y [14]

b) Artificiales

Son elementos que necesitan algún proceso artificial para transformarles en áridos. A su vez podemos distinguir entre ellos los de machaqueo que son obtenidos por trituración de roca (granitos, calizos, basálticos, etc.); y, de su transformación térmica que a su vez pueden ser los obtenidos sometiendo a un árido a cocción (arcillas expandidas), y los resultantes como subproductos de procesos industriales (escorias de alto horno). [22] y [14]

❖ Por su naturaleza o composición

La estructura dependerá de la roca de la que provengan y en este sentido hay que tener en cuenta que, en la descomposición de las rocas por procesos naturales, algunos minerales se transforman por tal motivo un árido natural solamente encontraremos partículas de las más estables. [22] y [10]

❖ **Por su yacimiento**

Los agregados se pueden encontrar en distintos lugares y atendiendo a ellos se pueden clasificar según su lugar de procedencia. [22]

- a) **De río.** – Aquellos que se encuentran en los cursos de ríos actuales.
- b) **De playa o de mar.**– Son los recogidos en zonas costeras, dependiendo del tipo de roca de la zona, estos áridos están frecuentemente impregnados de salitre. Su posible utilización para construir hormigones debe postponerse a un lavado más intenso cuando mayor sea la proporción de cloruros. [23]
- c) **De canteras.** – Se denomina así a todos los áridos de aluvión, que se encuentran en los depósitos sedimentarios de valles y antiguas cuencas fluviales y se presentan en forma de estratos o lentejones. [23]

❖ **Por su tamaño**

Para determinar el tamaño de una partícula o grano de un agregado se toma la mayor dimensión posible, es decir, el diámetro de la circunferencia circunscrita a ese grano. Para realizar la clasificación por su tamaño se utiliza una serie de tamices, haciendo pasar una muestra del árido por ellas. [22] y [23]

Tabla 5. Clasificación según su tamaño

TAMANO DE LA PARTICULA EN mm	DENOMINACION CORRIENTE	CLASIFICACION
Pasante del tamiz N° 200 inferior a 0.002 mm Entre 0.002 – 0.074 mm	Arcilla Limo	Fracción fina o finos
Pasante del tamiz N° 4 y retenido en el tamiz N° 200 Es decir entre 4.76 mm y 0.074 mm	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz N° 4 Entre 4.76 mm y 19.1 mm (N° 4 y ¾") Entre 19.1 y 50.8 mm (¾" y 2") Entre 50.8 mm y 152.4 mm (2" y 6") Superior a 152.4 mm (6")	Gravilla Grava Piedra Rajón, Piedra bola	Agregado grueso

Fuente: El concreto y otros materiales para la construcción

a) Árido fino o arena

Árido o fracción de este que pasa por el tamiz N°4 y retenido en el tamiz N°200 es decir con una dimensión entre 4.76 mm y 0.074 mm. El material deberá estar libre de contaminación con arcillas, limo o materia orgánica para elaborar un hormigón de excelente calidad. [22]

Figura 4. Árido fino



Fuente: Pablo Flores Medina

b) Árido grueso o ripio

Árido que la mayoría de sus partículas quedan retenidas en el tamiz N°4 con un tamaño entre 4.76 mm y 76 mm aproximadamente. La cantidad de ripio debe ser adecuada en la mezcla de concreto ya que si es excesiva habrá una tendencia a separarse (segregación). [22]

Figura 5. Árido grueso



Fuente: Pablo Flores Medina

1.1.3.2.3 Características de los áridos

❖ Condiciones de humedad de los agregados

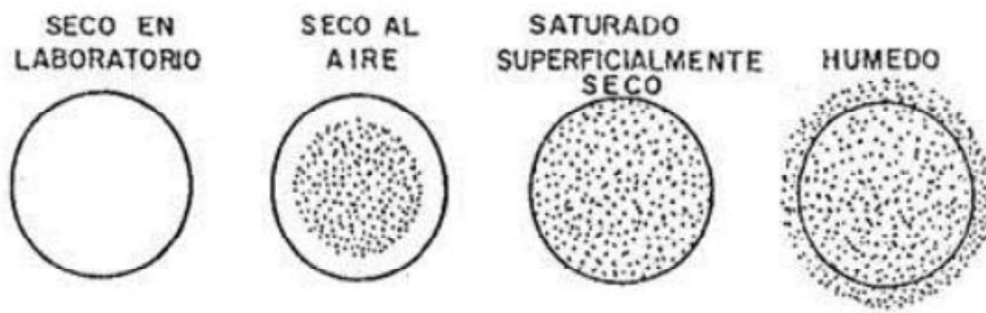
Los agregados en obra pueden encontrarse en cuanto a humedad se refiere en cuatro condiciones: 1 ° Totalmente secos, 2 ° Semisecos (algo de humedad, pero menos que la necesaria para saturarse), 3 ° saturados, pero superficialmente secos (condición ideal en que los agregados ni añaden ni quitan agua a la mezcla), 4 ° húmedos o mojados (conteniendo entre sus partículas más agua que la necesaria para saturarse). [18]

En los cálculos para el proporcionamiento del concreto se considera al agregado en condiciones de saturado y superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos llenos de agua y libre de humedad superficial, condición ideal que pocas veces se da en la práctica. [18]

La condición 4 ° o sea agregados húmedos, es la que suele presentarse con más frecuencia en la práctica: en agregados que provengan de la orilla de los ríos, en los que están recientemente lavados, en cualquier agregado después de una lluvia etc. La falta de consideración de la humedad superficial, que frecuentemente existe en los agregados, ocasiona graves pérdidas de resistencia del concreto, si los agregados están saturados y superficialmente secos no pueden absorber ni ceder agua durante el proceso de mezcla. Sin embargo, un agregado parcialmente seco resta agua, mientras que el agregado húmedo, origina un exceso de agua en el concreto. [18]

En estos casos es necesario reajustar el contenido de agua sea agregando o restando un porcentaje adicional al dosaje de agua especificado, a fin de que el contenido de agua resulte correcto. [18]

Figura 6. Humedad superficial de los agregados



Fuente: Flavio Abanto Castillo

❖ Densidad

Generalmente, los áridos tienen poros que pueden ser accesibles, abiertos o con comunicación con el exterior e, inaccesibles, cerrados o asilados del exterior. Esto hace que no se puede hablar de una sola densidad del árido sino de varias que dependerán de que en el volumen que se esté contemplando se incluyan o no y que la muestra de árido esta seca en estufa o posea agua llenando sus poros abiertos, es decir, que se encuentre en el estado denominado saturada de agua, pero con superficie seca. [14]. Se considera una densidad normal a áridos con densidad relativa entre 2.4 y 3.0, o con la masa unitaria alrededor de 1.120 kg/m^3 a 1.920 kg/m^3 [14]

❖ Densidad suelta y contenido de vacíos

Se denomina contenido de vacíos como al espacio que existe entre las partículas de una masa de un agregado, no ocupado por la materia mineral. La norma INEN 858 determina el método de ensayo para determinar la masa unitaria y contenido de vacíos del árido con un TMN menor a 125 mm pudiendo ser fino, grueso o una mezcla de ambos, esto mediante los procedimientos de varillado, sacudidas o paladas. [24] y [25]

❖ Porosidad y absorción

La porosidad y absorción de los áridos tiene una gran influencia en su adherencia con la pasta de cemento y, por tanto, en las resistencias mecánicas del hormigón. Igualmente, influye en el comportamiento de los áridos frente a los ciclos hielo-deshielo y en definitiva su durabilidad. [14]

En una partícula de árido, considerada independientemente, podemos definir como “porosidad” a la relación existente entre el volumen de huecos accesibles al agua y el volumen real de dicha partícula. [14]

Según la norma INEN 856 para áridos finos la capacidad de absorción varía entre 0.2% al 2% mientras que para los áridos gruesos la norma 857 recalca que la capacidad es mayor ya que varía entre el 0.2 % al 4% siendo idóneos para una mezcla de concreto eficaz. [26] y [27]

En cuanto a la porosidad suele ser del 0.4 % al 3.8 % para los graníticos, de 0% al 37% para los calizos, de 0% al 48% para areniscas, del 1.9% al 15.1% para cuarcitas y del 2% al 15% para los silíceos. [23]




❖ Impurezas orgánicas

Los áridos empleados en el hormigón pueden tener impurezas orgánicas que interfieran en el proceso de hidratación del cemento; finos que aumenten las exigencias de agua de amasado o disminuyan la adherencia de estos con la pasta de cemento repercutiendo por tanto de forma desfavorable en las resistencias; partículas débiles o alterables que contenidas en el propio árido lo hagan débil o inestable. [14]

Un árido con buenas resistencias, puede que no deba utilizarse en la fabricación de hormigón por contener impurezas orgánicas que retrasen el fraguado del cemento o incluso, repercutan desfavorablemente en sus resistencias al alterar las relaciones de hidratación del mismo. Tal árido presenta estos inconvenientes cuando ha estado en contacto con tierra vegetal o humus que contienen taninos o derivados de los mismos. Para comprobar los efectos de las impurezas orgánicas, se realiza un ensayo cualitativo, conocido como prueba colorimétrica la cual nos especifica en la norma ASTM C 40-04 y detalla en la NTE INEN 855. [14], [23] y [28]

Si posiblemente el ensayo contiene cantidades inapropiadas de impurezas orgánicas (Ver Tabla 6), entonces se deben efectuar más análisis como en el indicado en la NTE INEN 866 referente al efecto de las impurezas orgánicas sobre resistencia, antes de aprobar o rechazar el uso del árido fino en el hormigón o el mortero. [28] y [25]

Tabla 6. Interpretación de color

Placa orgánica N°	Gardner N°	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.

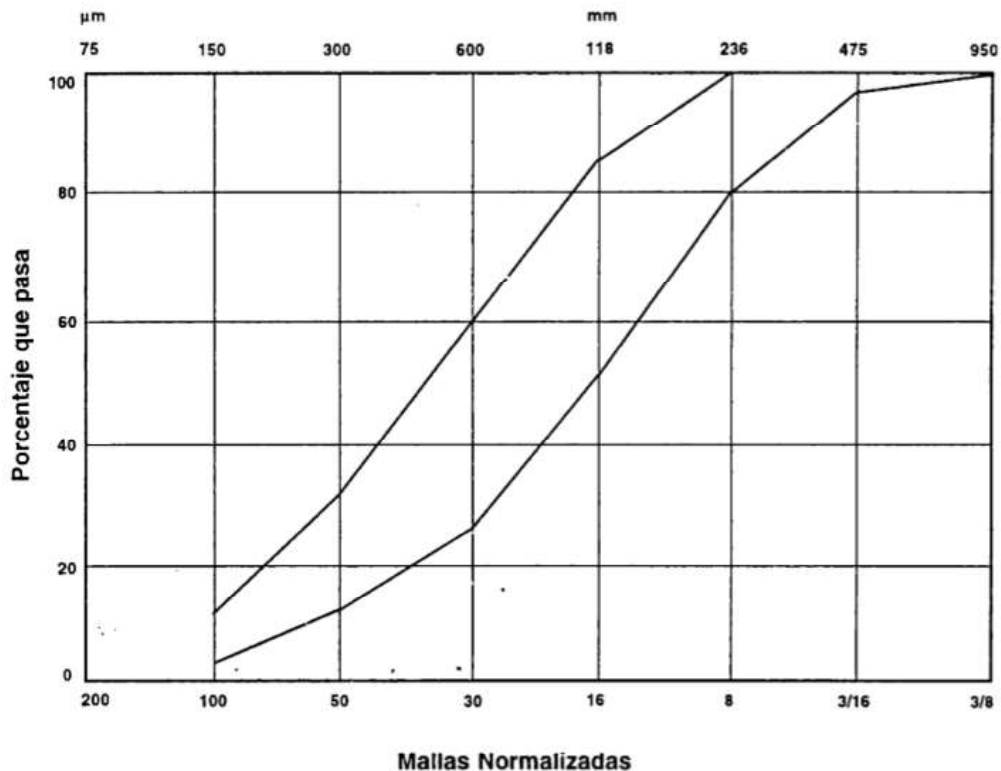
Fuente: ASTM C40

❖ Análisis granulométrico

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de arena. Las distribuciones del tamaño de partículas se determinan por separación con una serie de mallas normalizadas [18]

El control de la granulometría se aprecia mejor mediante un gráfico, en la que las ordenadas representan el porcentaje acumulado que pasa la malla, y las abscisas, las aberturas correspondientes. La figura 7 representa las curvas envolventes de las normas. [18] Curvas envolventes y sus límites.

Figura 7. Curvas envolventes y sus límites



Fuente: ASTM C 136

Además, la norma prescribe que la diferencia entre el contenido que pasa una malla y el retenido en la siguiente, no debe ser mayor del 45% del total de la muestra. De esta manera, se tiende a una granulometría más regular. [18]

Para que el concreto tenga una adecuada trabajabilidad, las partículas de agregado grueso deben estar espaciadas de manera tal que puedan moverse con relativa facilidad, durante los procesos de mezclado y colocación. En este sentido, el agregado fino actúa como lubricante del agregado grueso, ayudándolo a distribuir en toda su

masa. En general, cuanto a granulometría se refiere, los mejores resultados se obtienen con agregados de granulometría que queden dentro de las normas y que den curvas granulométricas suaves. [18]

❖ **Granulometría del árido fino**

Las mallas normalizadas utilizadas para el agregado fino según la NTE INEN 872 son las N° 4,8,16,30,50 y 100 como se observa en la Tabla 7, además cabe destacar las siguientes indicaciones. [29] y [30]

- a) El módulo de finura del árido fino no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1.
- b) Pueden presentar dificultades con la docilidad, bombeo o exudación excesiva en hormigones en los que la gradación del árido fino tiene porcentajes bajos que pasan por la malla N° 50 y N°100.

Tabla 7. Requisitos de gradación para árido fino

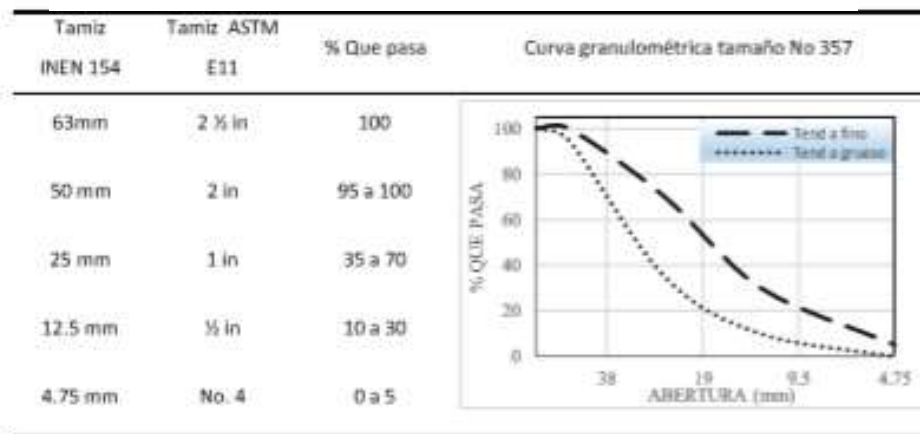
MALLA		PORCENTAJE QUE PASA (ACUMULATIVO)		
3/8"	9.5 mm			100
N° 4	4.75 mm	95	a	100
N° 8	2.36 mm	80	a	100
N°16	1.18 mm	50	a	85
N°30	600 µm	25	a	60
N°50	300 µm	10	a	30
N°100	150 µm	2	a	10

Fuente: NTE INEN 872

❖ Granulometría del árido grueso

De la misma manera la NTE INEN 872 especifica los requisitos de gradación del agregado grueso los cuales son especificados en la Tabla 8. [29]

Tabla 8. Requisitos de gradación para árido grueso



Fuente: NTE INEN 872

❖ Variables que se obtienen del análisis granulométrico

Términos como tamaño máximo nominal y tamaño máximo se utilizan solamente para el agregado grueso.

a) El tamaño máximo

El tamaño máximo de los agregados gruesos en el concreto armado se fija por la exigencia de que pueda entrar fácilmente en los encofrados y entre las barras de la armadura. En ningún caso el tamaño máximo del agregado grueso deberá ser mayor que:

- Un quinto, de la menor dimensión, entre caras de encofrados
- Un tercio de la altura de las losas

- Tres cuartos del espacio libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo.

b) Tamaño nominal máximo

Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de árido. El tamaño máximo del conjunto de agregados esta dado por la abertura de la malla inmediata superior a la que retiene el 15% o más, al cribar por ella el agregado más grueso. [18] y [23]

Dependiendo del uso que tendrá el concreto un agregado menor a $\frac{1}{4}$ in hará que la superficie específica del material aumente y con esto la cantidad de cemento requerida: por el contrario, uno mayor a $1\frac{1}{2}$ podrá causar atascamiento del hormigón al momento del colado en el acero de refuerzo formado vacíos interiores en el elemento y pérdida de resistencia del hormigón. [25]

c) Módulo de finura

Es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino, cuando es alto es señal de lo contrario. El módulo de finura no distingue las granulometrías, pero en caso de agregados que estén dentro de los porcentajes especificados en las normas granulométricas, sirve para controlar la uniformidad de estos. [18]

El módulo de finura de un agregado se calcula sumando los porcentajes acumulativos retenidos en la serie de mallas estándar: $\frac{3}{8}$ ”, N ° 4, N ° 8, N ° 16, N ° 30, N ° 50, N ° 100. [18]. Según la norma ASTM la arena debe tener un módulo de fineza no menor de 2.3 ni mayor que 3.1. [18]

Se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.2 y 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación; y que las que se encuentran entre 2.8

y 3.1 son las más favorables para los concretos de alta resistencia. [18]

1.1.3.3 Cemento portland

1.1.3.3.1 Definición

Son materiales aglomerantes que tienen las propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir fragmentos minerales entre sí, formando una masa sólida continua, de resistencia y durabilidad adecuadas. Los hormigones hechos con cemento portland requieren de aproximadamente dos semanas para adquirir una resistencia suficiente que permita retirar el encofrado y aplicar cargas moderadas. Estos concretos alcanzan sus resistencias de diseño a los 28 días y después continúan ganando resistencia a un menor ritmo. [13]

La definición de “cemento portland” se emplea exclusivamente para cementos cuya proporción de clinker está comprendida entre el 95 y 100% y conformado por los componentes principales presentados en la Tabla 9. Cuando el cemento contiene adiciones y su contenido de clinker es superior al 65% reciben el nombre de “cementos portland con adiciones”, y si se especifica el tipo de adición que lleva incorporado pasa a denominarse cemento portland seguido del nombre de la adición. [14] , [17] y [31]

Tabla 9. Principales componentes del cemento portland

Nombre	Composición oxida	Abrev.	Función
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	Confiere resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación. A mayor rapidez de endurecimiento de la pasta mayor calor de hidratación.
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	Causante principal de la resistencia posterior de la pasta de cemento.
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	Catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento contrarrestado con la adición de yeso.
Alumino ferrita tetracálcica	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	Influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación
Yeso natural	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		Retardar el tiempo de fraguado

Fuente: L. Gutiérrez de López

1.1.3.3.2 Tipos de cemento portland

❖ Cemento Portland Tipo I

Se denomina cemento ordinario, que es el de mayor utilización en el mercado. Es utilizado en hormigones normales que no estarán expuestos a sulfatos en el ambiente, en el suelo o en el agua del subsuelo. [13]

El cemento Portland tipo IA es similar al tipo I, pero produce la introducción de burbujas de aire, de diámetro controlado en el hormigón. El cemento Portland tipo IP contiene un cierto porcentaje de puzolana (entre 15 y 40%), lo que cambia la curva de crecimiento de la resistencia a temprana edad. [13]

❖ Cemento Portland Tipo II

Este tipo de cemento genera menor calor de fraguado a una velocidad menor que el tipo I. La característica más importante es que presenta una resistencia moderada a los sulfatos, por lo que es usado en obras marinas y en elementos enterrados. El cemento Portland tipo IIA es similar al tipo II, pero produce la introducción de burbujas de aire en el hormigón. [13]

❖ Cemento Portland Tipo III

Son los cementos de fraguado rápido que suelen utilizarse en obras de hormigón que están en contacto con flujos de agua durante su construcción, o en obras que necesitan estabilizarse rápidamente durante la construcción. El problema básico que presenta es que el calor de fraguado se emite con mayor rapidez que en otros cementos por lo que se requiere especial cuidado con el curado. El cemento Portland tipo IIIA es similar al tipo III, pero produce la introducción de aire en el hormigón. [13]

❖ Cemento Portland Tipo IV

Son cementos de fraguado lento que producen poco calor de hidratación durante el mayor tiempo posible. Se los emplea en obras que contienen grandes volúmenes continuos de hormigón como las presas, permitiendo controlar el calor emitido durante el proceso de fraguado. El tiempo que requieren para alcanzar resistencia especificada es mayor que el cemento tipo I (56 días a 84 días). [13]

❖ Cemento Portland Tipo V

Son cementos resistentes a sulfatos que pueden estar presentes en los agregados del hormigón o en el propio medio ambiente. La presencia de sulfatos junto con otros tipos de cementos provoca la desintegración progresiva del hormigón y la destrucción de la estructura interna del material compuesto. [13]

1.1.3.3 Requisitos de los cementos

Tabla 10. Requisitos que deben cumplir los cementos

PARÁMETROS	NORMA 490 CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO
Requisitos Químicos	
Oxido de Magnesio (MgO) % máx.	6
Sulfato, reportado como (SO ₃) % máx.	4
Perdida por calcinación %	5
Requisitos Físicos	
Finura (cm ² /g)	*
Expansión en autoclave % máx.	0.8
Contracción en autoclave % máx.	0.2
Tiempo de Fraguado, Vicat	
Inicial Mín. (minutos)	45
Inicial Max. (minutos)	420
Resistencia a la Compresión, Min. MPa.	
3 días	13
7 días	20
28 días	25
1 MPa = 10.1972 kg/cm ²	
Expansión en mortero, % Max.	
14 días	0.02
8 semanas	0.06
Resistencia a los Sulfatos, % Max.	
Expansión a 180 días	0.1

Fuente: Norma NTE INEN 490

1.1.3.4 Agua

El agua es el segundo componente del hormigón, empleándose en el amasado del mismo y en su curado. Dependiendo que se utilice con uno u otro fin se le exigirán unas u otras características [14]

1.1.3.4.1 Agua de amasado

El agua que se añade junto con los demás elementos del hormigón tiene las siguientes funciones: hidratación de los componentes activos del cemento; actuar como lubricante haciendo posible que la masa fresca sea trabajable y de crear espacio para la pasta de los productos resultantes de la hidratación del cemento. [14]

Para que el agua sea apta para el amasado de un hormigón debe estar limpia y encontrarse libre de impurezas. El agua que tenga un aspecto limpio no ofrece seguridad suficiente de pureza. Hay que tener en cuenta que las impurezas actúan de forma diferente sobre los distintos cementos y que, incluso, su acción depende de dosificación empelada en el hormigón. [14]

Algunas normas indican que el ph de las aguas de amasado no debe ser ni menor de 6 ni mayor de 9. Las aguas de mar y las que contenga sales no deben empelarse nunca en el amasado de cemento de aluminato de calcio por su efecto negativo sobre las resistencias mecánicas [14]

1.1.3.4.2 Agua de curado

Las aguas adecuadas para el amasado lo son también para el curado. El peligro de las sustancias nocivas para el amasado no lo es tanto para el curado, debido principalmente a que el agua de curado está en contacto con el hormigón durante un tiempo relativamente corto. [14]

1.1.3.4.3 Agua para el lavado de áridos

Las aguas empeladas en el lavado de áridos no deben contener excesiva cantidad de sustancias en suspensión o disueltas que produzcan poca adherencia sobre las superficies de los áridos. Igualmente debe ocurrir con el agua empleada en la limpieza de hormigoneras y equipos de hormigonado. [14]

1.1.3.5 Aditivo

Los aditivos son productos que añadidos al conglomerante (pasta, mortero y hormigón) en el momento de su elaboración en las condiciones adecuadas, en la forma convincente y en las dosis precisas, tienen por finalidad modificar en sentido positivo y con carácter permanente las propiedades del conglomerado. [14]

El contenido total de aditivos empelados en el hormigón, por kg de cemento, no debe exceder a 50 g, ni ser inferior a 2 g. Salvo en casos especiales, la cantidad de aditivo no debe superar al 5% del peso del cemento. [14]

Actualmente el empleo de los aditivos en los morteros y hormigones ha experimentado un gran incremento como consecuencia de la mejor calidad de estos. Puede decirse que un porcentaje muy elevado del hormigón que se fabrica lleva incorporado un tipo u otro de aditivo y que si estos son de calidad y están correctamente empleados permiten conseguir hormigones resistentes y durables. [14]

1.1.4 Hipótesis

El hormigón estructural fabricado con materiales de las minas “Trópico de Capricornio” y “Santa Isabel” ubicadas en el sector El Barranco del cantón Mera, provincia de Pastaza influyen en su módulo de elasticidad estático.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar el Módulo de Elasticidad Estático del Hormigón estructural elaborado con agregados de las minas “Trópico de Capricornio”, “Santa Isabel” y cemento Portland, para los cantones Mera y Pastaza, provincia de Pastaza.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los agregados de las minas “Trópico de Capricornio”, “Santa Isabel” requeridas para la dosificación del hormigón.
- Diseñar las mezclas de hormigón para las resistencias a la compresión a los 28 días de: 21 Mpa y 28 Mpa, aplicando el método de la Densidad Máxima.
- Proponer una constante para el cálculo del módulo elástico estático del hormigón para el cantón Mera, 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 Tipo de investigación

Los tipos de investigación aplicados en el presente proyecto son: exploratorios o preliminares, experimental, colectiva comparativa y concluyente.

Investigación preliminar o exploratorio: Abarca una investigación básica realizada en el laboratorio para adquirir las propiedades de los materiales que forman un concreto estructural, para de esta manera llevar a cabo una dosificación apropiada para la obtención de cilindros de hormigón.

Investigación experimental: Comprende una investigación que se fundamenta en realizar probetas de hormigón en base a una dosificación y la mezcla de los materiales, puestas en condiciones ambientales de laboratorio, se realiza un curado de las probetas de concreto, y se ensayan los cilindros a compresión a diferentes edades para determinar su resistencia y el MEE del hormigón.

Investigación colectiva comparativa y concluyente: Se propone una nueva constante para el cálculo del MEE del hormigón en la cual los resultados finales serán comparados y remplazados por los valores dados en las normativas ACI 318-14 y NEC-SE-HM 2015 para su aplicación en el cantón Pastaza.

2.2 Población

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

2.3 Muestra

El número total de muestras para la fase final se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11.Número de probetas a ser elaboradas en fase final

MINAS	f'c (kg/cm ²)	# de cilindros para cada edad a ensayar a compresion (días)				# de cilindros para MEE	TOTAL
		7	14	21	28		
TROPICO DE CAPRICORNIO	210	3	3	3	3	9	21
	280	3	3	3	3	9	21
SANTA ISABEL	210	3	3	3	3	9	21
	280	3	3	3	3	9	21
SUMATORIA		12	12	12	12	36	84

Realizado por: Pablo Flores Medina

2.4 Materiales y equipos

Los ensayos que se realizaron según las normas INEN y las normas ASTM se requirieron los equipos y materiales enunciados a continuación.

2.4.1 Materiales

- ❖ Áridos grueso y fino de las minas TRÓPICO DE CAPRICORNIO y SANTA ISABEL
- ❖ Agua potable
- ❖ Gasolina
- ❖ Cemento hidráulico tipo GU por sacos de 50 kg

- ❖ Solución normalizada de hidróxido de sodio al 3%

2.4.2 Equipos

- ❖ Tamizadora
- ❖ Balanza con precisión de 1g. capacidad de 30 kg
- ❖ Balanza con precisión de 0.1g. capacidad de 6000g
- ❖ Balanza mecánica con capacidad de 100kg
- ❖ Concretera eléctrica de medio saco
- ❖ Compresómetro
- ❖ Máquina para ensayo a compresión
- ❖ Máquina de los ángeles
- ❖ Horno ventilado
- ❖ Probetas graduadas
- ❖ Pala cuadrada y de mano
- ❖ Palustre
- ❖ Martillo de goma
- ❖ Cepillo de acero
- ❖ Cinta métrica
- ❖ Varilla de compactación
- ❖ Cono de Abrahams
- ❖ 20 moldes cilíndricos
- ❖ Comparador de colores ASTM C 40
- ❖ Juego de tamices redondos números: 4,8,16,30,50,100 y 200 más fuente, tapa y tamiz #12
- ❖ Juego de tamices cuadrados 2'', 1 1/2'', 1'', 3/4'', 1/2'' y #4
- ❖ Cámara fotográfica y Computadora
- ❖ Equipo de protección personal
- ❖ Termómetro
- ❖ Canastilla metálica
- ❖ Molde (cónico) y comprador para ensayo de humedad superficial
- ❖ Picnómetro y pipeta
- ❖ Molde de 22lt

- ❖ Bandejas metálicas y recipientes varios

2.5 Métodos

2.5.1 Plan de recolección de datos

La mejor manera para obtener un hormigón de buena calidad es respetando las especificaciones y procedimientos establecidos en las normas INEN Y ASTM, ya que aquí nos dan lineamientos para la elaboración del concreto y para la selección de los agregados; por tal motivo las actividades se dividirán en tres fases: toma de muestras, ensayos de caracterización y elaboración de cilindros.

Toma de muestras

1. Recolección de muestras de los agregados de 2 minas, norma INEN 695
2. Traslado a centro de acopio local
3. Reducción a tamaño de ensayo, norma INEN 2566
4. Pesado y etiquetado final
5. Traslado a los laboratorios 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 áridos 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

15. Diseño de mezclas para resistencias a la compresión del hormigón de 210 y 280 kg/cm², con el método de la densidad óptima

Elaboración de probetas

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

16. Realización de primeros cilindros de prueba NTE INEN 3124, para ensayarse a una edad de 7 días (12 en total)

Las siguientes actividades se realizaron juntamente 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, a la edad de 7 días, NTE INEN 1573

17. Elaboración y curado de probetas finales (84 en total), 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 las curvas: esfuerzo-deformación del hormigón y edad vs resistencia a la compresión.

19. Determinación de MEE con la aplicación de la norma ASTM C-469

20. Propuesta de una constante para el MEE correlacionándole con la raíz cuadrada de la resistencia especificada a la compresión del hormigón y el peso unitario

2.5.2 Plan de Procesamiento y Análisis de Información

Para realizar su procesamiento y análisis de información, se tomó muy en cuenta las dosificaciones finales y los resultados de las resistencias obtenidas a los 7, 14, 21 y 28 días.

Toma de muestras

En la etapa inicial se realizará un etiquetado del material procedente de cada mina; asignando los códigos TC y SI para Trópico de Capricornio y Santa Isabel respectivamente.

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

En la segunda etapa se procederá a elaborar un inventario y registros ordenados para cada uno de los ensayos acompañado de hojas de cálculo que permitan controlar parámetros estadísticos como el rango, desviación estándar y coeficiente de desviación señalados en las diferentes normas.

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

Se procederá a realizar curvas de esfuerzo vs deformación del hormigón, la tabulación de los datos obtenidos para el MEE, para alcanzar así la propuesta de una constante que correlacione la raíz cuadrada de la resistencia especificada a la compresión del hormigón y el peso unitario.

CÁPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Determinación de la densidad real del cemento

Para ejecutar el siguiente ensayo se sugieren las especificaciones de la normativa NTE INEN 156, en la cual se expresa las distintas denominaciones de equipos y materiales a utilizar, expresados en centímetros cúbicos y en gramos.

Tabla 12.Resultados densidad real del cemento

Descripción	Fórmula	ENSAYOS		UNIDAD
		I	II	
Masa del picnómetro vacío	m1	152.60	152.60	gr
Masa picnómetro + Cemento	m2	225.10	224.90	gr
Masa picnómetro + Cemento + Gasolina	m3	571.80	571.80	gr
Masa gasolina añadida	$m4=m3-m2$	346.70	346.90	gr
Masa del picnómetro+ 500cc de gasolina	m5	517.10	517.20	gr
Masa de 500cc de gasolina	$m6=m5-m1$	364.50	364.60	gr
Densidad de la Gasolina	$dg=m6/500cc$	0.73	0.73	g/cc
Masa de la gasolina desalojada por el cemento	$m7=m2-m1$	17.80	17.70	gr
Masa del cemento	$Mc=m2-m1$	72.50	72.30	gr
Volumen de gasolina desalojada	$Vg=m7/dg$	24.42	24.27	cc
Densidad del cemento	$DRC=Mc/Vg$	2.969	2.979	gr/cc
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO PROMEDIO		2.974		gr/cc

Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación

Se ha detectado que la diferencia para un solo operador para cemento portland es de 0.01; por lo tanto, los datos son confiables, ya que el resultado de dos ensayos adecuadamente realizados por el mismo operador en el mismo material no debe diferir en más de 0.03. [32]

3.1.2 Ensayos en los áridos para determinar su aptitud para utilizarlos en el hormigón estructural

La caracterización de los agregados se obtuvo mediante la realización de los ensayos propuestos por la NTE INEN 872 (Ver Tabla 13).

Tabla 13. Ensayos realizados en los áridos 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

3.1.2.1 Toma y reducción de muestras

La toma de muestras se realizó en la provincia de Pastaza, Cantón Mera, parroquia Madre Tierra, tanto para la mina Trópico de Capricornio y Santa Isabel ubicadas en el mismo sector; la toma de los áridos se efectuó como lo indica la norma NTE INEN 695.

Al ser agregados gruesos triturados en ambas minas la toma de muestras se la realizó directamente desde la cinta transportadora, tomándose porciones en el tercio inferior, superior y punto medio, en cuanto al agregado fino el muestreo se lo realizó desde una pila y con el método mencionado anteriormente.

En referencia a la reducción de muestras a tamaño de ensayo según especifica la INEN 2566 se utilizaron los métodos B(cuarteo) y C (pila en miniatura), para el grueso y fino respectivamente.

3.1.3 Análisis granulométrico en los áridos

3.1.3.1 Análisis granulométrico en el árido fino

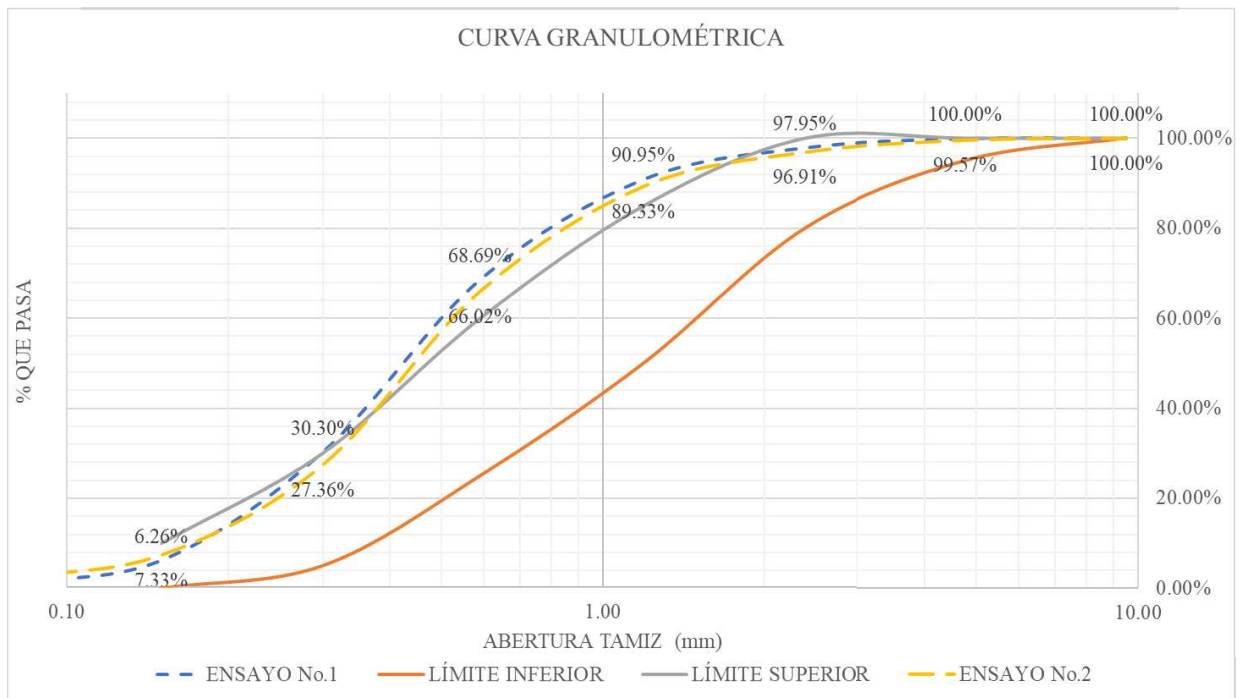
❖ Mina Trópico de Capricornio

Tabla 14.Resumen granulometría árido fino Trópico de Capricornio

TAMIZ	INEN 154 (mm)	LÍMITES INEN 872		ENSAYO NO.1	ENSAYO NO.2
		Inferior	Superior	% Que pasa	% Que pasa
3/8 "	9.50	100	100	100.00%	100.00%
No. 4	4.76	95	100	100.00%	99.57%
No. 8	2.38	80	100	97.95%	96.91%
No. 16	1.19	50	85	90.95%	89.33%
No. 30	0.59	25	60	68.69%	66.02%
No. 50	0.30	5	30	30.30%	27.36%
No. 100	0.15	0	10	6.26%	7.33%
MÓDULO DE FINURA				2.06	2.13
MÓDULO DE FINURA PROMEDIO				2.10	

Realizado por: Pablo Flores Medina

Figura 8. Curva granulométrica del árido fino Trópico de Capricornio



Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación de las curvas granulométricas del árido fino MINA TRÓPICO DE CAPRICORNIO

Se realizó el ensayo de granulometría del agregado fino en donde se determinó que el material se encuentra fuera de los límites definidos por la NTE INEN 872, por tal motivo el agregado tiende a ser fino. El módulo de finura obtenido en el presente ensayo es de 2.10% por lo que queda fuera del rango que es de 2.3% al 3.1%.

Al ser una arena fina se caracteriza por ser un material que otorga una excelente docilidad al hormigón estructural y no presentará problemas de exudación excesiva; por lo contrario, pueden ocasionar segregación en el árido grueso y necesitar de una cantidad más elevada de cemento y de agua. Por otra parte, se aprecia que los porcentajes que pasan por los tamices No.50 y No.100 al estar cerca del límite superior (Ver Tabla 14) facilitarán texturas superficiales tersas en los hormigones.

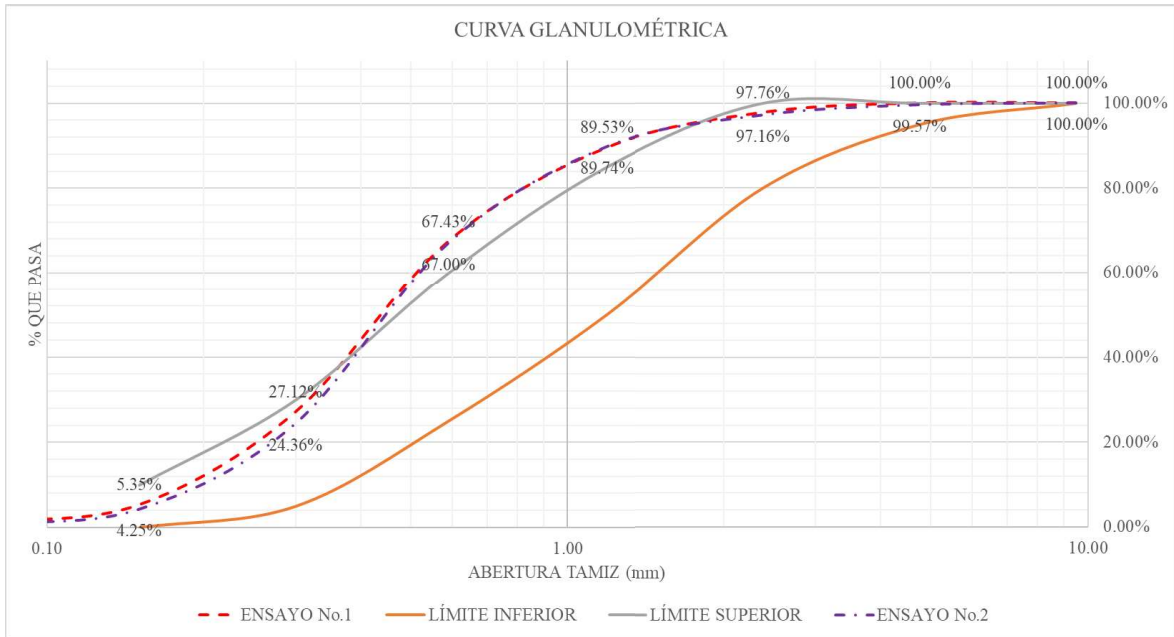
❖ Mina Santa Isabel

Tabla 15. Resumen granulometría en el árido fino Santa Isabel

TAMIZ	INEN 154 (mm)	LÍMITES INEN 872		ENSAYO NO.1	ENSAYO NO.2
		Inferior	Superior	% Que pasa	% Que pasa
3/8 "	9.50	100	100	100.00%	100.00%
No. 4	4.76	95	100	100.00%	99.57%
No. 8	2.38	80	100	97.76%	97.16%
No. 16	1.19	50	85	89.53%	89.74%
No. 30	0.59	25	60	67.43%	67.00%
No. 50	0.30	5	30	27.12%	24.36%
No. 100	0.15	0	10	5.35%	4.25%
MÓDULO DE FINURA				2.13	2.18
MÓDULO DE FINURA PROMEDIO				2.15	

Realizado por: Pablo Flores Medina

Figura 9.Curva granulométrica del árido fino Santa Isabel



Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación de las curvas granulométricas del árido fino MINA SANTA ISABEL

Los presentes resultados denotan que los valores obtenidos son relativamente mayores a los de la anterior mina (Ver Figura 8), ya que el valor del módulo de finura es de 2.15%, por lo que se encuentra fuera del rango establecido por la norma NTE 696(2.3 a 3.1), [29], cabe señalar que en los tamices No.16 y No.30 están fuera de los límites teniendo así , una tendencia a un árido fino.

Por otra parte, se puede observar que los porcentajes que pasan por los tamices No.50 y No.100 (Ver Tabla 15) del agregado se encuentran cercanos al límite superior; en consecuencia, presentará una adecuada docilidad y trabajabilidad al momento de ser usados en hormigones estructurales como sugiere la INEN 872. [29]

De igual forma la relación agua/cemento se altera debido a que se requiere más agua por el incremento de la superficie a mojar, obligando también a aumentar el contenido de cemento.

3.1.3.2 Análisis granulométrico en el árido grueso

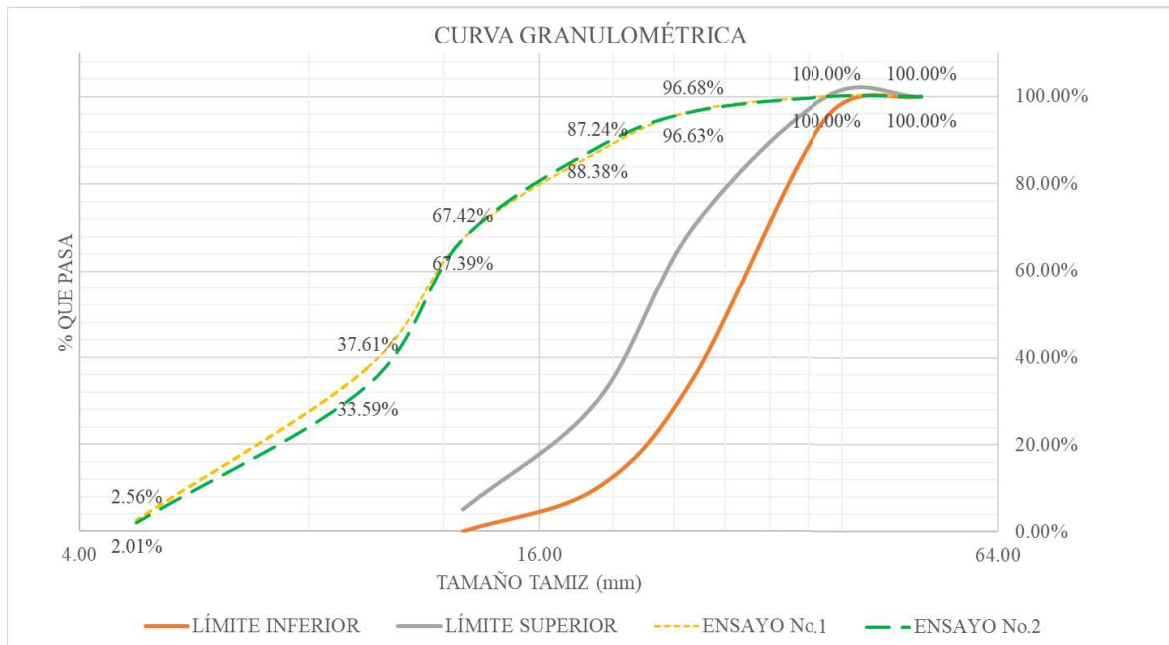
❖ Mina Trópico de Capricornio

Tabla 16.Resumen granulometría en el árido grueso Trópico de Capricornio

TAMIZ	INEN 154 (mm)	LÍMITES INEN 872		ENSAYO NO.1	ENSAYO NO.2
		Inferior	Superior	% Que pasa	% Que pasa
2"	50.80	100	100	100.00%	100.00%
1 1/2"	38.10	95	100	100.00%	100.00%
1 "	25.40	-	-	96.68%	96.63%
3/4 "	19.05	35	70	87.24%	88.38%
1/2 "	12.70	-	-	67.42%	67.39%
3/8 "	9.53	10	30	37.61%	33.59%
No. 4	4.75	0	5	2.56%	2.01%
T.N.M				3/4 "	3/4 "
T.M				1 "	1 "

Realizado por: Pablo Flores Medina

Figura 10.Curva granulométrica del árido grueso Trópico de Capricornio



Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación de las curvas granulométricas del árido grueso MINA TRÓPICO DE CAPRICORNIO

En referencia al ensayo granulométrico y siguiendo los lineamientos de la normativa INEN 696, se determinó el T.N.M del agregado grueso es de ¾" por tal motivo tendrán una resistencia a la compresión alta con un elevado contenido de cemento y con una mayor superficie específica ya que el T.N.M se mantiene en el mínimo posible.

En la figura 10 se puede apreciar que la curva granulométrica del árido grueso se encuentra fuera de los límites establecidos por la norma INEN 696 lo que significa que el agregado tiende a ser fino.

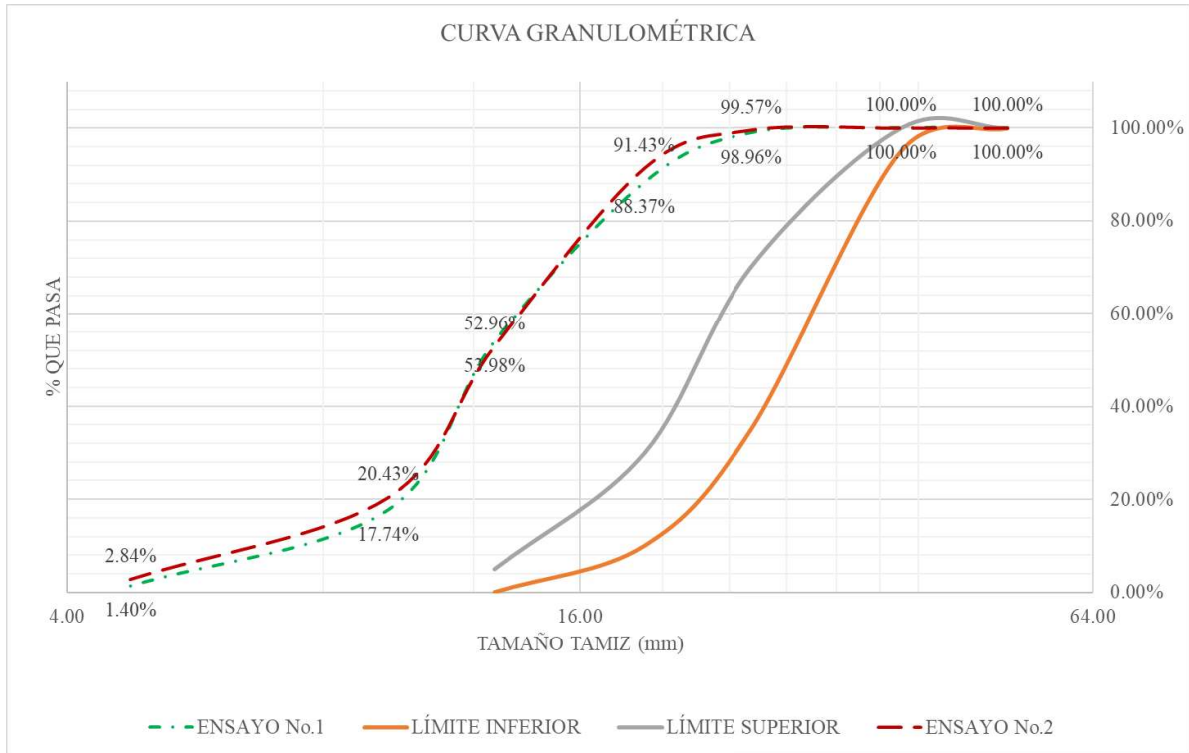
❖ Mina Santa Isabel

Tabla 17. Resumen granulometría árido grueso Santa Isabel

TAMIZ	INEN 154 (mm)	LÍMITES INEN 872		ENSAYO NO.1	ENSAYO NO.2
		Inferior	Superior	% Que pasa	% Que pasa
2"	50.80	100	100	100.00%	100.00%
1 1/2"	38.10	95	100	100.00%	100.00%
1 "	25.40	-	-	98.96%	99.57%
3/4 "	19.05	35	70	88.37%	91.43%
1/2 "	12.70	-	-	53.98%	52.96%
3/8 "	9.53	10	30	17.74%	20.43%
No. 4	4.75	0	5	1.40%	2.84%
T.N.M				3/4 "	3/4 "
T.M				1 "	1 "

Realizado por: Pablo Flores Medina

Figura 11. Curva granulométrica del árido grueso Santa Isabel



Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación de las curvas granulométricas del árido grueso MINA SANTA ISABEL

Con respecto al ensayo granulométrico se obtuvieron datos en donde el T.N.M es de $\frac{3}{4}$ ", cabe resaltar que la adherencia de este agregado es de excelente calidad ya que según la norma INEN 696 especifica que las fuerzas de vínculo dependen de la forma, textura superficial y el un alto porcentaje que pasa por el tamiz de $\frac{1}{2}$ ", (Ver Tabla 17).

El T.M del agregado es de 1", lo que significa que la probabilidad de que exista fisuraciones o fallas en el concreto son escasas, ya que a mayor tamaño mayor será las patologías indicadas. También se considera que la alta resistencia producida por el árido se debe a su menor T.N.M, esto se debe a que existe una baja concentración de esfuerzos alrededor de las partículas.

3.1.4 Determinación de la densidad SSS del árido fino y grueso

Tabla 18.Resumen densidades SSS obtenidas para los áridos finos

PARÁMETROS	ÁRIDO FINO		PRECISIÓN 1
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	OPERADOR INEN 856
RANGO	0.001	0.008	< 0.027
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.0008	0.0057	< 0.0095
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.03%	0.21%	%
PROMEDIO	2.777	2.729	gr/cm³

Realizado por: Pablo Flores Medina

Tabla 19.Resumen densidades SSS obtenidas para los áridos gruesos

PARÁMETROS	ÁRIDO GRUESO		PRECISIÓN 1
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	OPERADOR INEN 857
RANGO	0.002	0.003	< 0.027
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.001	0.002	< 0.007
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.05%	0.08%	%
PROMEDIO	2.656	2.660	gr/cm³

Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación

Los parámetros conseguidos para los agregados finos (Ver Tabla 18) como los gruesos (Ver Tabla 19) se encuentran dentro del intervalo establecido por la normativa que es de 2.4 a 3 (densidad relativa gr/cm³), por tal motivo se considera agregados de densidades normales según instaura la NTE INEN 694.

En cuanto a los valores obtenidos para el agregado grueso, al ser un árido de densidad normal se consideran como materiales pétreos de alta resistencia con una baja porosidad y absorción.

3.1.5 Determinación de la capacidad de absorción en los áridos fino y grueso

Tabla 20.Resumen capacidades de absorción para los áridos finos

PARÁMETROS	ÁRIDO FINO		PRECISIÓN 1
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	OPERADOR INEN 856
RANGO	0.09%	0.02%	< 0.31 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.07%	0.02%	< 0.11 %
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.06%	0.01%	%
PROMEDIO	1.060	1.403	%

Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación

Los valores obtenidos de la capacidad de absorción de los agregados finos son menores al 2% por tal motivo se encuentran en el rango establecido según la norma INEN 856 (0.2%-2%) [26], cabe resaltar que el agregado de mejor calidad es el de la Mina Trópico de Capricornio ya que su capacidad de absorción es de 1.060% a diferencia de la Mina Santa Isabel que es del 1.403% y cuanto más alta es la capacidad de absorción del agregado menor será su calidad.

Tabla 21.Resumen capacidades de absorción áridos gruesos

PARÁMETROS	ÁRIDO GRUESO		PRECISIÓN 1
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	OPERADOR INEN 857
RANGO	0.11%	0.15%	< 0.31 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.08%	0.10%	< 0.11 %
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.06%	0.07%	%
PROMEDIO	1.250	1.466	%

Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación

Los resultados obtenidos (Ver Tabla 21) se ajustan al rango establecido de 0.2% al 4%según la norma INEN 857 [27] ,por lo que la absorción es buena, ya que nos indica que, en el diseño de mezclas, el árido aportará agua en una cantidad considerable; debemos tener en consideración este porcentaje ya que en agregados triturados la capacidad de absorción reflejará un mayor requerimiento de agua o la dosificación, esto se debe al tipo de procesamiento del árido debido y a que posee una mayor superficie específica.

3.1.6 Determinación de la densidad suelta y compactada de los agregados

❖ Interpretación Condiciones suelta y compactada

Los valores obtenidos en las densidades aparentes suelta y compactada de los agregados grueso (Ver Tabla 22) y fino (Ver Tabla 23) se encuentran dentro del rango establecido por la NTE INEN 694 [21] la cual considera una densidad adecuada para hormigones cuando su masa unitaria se encuentra entre 1.120 gr/cm³ y 1.920 gr/cm³.

Tabla 22. Densidades aparentes en los áridos gruesos para condiciones: suelta y compactada

PARÁMETRO	DENSIDAD SUELTA		DENSIDAD COMPACTADA		PRESIÓN 1 OP INEN 858
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.007	0.008	0.007	0.003	< 0.04
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.005	0.006	0.005	0.002	< 0.014
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.38%	0.43%	0.30%	0.16%	< 1%
DENSIDADES APARENTES PROMEDIO	1.385	1.324	1.534	1.456	gr/cm³

Realizado por: Pablo Flores Medina

Tabla 23. Densidades aparentes en los áridos finos para condiciones: suelta y compactada

PARÁMETRO	DENSIDAD SUELTA		DENSIDAD COMPACTADA		PRESIÓN 1 OP INEN 858
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.005	0.004	0.007	0.006	< 0.04
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.004	0.003	0.005	0.004	< 0.014
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.26%	0.18%	0.30%	0.25%	< 1%
DENSIDADES APARENTES	1.433	1.427	1.595	1.574	gr/cm³

Realizado por: Pablo Flores Medina

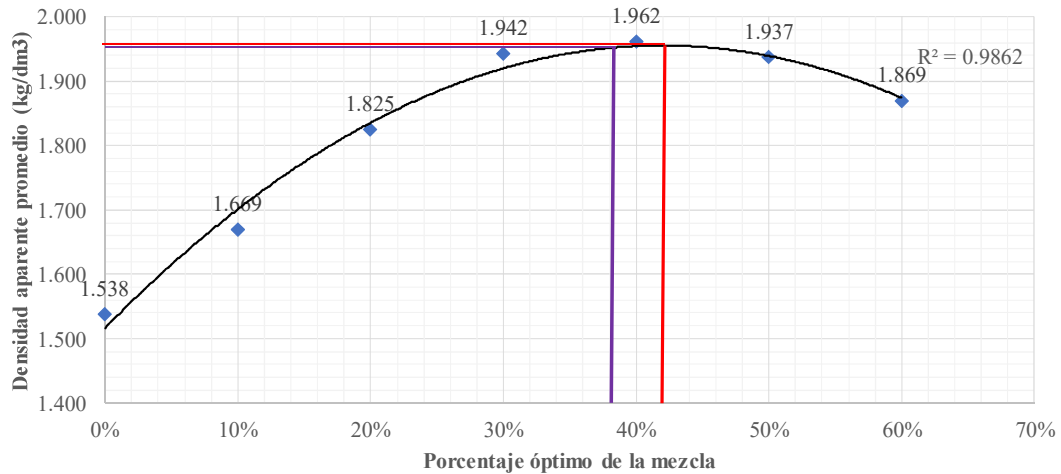
3.1.7 Condición mezcla del árido grueso más fino

❖ Mina Trópico De Capricornio

Tabla 24. Densidad aparente para una mezcla de árido grueso con árido fino

MASA RECIPIENTE (kg)		9.90			FECHA DE ENSAYO		18/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm ³)		20.52			NORMA:		NTE INEN 858:2010	
MEZCLA %		CANTIDAD (kg)		FINO AÑADIDO (kg)	AGREGADO + RECIPIENTE (kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO MEZCLA (kg/dm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO+GRUESO			
90.00%	0%	40.00	0.00	0.00	41.4	31.5	1.535	1.538
					41.5	31.6	1.540	
90.00%	10%	40.00	4.44	4.44	44.2	34.3	1.672	1.669
					44.1	34.2	1.667	
80.00%	20%	40.00	5.56	5.56	47.4	37.5	1.827	1.825
					47.3	37.4	1.823	
70.00%	30%	40.00	7.14	7.14	49.8	39.9	1.944	1.942
					49.7	39.8	1.940	
60.00%	40%	40.00	9.53	9.53	50.2	40.3	1.964	1.962
					50.1	40.2	1.959	
50.00%	50%	40.00	13.33	13.33	49.7	39.8	1.940	1.937
					49.6	39.7	1.935	
40.00%	60%	40.00	20.00	20.00	48.2	38.3	1.866	1.869
					48.3	38.4	1.871	

Curva densidad compactada vs % de mezcla



Porcentaje máximo de agregado fino %	42.00
Porcentaje máximo de agregado grueso %	58.00
Porcentaje óptimo de agregado fino %	38.00
Porcentaje óptimo de agregado grueso %	62.00
Peso unitario máximo gr/cm ³	1.955
Peso unitario óptimo gr/cm ³	1.951

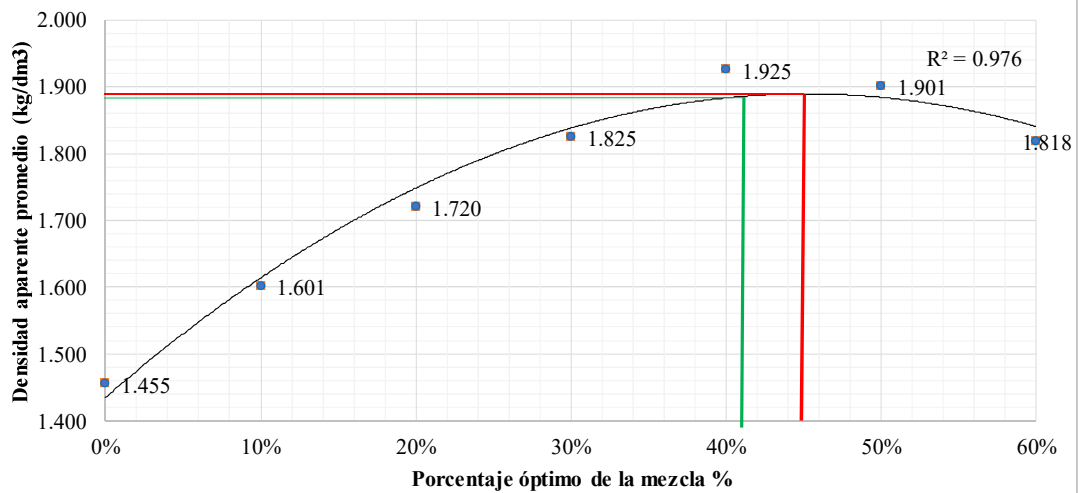
Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Mina Santa Isabel

Tabla 25.Densidad Aparente para mezcla de árido grueso con árido fino

MASA RECIPIENTE (kg)		9.90			FECHA DE ENSAYO		14/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm ³)		20.52			NORMA:		NTE INEN 858:2010	
%MEZCLA		CANTIDAD (kg)		FINO AÑADIDO (kg)	AGREGADO +RECIPIENT E (kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO MEZCLA (kg/dm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO+GRUESO			
100%	0%	40.00	0.00	0.00	39.80	29.90	1.46	1.455
					39.70	29.80	1.45	
90%	10%	40.00	4.44	4.44	42.80	32.90	1.60	1.601
					42.70	32.80	1.60	
80%	20%	40.00	10.00	5.56	45.30	35.40	1.73	1.720
					45.10	35.20	1.72	
70%	30%	40.00	17.14	7.14	47.40	37.50	1.83	1.825
					47.30	37.40	1.82	
60%	40%	40.00	26.67	9.53	49.50	39.60	1.93	1.925
					49.30	39.40	1.92	
50%	50%	40.00	40.00	13.33	48.90	39.00	1.90	1.901
					48.90	39.00	1.90	
40%	60%	40.00	60.00	20.00	47.10	37.20	1.81	1.818
					47.30	37.40	1.82	

Curva densidad compactada vs % de mezcla



Porcentaje máximo de agregado fino %	45.00
Porcentaje máximo de agregado grueso %	55.00
Porcentaje óptimo de agregado fino %	41.00
Porcentaje óptimo de agregado grueso %	59.00
Peso unitario máximo gr/cm ³	1.890
Peso unitario óptimo gr/cm ³	1.886

Realizado por: Pablo Flores Medina

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

❖ Interpretación

Los porcentajes obtenidos mediante el ensayo de abrasión (Ver Tabla 26) se determinaron que el agregado grueso es de buena calidad permitiendo su uso en hormigones estructurales por su alta resistencia al desgaste.

Al ser agregados triturados en ambas minas, su desgaste será mayor debido al proceso de manufactura del mismo.

Tabla 26. Porcentajes de desgaste del árido grueso

PARÁMETROS	DESGASTE ÁRIDO GRUESO		PRECISIÓN 1 OPERADOR INEN 860
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.012	0.034	< 0.045
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.008	0.024	-
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.03%	0.08%	< 2%
PROMEDIO 500 rev	28.28%	29.77%	≤ 50% INEN 872

Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación

En referencia al coeficiente de uniformidad a las 500 rev de los agregados gruesos (Ver Tabla 27) no cumplen con los rangos permitidos por la norma NTE INEN 860 [33], puesto que el material pétreo ya fue previamente manufacturado y sufrió un mayor proceso de desgaste, cabe recalcar que la interacción entre sus partículas es más crítica debido a su alta rugosidad.

Tabla 27. Coeficientes de uniformidad del árido grueso

PARÁMETROS	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD ÁRIDO GRUESO		MATERIAL DE DUREZA UNIFORME < 0.20
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.004	0.001	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.003	0.001	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	1.13%	0.33%	
PROMEDIO 500 rev	0.230	0.25	

Realizado por: Pablo Flores Medina

3.1.9 Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μm (No.200), mediante lavado

Tabla 28. Resultados para el material más fino que pasa el tamiz No.200

PARÁMETROS	MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ No.200		PRECISIÓN 1 OPERADOR INEN 697
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.16	0.11	< 0.43
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.11	0.08	< 0.15
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.14	0.07	-
PROMEDIO	0.82	1.05	< 3%

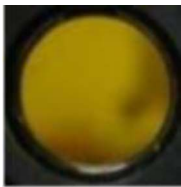
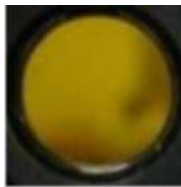
Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación

Los parámetros obtenidos en el siguiente ensayo se encuentran por debajo del límite permitido de la NTE INEN 697 que es de <3% (Ver Tabla 28), por consiguiente, en ningún caso para ambas minas el agregado fino presentará problemas de adherencia entre pasta de cemento y áridos; o la necesidad de elevar el requerimiento de agua para el diseño de mezclas de hormigón estructural. En cuanto a los valores de desviación estándar y coeficientes de variación se ajustan al cumplimiento establecido <0.15.

3.1.10 Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón

Tabla 29. Resultados del ensayo de colorimetría

PARÁMETRO	ÁRIDO FINO	
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL
COLOR DE LA MUESTRA PLACA ÓRGANICA		
	Amarillo pálido	Amarillo pálido
REFERENCIAL	Jugo de piña	Jugo de piña
No. COMPARADOR	2	2
COLOR ESCALA GARDNER	8	8
CONT ORGÁNICO ACEPTABLE	SI	
PROPIEDAD ASTM C40	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad

Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación

Los resultados obtenidos de las muestras de árido fino para la Mina Trópico de Capricornio y Santa Isabel produjeron un color amarillo pálido y en referencia al comparador de la placa orgánica [28], se obtuvo el No.2 y No.8 en la escala de Gardner en ambos casos.

Al ser arenas con casi ninguna presencia de materia orgánica, limos o arcillas se la considera de buena calidad para la elaboración de hormigones estructurales con efectos positivos en cuanto a asentamiento, endurecimiento y resistencia se refiere.

3.1.11 Diseño de mezclas con el método de la densidad óptima

❖ Precedentes

En las tablas 30,31 y 32 se especifica los resultados de los ensayos obtenidos previamente para la realización del diseño de mezclas mediante el método de dosificación óptima, cabe recalcar que también se realizaron ensayos adicionales que permitieron la caracterización de las propiedades físico-mecánicas de los materiales.

La densidad real del cemento ensayada fue de **2.974 gr/cm³**

❖ Ensayo de caracterización de los agregados

Agregado fino: Los parámetros obtenidos para las minas correspondientes se encuentran detallados en la Tabla 30, los cuales en su mayoría se ajustan a los requerimientos establecidos por las normas, esto se debe a que la procedencia del material pétreo es de arena de río y por lo tanto tienden a ser áridos limpios, pero con módulos de finura por debajo del requerimiento que establece la norma NTE INEN 872 para el uso en la elaboración de hormigón es decir son arenas finas.

Tabla 30.Resumen de las propiedades en el árido fino

PROPIEDAD		MINA	
		TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL
%MATERIAL+FINO TAMIZ #200 < 5%		0.82	1.05
COLIRIMETRÍA ≤ 3		2	2
MÓDULO DE FINURA (2.3 A 3.1)		2.10	2.15
CUMPLIMIENTO GRANULOMETRÍA INEN 872		No	No
DENSIDAD SSS gr/cm ³		2.777	2.729
%ABSORCIÓN < 2%		1.060%	1.403%
DENSIDADES APARANTES gr/cm ³	SUELTA	1.435	1.425
	COMPACTADA	1.591	1.577

Realizado por: Pablo Flores Medina

Agregado grueso: Los resultados obtenidos en el agregado grueso de ambas minas, se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma, a excepción de la granulometría que no cumplen con los parámetros, se consideran materiales de buena calidad y densidades normales.

Tabla 31.Resumen de las propiedades del árido grueso

PROPIEDAD		MINA	
		TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	TM	1 in	1 in
	TNM	3/4 in	3/4 in
	Cumple Lim INEN 872	No	No
DENSIDAD SSS gr/cm ³		2.656	2.660
%ABSORCIÓN < 2%		1.250%	1.466%
DENSIDADES APARANTES gr/cm ³	SUELTA	1.385	1.324
	COMPACTADA	1.534	1.456
ÁNGELES	% ABRASIÓN < 50%	28.28%	29.77%
	Cu < 0.2	0.230	0.250

Realizado por: Pablo Flores Medina

Tabla 32.Densidades aparentes para una mezcla de árido grueso con fino y %

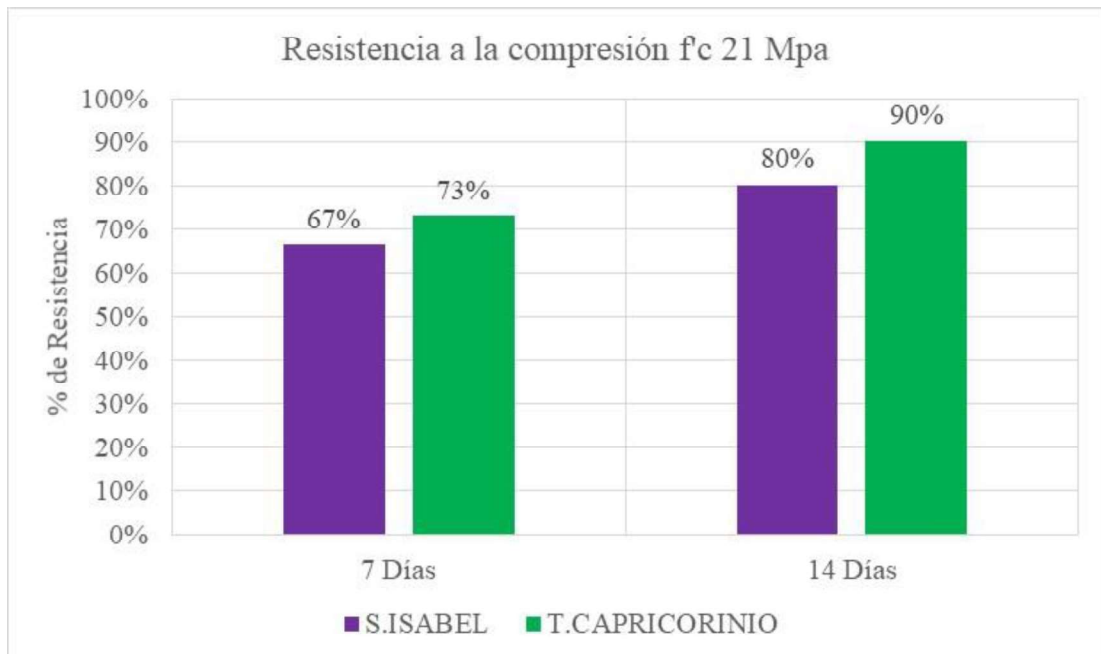
PROPIEDAD	MINA	
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL
PESO UNITARIO MÁXIMO	1.955	1.890
PESO UNITARIO ÓPTIMO	1.951	1.886
% ÓPTIMO FINO	38.00	41.00
% ÓPTIMO GRUESO	62.00	59.00

Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Resultados de mezclas de prueba

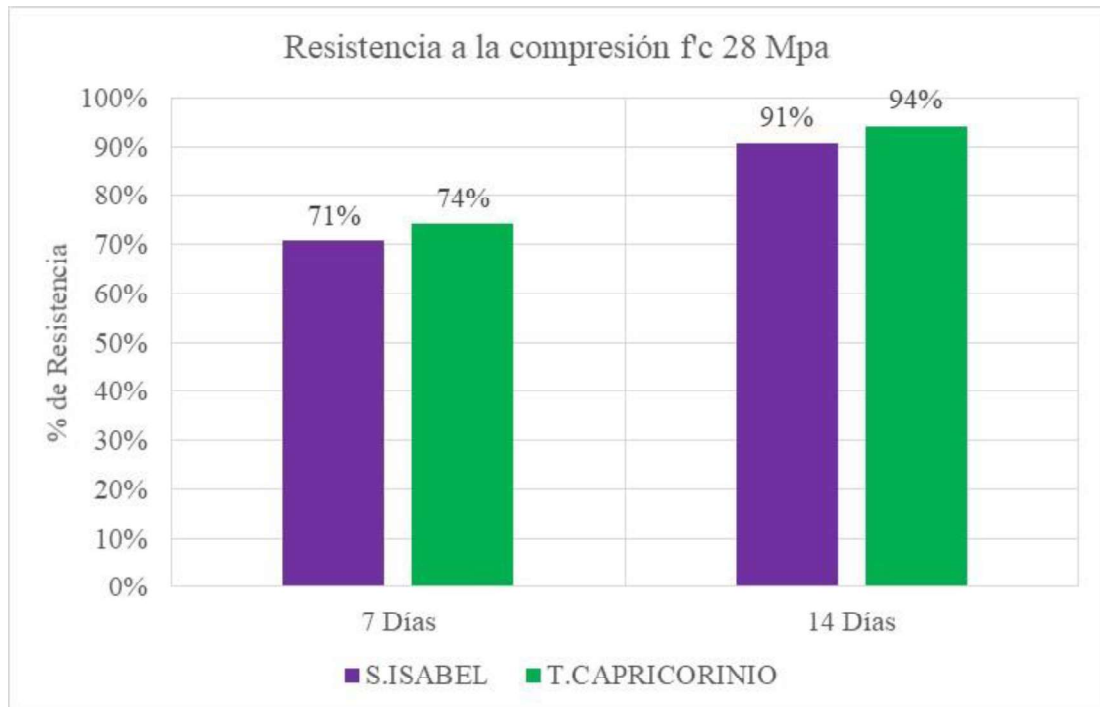
En el anexo Diseño de mezclas se presenta la dosificación de prueba realizada para las dos minas de estudio con sus respectivos resultados. Las figuras 12 y 13 indican para las dosificaciones de prueba para las resistencias de 21 Mpa y 28 Mpa a los 7 y 14 días, la resistencia a la compresión especificada sobrepasa los valores mínimos establecidos que son del 65% y 80% respectivamente.

Figura 12.Comparación en función de la resistencia a la compresión 21 Mpa



Realizado por: Pablo Flores Medina

Figura 13: Comparación en función de la resistencia a la compresión 28 Mpa



Realizado por: **Pablo Flores Medina**

3.1.12 Diseño de mezcla final

❖ Mina Trópico De Capricornio

1. Parámetros de diseño

f'c:	210 y 280 kg/cm ²	RELACIÓN A/C	210 kg/cm ²	0.58
ASENTAMIENTO (cm):	6-9 cm		280 kg/cm ²	0.52
CEMENTO:	HIDRÁULICO GU	CP%	POV+2%+8%(POV)	
CANTIDAD:	1 metro cúbico			

2. Datos requeridos para la dosificación

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	DRC	2.974	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DEL ARENA	DRA	2.777	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DEL RIPIO	DRR	2.656	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL ARENA (SUELTA)	DAA	1.433	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO(SUELTA)	DAR	1.385	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL ARENA (COMPACTADA)	DAA	1.595	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO(COMPACTADA)	DAR	1.534	gr/cm ³
PORCENTAJE ÓPTIMO DE ARENA	POA	38.000	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DE RIPIO	POR	62.00	%
DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA	DOM	1.951	gr/cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA	CAA	1.060	%
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO	CAR	1.250	%
CONTEIDO DE HUMEDAD DEL ARENA	CHA	-	%
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL RIPIO	CHR	-	%

3. Resultados

DOSIFICACIÓN PARA TC 21 (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 210 kg/cm ² A LOS 28 DÍAS)						
MATERIAL	CANT kg @m ³ DE HORMIGÓN	DOSEF. AL PESO	CANTIDAD @SACO 50 kg	VOL. APARENTE SUELTO	DOSIF. AL VOLUMEN =27dm ³	
W	202.54	0.58	29.00	-	29.00	lt
CC	349.21	1.00	50.00	-	1.00	saco
AF	717.59	2.05	102.74	71.72	2.7	caj
AG	1119.82	3.21	160.34	115.74	4.3	caj
D.H. FRESCO=	2389.16	kg/m ³	-			

DOSIFICACIÓN PARA TC 28 (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 280 kg/cm ² A LOS 28 DÍAS)						
MATERIAL	CANT kg @m ³ DE HORMIGÓN	DOSEF. AL PESO	CANTIDAD @SACO 50 kg	VOL. APARENTE	DOSIF. AL VOLUMEN =27dm ³	
W	194.31	0.52	26.00	-	26.00	lt
CC	373.68	1.00	50.00	-	1.00	saco
AF	717.59	1.92	96.02	67.02	2.5	caj
AG	1119.82	3.00	149.84	108.16	4.0	caj
D.H.FRESCO=	2405.40	kg/m ³	-			

❖ Mina Santa Isabel

1. Parámetros de diseño

f'c:	210 y 280 kg/cm ²	RELACIÓN A/C	210 kg/cm ²	0.58
ASENTAMIENTO (cm):	6-9 cm		280 kg/cm ²	0.52
CEMENTO:	HIDRÁULICO GU	CP%	POV+2%+8%(POV)	
CANTIDAD:	1 metro cúbico			

2. Datos requeridos para la dosificación

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	DRC	2.974	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DEL ARENA	DRA	2.729	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DEL RIPIO	DRR	2.660	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL ARENA (SUELTA)	DAA	1.427	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO(SUELTA)	DAR	1.324	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL ARENA (COMPACTADA)	DAA	1.574	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO(COMPACTADA)	DAR	1.456	gr/cm ³
PORCENTAJE ÓPTIMO DE ARENA	POA	41.00	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DE RIPIO	POR	59.00	%
DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA	DOM	1.886	gr/cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA	CAA	1.403	%
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO	CAR	1.466	%
CONTEIDO DE HUMEDAD DEL ARENA	CHA	-	%
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL RIPIO	CHR	-	%

3. Resultados

DOSIFICACIÓN PARA SI 21 (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 210 kg/cm ² A LOS 28 DÍAS)						
MATERIAL	CANT kg @m ³ DE HORMIGÓN	DOSF. AL PESO	CANTIDAD @SACO 50 kg	VOL. APARENTE	DOSIF. AL VOLUMEN =27dm ³	
W	216.69	0.58	29.00	-	29.00	lt
CC	373.60	1.00	50.00	-	1.00	saco
AF	735.83	1.97	98.48	69.00	2.6	caj
AG	1032.30	2.76	138.16	104.35	3.9	caj
DHFRESCO=	2358.42	kg/m ³	-			

DOSIFICACIÓN PARA SI 28 (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 280 kg/cm ² A LOS 28 DÍAS)						
MATERIAL	CANT kg @m ³ DE HORMIGÓN	DOSF. AL PESO	CANTIDAD @SACO 50 kg	VOL. APARENTE SUELTO	DOSIF. AL VOLUMEN =27dm ³	
W	207.88	0.52	26.00	-	26.00	lt
CC	399.77	1.00	50.00	-	1.00	saco
AF	735.83	1.84	92.03	64.48	2.4	caj
AG	1032.30	2.58	129.11	97.52	3.6	caj
DHFRESCO=	2375.79	kg/m ³	-			

3.1.12.1 Ensayos realizados con la dosificación final

3.1.12.1 Ensayos del hormigón en estado fresco

Tabla 33. Resumen ensayo del hormigón en estado fresco

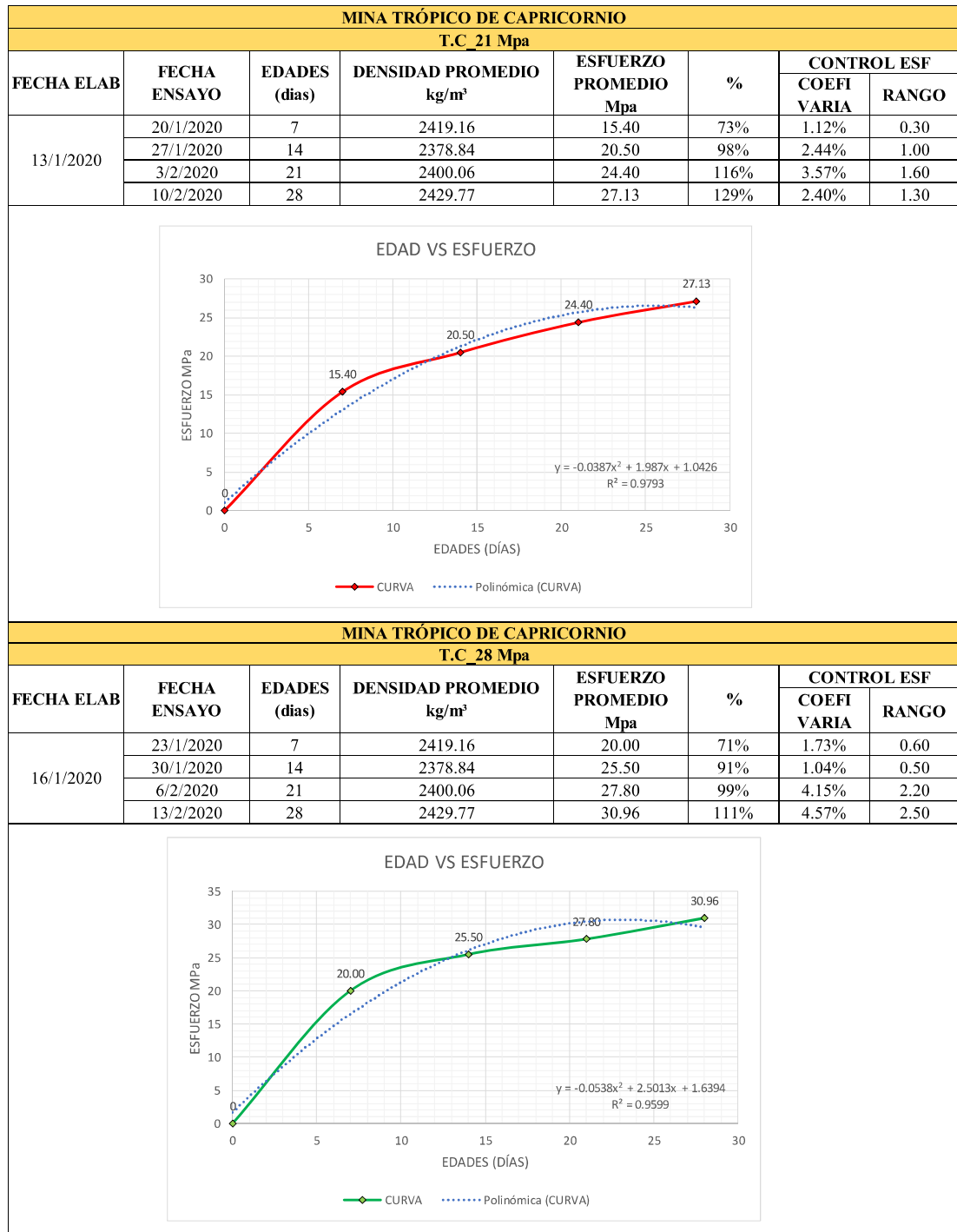
DENOMINACIÓN	FECHA ELAB	HORA	DOCILIDAD	HOMOG	TEMP °C	ASENTENT (cm)	CONSIT	DENSIDAD kg/m ³
S.I_21	7/1/2020	15h00 17h00	BUENA	BUENA	17.50	6.00	PLÁSTICA	2355.49
S.I_28	9/1/2020	13h00 16h30	BUENA	BUENA	18.10	7.00	PLÁSTICA	2406.42
T.C_21	13/1/2020	14h15 17h30	EXCELENTE	EXCELENTE	19.50	6.00	PLÁSTICA	2419.16
T.C_28	16/1/2020	15h30 18h00	EXCELENTE	EXCELENTE	17.10	6.50	PLÁSTICA	2438.25

Realizado por: Pablo Flores Medina

3.1.12.2 Ensayos del hormigón en estado endurecido

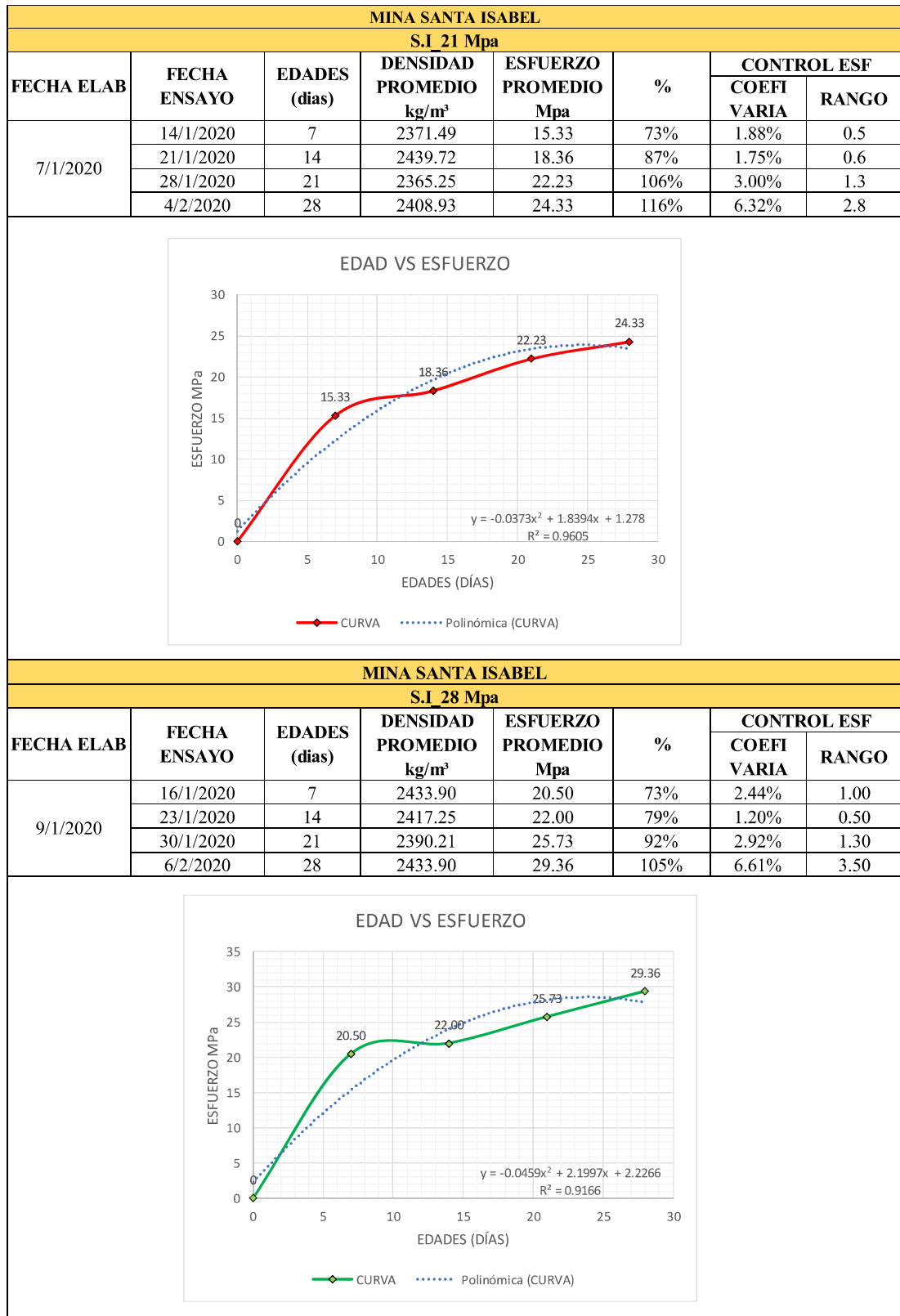
Curva: Edad vs resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón de cemento hidráulico; NORMA INEN 1573 a las edades de 7,14,21 y 28 días

Tabla 34.Resumen ensayos del hormigón en estado endurecido: Edad vs Esfuerzo



Realizado por: Pablo Flores Medina

Tabla 35.Resumen ensayos del hormigón en estado endurecido: Edad vs Esfuerzo



Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretaciones curvas: Edad vs Esfuerzo

Los resultados obtenidos de la Mina Trópico de Capricornio para las resistencias de 21 y 28 MPa respectivamente; las probetas de hormigón a las edades de 7, 14, 21 y 28 días superaron los límites superiores (Ver Tabla 34) al momento de ser ensayadas a compresión debido a la buena calidad de los agregados.

Respecto a los resultados obtenidos de la Mina Santa Isabel para las mismas resistencias (21 y 28 Mpa) las probetas de hormigón ensayadas a las edades ya mencionadas alcanzaron resistencias relativamente altas y en ocasiones superando los límites superiores (Ver Tabla 35).

3.1.13 Determinación del MEE del hormigón; ASTM C469-02

El MEE obtenido para cada probeta (9 en total por cada resistencia) se calculó mediante la norma establecida ASTM C469-02 [19], y las densidades en relación de la masa y volumen. Los cilindros con la marca de asterisco* no se consideraron para el cálculo del MEE debido a fallas en el momento de efectuar el ensayo y resultados fuera del rango, caso contrario a sus densidades que si se tomaron en cuenta para establecer un promedio.

El cálculo del MEE del concreto se utilizó la fórmula expresada en la norma ASTM C469-02 [19]; en donde hemos tomado las lecturas obtenidas de la Mina Trópico de Capricornio de 27.13 Mpa (Ver Tabla 36) como esfuerzo máximo para expresar un ejemplo tipo de dicho módulo.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

Donde,

E= Módulo de elasticidad secante, en Mpa

S₂= Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última

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

ε_2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S_2

Datos:

Esfuerzo Máximo = 27.13 Mpa

$S_1 = 1.47$ Mpa

$S_2 = 10.85$ Mpa

$\varepsilon_2 = 4.30 \times 10^{-4}$ mm/mm

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$
$$E = \frac{10.85 - 1.47}{4.30 \times 10^{-4} - 0.00005}$$
$$E = 24681.58 \text{ Mpa}$$

Para el cálculo de los factores locales k_a y k_b respectivamente se utilizó las fórmulas expuestas por el ACI 318-14 [20], que se vinculan con el MEE experimental, peso específico y la resistencia a la compresión del hormigón, calculándose de la siguiente manera:

a) Para valores de (wc) entre 1440 y 2560 kg/m³

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

$$E_c = wc^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$E_c = wc^{1.5} * k_a * \sqrt{f'_c}$$

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

b) Para valores de concreto normal

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

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

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

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

Donde,

Ec = MEE del experimental hormigón

$f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto obtenida, Mpa

Wc = Peso unitario del hormigón obtenido por el método gravimétrico, Kg/m²

Tabla 36.MEE y factores locales (ka, kb)

MEE y FACTORES (ka,kb) PARA LA MINA TRÓPICO DE CAPRICORNIO_21 Mpa													
DENOMINACIÓN:			T.C_21				NORMA:			ASTM C-469			
FECHA ELABORACIÓN:			13/1/2020				FECHA DE ENSAYO:			10/2/2020			
EDAD:			28 DÍAS				40% RESISTENCIA:			10.85 Mpa			
RESISTENCIA DE ENSAYO:			27.13 Mpa				ENSAYADO POR:			Pablo Flores Medina			
Nº Probeta	DATOS CILINDROS			LECTURA		MEE (Mpa)	MEE (Kg/cm²)	Densidad kg/m³	FACTORES Mpa		FACTORES Kg/cm²		
	Φp (mm)	hp (mm)	Peso (kg)	S1 (Mpa)	e2 x10^-4				ka	kb	ka	kb	
1	102.00	203.00	3.838	1.47	4.30E-04	24681.58	251505.289	2443.347	0.039	4738.578	0.125	15126.384	
2	101.00	203.00	3.854	1.48	4.50E-04	23420.00	238649.800	2453.533	0.037	4496.370	0.118	14353.212	
3	101.00	203.00	3.83	1.52	4.80E-04	21697.67	221099.302	2438.254	0.035	4165.703	0.110	13297.665	
4	101.00	201.00	3.806	1.12	4.90E-04	22113.64	225337.955	2422.975	0.036	4245.563	0.114	13552.592	
5	101.00	203.00	3.901	1.73	4.40E-04	23382.05	238263.103	2483.454	0.036	4489.084	0.116	14329.954	
6	102.00	201.00	3.925	1.59	4.80E-04	21530.23	219393.070	2498.733	0.033	4133.556	0.106	13195.046	
7	102.00	203.00	3.854	1.27	4.72E-04	22691.9431	231230.900	2453.533	0.036	4356.591	0.114	13907.014	
*8	101.00	201.00	3.759	3.54	5.80E-04			2393.054					
9	102.00	202.00	3.811	2.71	0.00039	23935.2941	243900.647	2426.158	0.038	4725.327	0.123	15084.085	
Parámetros de control						Rango	3151.346	32112.220	105.679	0.006	605.022	0.020	1931.338
						Desviación Estándar	1116.38	11375.94	31.80	0.00	234.97	0.006	750.07
						Coefficiente de desviación	4.9%	4.9%	1.30%	5.5%	5.3%	5.5%	5%
						Promedio	22931.55	233672.51	2445.89	0.036	4419	0.116	14106
						Mediana	23037.00	234747.00	2448.44	0.04	4422.84	0.12	14118.48

*Valor no considerado

Tabla 37.MEE y factores locales (ka, kb)

MEE y FACTORES (ka,kb) PARA LA MINA TRÓPICO DE CAPRICORNIO_28 Mpa													
DENOMINACIÓN:			T.C 28				NORMA:			ASTM C-469			
FECHA ELABORACIÓN:			16/1/2020				FECHA DE ENSAYO:			13/2/2020			
EDAD:			28 DÍAS				40% RESISTENCIA:			12.39 Mpa			
RESISTENCIA DE ENSAYO:			30.97 Mpa				ENSAYADO POR:			Pablo Flores Medina			
N° Probeta	DATOS CILINDROS			LECTURA		MEE (Mpa)	MEE (Kg/cm²)	Densidad kg/m³	FACTORES Mpa		FACTORES Kg/cm²		
	Φp (mm)	hp (mm)	Peso (kg)	S1 (Mpa)	e2 x10^-4				ka	kb	ka	kb	
10	102.00	203.00	3.829	2.12	4.61E-04	24963.5036	254378.102	2437.617	0.037	4485.749	0.119	14319.308	
11	102.00	203.00	3.924	2.52	4.72E-04	23357.8199	238016.185	2498.096	0.034	4197.220	0.107	13398.272	
12	103.00	204.00	3.812	2.62	4.29E-04	25749.3404	262385.778	2426.795	0.039	4626.957	0.124	14770.071	
13	101.00	202.00	3.920	2.55	4.51E-04	24521.197	249870.998	2495.550	0.035	4406.270	0.113	14065.597	
14	101.00	202.00	3.892	2.92	4.32E-04	24761.7801	252322.539	2477.724	0.036	4449.500	0.115	14203.597	
15	102.00	203.00	3.843	2.35	4.41E-04	25641.9437	261291.407	2446.530	0.038	4607.659	0.122	14708.468	
*16	103.00	200.00	3.900	3.52	5.12E-04			2482.817					
17	102.00	201.00	3.910	3.13	4.10E-04	25708.3333	261967.917	2489.183	0.037	4619.589	0.119	14746.549	
18	101.00	200.00	3.874	2.13	4.59E-04	25061.1247	255372.861	2466.265	0.037	4503.290	0.117	14375.304	
Parámetros de control						Rango	2391.520	24369.594	71.301	0.005	429.738	0.016	1371.799
						Desviación Estándar	797.88	8130.37	26.23	0.002	143.37	0.005	457.67
						Coefficiente de desviación	3.20%	3.20%	1.06%	4.40%	3.20%	4.40%	3.20%
						Promedio	24970.63	254450.72	2468.95	0.037	4487	0.117	14323
						Mediana	25012.31	254875.48	2477.72	0.04	4494.52	0.118	14347.31

*Valor no considerado

Tabla 38.MEE y factores locales (ka, kb)

MEE y FACTORES (ka,kb) PARA SANTA ISABEL_ 21 Mpa												
DENOMINACIÓN:			S.I 21				NORMA:		ASTM C-469			
FECHA ELABORACIÓN:			7/1/2020				FECHA DE ENSAYO:		4/2/2020			
EDAD:			28 DÍAS				40% RESISTENCIA:		9.73 Mpa			
RESISTENCIA DE ENSAYO:			24.33 Mpa				ENSAYADO POR:		Pablo Flores Medina			
Nº Probeta	DATOS CILINDROS			LECTURA		MEE (Mpa)	MEE Kg/cm²	Densidad kg/m³	FACTORES Mpa		FACTORES Kg/cm²	
	Φp (mm)	hp (mm)	Peso (kg)	S1 (Mpa)	e2 x10^-4				ka	kb	ka	kb
19	101.00	200.00	3.721	1.31	4.40E-04	21584.6154	219947.231	2368.862	0.038	4375.959	0.121	13968.840
20	101.00	201.00	3.692	1.42	4.72E-04	19689.5735	200636.754	2350.400	0.035	3991.768	0.112	12742.433
21	102.00	200.00	3.702	1.38	4.56E-04	20561.5764	209522.463	2356.766	0.036	4168.553	0.116	13306.764
22	101.00	200.00	3.734	1.35	4.50E-04	20947.5	213455.025	2377.138	0.037	4246.794	0.117	13556.521
23	101.00	203.00	3.754	1.25	4.40E-04	21751.2821	221645.564	2389.871	0.038	4409.748	0.120	14076.701
24	103.00	203.00	3.725	1.28	4.82E-04	19553.2407	199247.523	2371.409	0.034	3964.128	0.110	12654.203
25	103.00	202.00	3.731	1.46	4.69E-04	19744.6301	201197.780	2375.228	0.035	4002.930	0.110	12778.063
26	102.00	202.00	3.865	1.26	4.50E-04	21172.5	215747.775	2460.535	0.035	4292.409	0.112	13702.133
27	101.00	202.00	3.822	1.72	4.10E-04	22247.2222	226699.194	2433.161	0.038	4510.293	0.120	14397.657
Parámetros de control			Rango			2693.981	27451.671	110.135	0.004	546.165	0.012	1743.455
			Desviación Estándar			983.192	10018.724	36.414	0.001	199.327	0.005	636.289
			Coefficiente de desviación			4.7%	4.7%	1.5%	3.9%	4.7%	1.2%	4.7%
			Promedio			20805.793	212011.034	2387.041	0.036	4218	0.115	13465
			Mediana			20947.500	213455.025	2375.228	0.036	4246.794	0.116	13556.521

Tabla 39.MEE y factores locales (ka, kb)

MEE y FACTORES (ka, kb) PARA SANTA ISABEL_ 28 Mpa													
DENOMINACIÓN:			S.I 28				NORMA:			ASTM C-469			
FECHA ELABORACIÓN:			9/1/2020				FECHA DE ENSAYO:			6/2/2020			
EDAD:			28 DÍAS				40% RESISTENCIA:			11.74 Mpa			
RESISTENCIA DE ENSAYO:			29.37 Mpa				ENSAYADO POR:			Pablo Flores Medina			
N° Probeta	DATOS CILINDROS			LECTURA		MEE (Mpa)	MEE Kg/cm ²	Densidad kg/m ³	FACTORES Mpa		FACTORES Kg/cm ²		
	Φp (mm)	hp (mm)	Peso (kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁴				ka	kb	ka	kb	
28	102.00	200.00	3.782	2.421	4.50E-04	23297.5	237401.525	2407.696	0.036	4298.900	0.116	13722.854	
29	102.00	201.00	3.752	2.125	4.70E-04	22892.8571	233278.214	2388.597	0.036	4224.235	0.116	13484.508	
30	101.00	200.00	3.711	2.321	4.65E-04	22696.3855	231276.169	2362.496	0.036	4187.981	0.116	13368.781	
31	102.00	200.00	3.732	2.542	4.49E-04	23052.6316	234906.316	2375.865	0.037	4253.716	0.117	13578.620	
32	101.00	203.00	3.801	2.571	4.39E-04	23570.6941	240185.373	2419.792	0.037	4349.310	0.117	13883.773	
33	102.00	203.00	3.725	2.782	4.70E-04	21328.5714	217338.143	2371.409	0.034	3935.590	0.109	12563.102	
*34	103.00	202.00	3.739					2380.321					
35	103.00	202.00	3.774	2.145	5.00E-04	21322.2222	217273.444	2402.603	0.033	3934.418	0.107	12559.362	
36	103.00	202.00	3.831	2.115	5.21E-04	20435.2442	208235.138	2438.890	0.031	3770.751	0.100	12036.908	
Parámetros de control						Rango	3135.450	31950.235	76.394	0.005	578.559	0.017	1846.864
						Desviación Estándar	1137.476	11590.876	24.974	0.002	209.889	0.006	670.004
						Coefficiente de desviación	5.1%	5.1%	1.0%	4%	5.1%	5.7%	5.1%
						Promedio	22324.513	227486.790	2394.185	0.035	4119	0.112	13150
						Mediana	22794.621	232277.191	2388.597	0.036	4206.108	0.116	13426.645

*Valor no considerado

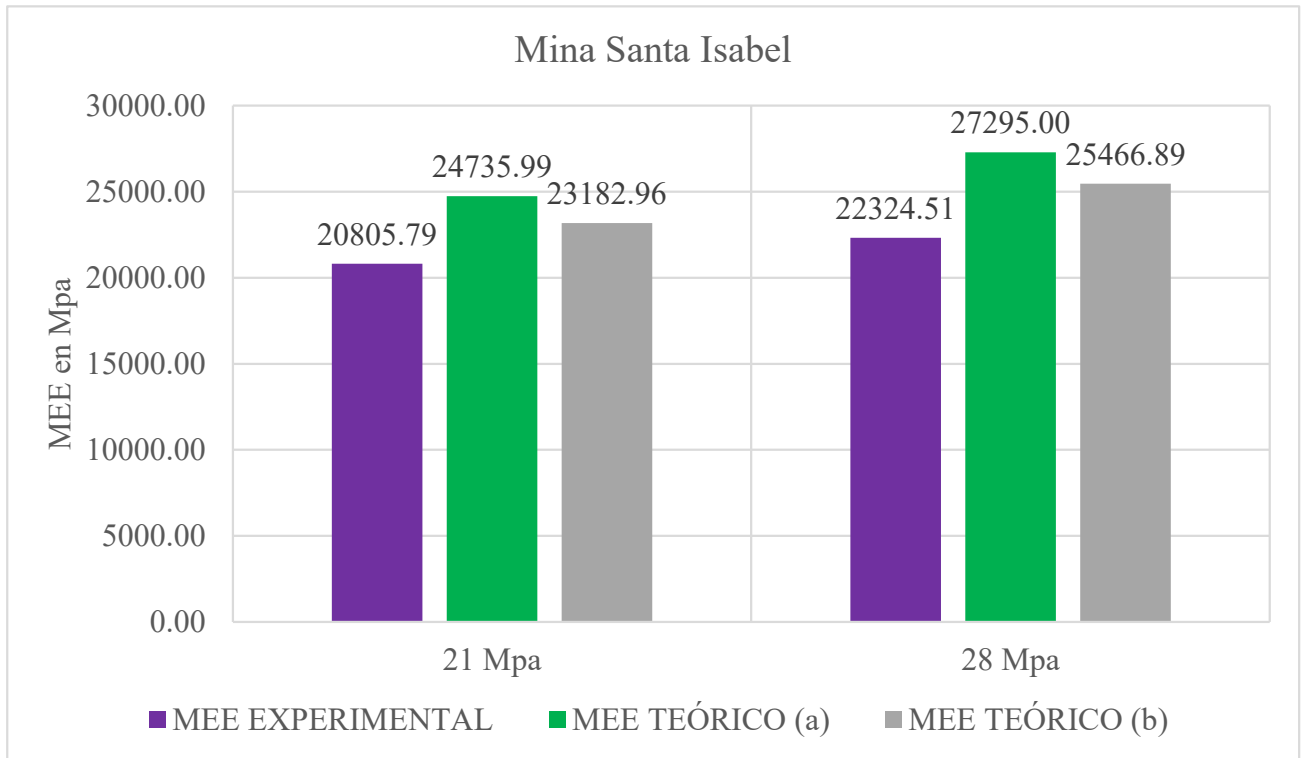
3.1.13.1 Análisis de los resultados del MEE y sus factores locales

Tabla 40. Comparativa entre MEE experimental vs teórico del hormigón

DENOMINACIÓN		RESULTADOS OBTENIDOS			MEE TEÓRICO ACI 318-14			
Minas	Código	Resistencia promedio de ensayo (Mpa)	Densidad promedio kg/m ³	MEE PROMEDIO ASTM C496-02 (Mpa)	(a)Wc entre 1440 y 2560 kg/m ³	% de Variación	(b)Concreto de peso normal	% de Variación
SANTA ISABEL	S.I_21	24,33	2387,04	20805,79	24735,99	16%	23182,96	10%
	S.I_28	29,36	2394,19	22324,51	27295,00	18%	25466,89	12%
TRÓPICO DE CAPRICORNIO	T.C_21	27,13	2445,89	22931,55	27092,53	15%	24480,64	6%
	T.C_28	30,96	2468,95	24970,63	29352,03	15%	26151,60	5%

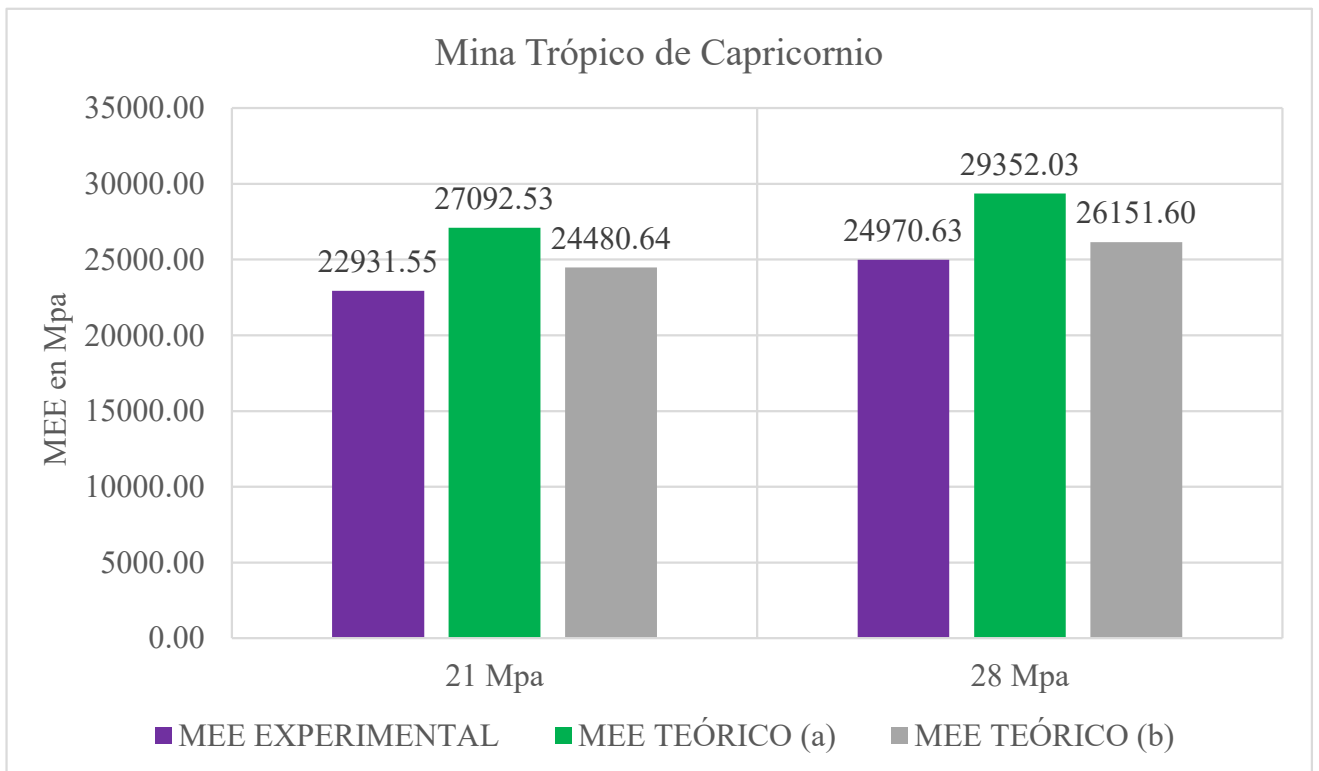
Realizado por: Pablo Flores Medina

Figura 14.Comparativa MEE experimental vs MEE teórico



Realizado por: Pablo Flores Medina

Figura 15.Comparativa MEE experimental vs MEE teórico



Realizado por: Pablo Flores Medina

❖ Interpretación

Los resultados obtenidos en la tabla 40 son valores promedios del MEE experimental obtenido vs el teórico; También nos indica la variación que existe entre el valor experimental conseguido y la fórmula para el cálculo del ME ya citado en el ACI 318-14 (a) $E_c = w c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'c}$ (en MPa) y (b) $E_c = 4700 * \sqrt{f'c}$ (en Mpa) [20]; cuyo valor varía entre 5% al 18%.

En las tablas 41 y 42 se detalla los factores locales unificados obtenidos tanto en Mpa como en kg/cm² por su lugar de origen, cabe recalcar que los valores de ka y kb en ambas minas se acercan mucho el uno al otro; esto se debe a su procedencia, es de decir materiales de río.

De los parámetros de control que se han tomado en cuenta en la tabla 37 el coeficiente de variación en porcentajes va desde el 1.67 al 2.03 %, y para la tabla 38 van desde el 0.72 al 1.08% respectivamente; en ambos casos se mantiene un buen ajuste de los valores conseguidos.

Tabla 41. Factores de zona para MEE del concreto

DENOMINACIÓN	CÓDIGO	FACTORES PROMEDIOS OBTENIDOS			
		Para Ec en Mpa		Para Ec en kg/cm ²	
		Ka	Kb	Ka	Kb
SANTA ISABEL	S.I_21	0.036	4218.06	0.115	13464.81
	S.I_28	0.035	4119.36	0.112	13149.74
PARÁMETROS DE CONTROL	Rango	0.0010	98.70	0.0033	315.07
	Des.Estandar	0.0007	69.79	0.0023	222.79
	Coef.Variación	2.03%	1.67%	2.03%	1.67%
	Mediana	0.0357	4168.7136	0.1138	13307.28
	Promedio	0.036	4168.71	0.114	13307.28

Realizado por: Pablo Flores Medina

Tabla 42.Factores de zona para MEE del concreto

DENOMINACIÓN	CÓDIGO	FACTORES PROMEDIOS OBTENIDOS			
		Para Ec en Mpa		Para Ec en kg/cm ²	
		Ka	Kb	Ka	Kb
T.DE CAPRICORNIO	T.C 21	0.036	4418.85	0.116	14105.74
	T.C 28	0.037	4487.03	0.117	14323.40
PARÁMETROS DE CONTROL	Rango	0.0004	68.18	0.0012	217.65
	Des.Estandar	0.0003	48.21	0.0008	153.90
	Coef.Variación	0.72%	1.08%	0.72%	1.08%
	Mediana	0.0364	4452.94	0.1163	14214.57
	Promedio	0.036	4452.94	0.116	14214.57

Realizado por: Pablo Flores Medina

Y por finalizar en la tabla 43 se proponen los factores ka y kb para su utilización según sea la procedencia del material y de esta manera obtener el ME requerido

Tabla 43.Factores locales redondeados ka y kb obtenidos

PROCEDENCIA	(a) $E_c = w c^{1.5} + k_a + \sqrt{f'c}$		(b) $E_c = k_b + \sqrt{f'c}$	
	Factor ka		Factor kb	
	Para Mpa	Para kg/cm ²	Para Mpa	Para kg/cm ²
MINA SANTA ISABEL	0.0357	0.1138	4200	13300
T. DE CAPRICORNIO	0.0364	0.1163	4500	14200

Realizado por: Pablo Flores Medina

3.1.14 Verificación de hipótesis

Los materiales de las minas “Trópico de Capricornio” y “Santa Isabel” influyeron en el módulo de elasticidad del hormigón estructural fabricado con éstos; encontrándose una variación del 20% como valor máximo indicado respecto a la ecuación empírica propuesta por ACI 318-14.

Los valores obtenidos son: en la ecuación que considera densidades(a), el porcentaje mínimo es del 15% y como valor máximo es del 20%, mientras que para la ecuación (b) que tan solo toma en cuenta la resistencia a la compresión los porcentajes son del 0.90% y 0.92 % como valor mínimo y máximo respectivamente.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ Se obtuvieron las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los áridos de las minas Trópico de Capricornio y Santa Isabel, requeridas para el diseño de mezclas de hormigón, así como las indicadas en la NTE INEN 872 para su aprobación, como consecuencia los materiales se adecúan a las especificaciones establecidas, con excepción de los límites granulométricos del árido fino y grueso.
- ❖ Se realizó el diseño de mezclas de hormigón mediante el Método de la densidad óptima. Los diseños de dosificación alcanzaron las resistencias esperadas, obteniendo en promedio más del 65% de resistencia a los 7 días y mayores al 100% a los 28 días en ambas minas tanto para 21 Mpa y 28 Mpa respectivamente.
- ❖ Se propone las siguientes constantes para el cálculo del MEE del hormigón estructural para su aplicación en el cantón Mera, provincia de Pastaza; a partir de las correlaciones entre los áridos utilizados, la resistencia a la compresión del hormigón y el peso específico, teniéndose así los valores de **0.0357**, **0.0364** para las minas Santa Isabel y Trópico de Capricornio respectivamente para ser sustituida en la ecuación señalada en el ACI 318-14 $E_c = w_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'_c}$ por el valor de 0.043, y los valores de **4200** y **4500** para la ecuación $E_c = 4700 * \sqrt{f'_c}$, ambas en MPa
- ❖ Se formula las siguientes constantes para el cálculo del MEE del hormigón estructural para su aplicación en el cantón Mera, provincia de Pastaza; a partir de las correlaciones entre los áridos utilizados, la resistencia a la compresión

del hormigón y el peso específico, teniéndose así los valores de **0.1138**, **0.1163** para las minas Santa Isabel y Trópico de Capricornio respectivamente para ser sustituida en la ecuación $E_c = w_c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'_c}$ por el valor de 0.043, y los valores de **13300** y **14200** para la ecuación $E_c = 15100 * \sqrt{f'_c}$, ambas en kg/cm²

- ❖ De acuerdo con los resultados obtenidos se concluyó que el módulo de elasticidad estático del hormigón es un parámetro de diseño importante que no solo depende de la resistencia a la compresión del concreto sino de las propiedades físico-mecánicas de sus agregados, además que los valores del módulo de elasticidad encontrados experimentalmente difieren de los valores (Código A.C.I 318-14).
- ❖ Se determinó que el MEE del hormigón debe ser ensayado solo a los 28 días de curado puesto que es cuando el concreto alcanza su máxima resistencia y este procedimiento lo respalda la norma ASTM 496-02.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Nístal Cordero, M. Retana Maqueda y T. Ruiz Abrio, «El hormigón: historia, antecedentes en obras y factores,» *Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, vol. X, pp. 4-5, 2012.
- [2] A. Garrido Hernández, *Materiales de Construcción II*, Cartagena: Escuela de Ingeniería Técnica Civil, 2007.
- [3] J. Garcia Luizaga y M. Vargas Ledesma, *Resistencia de Materiales I*, Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón, 2007.
- [4] X. Tafunell, «En los orígenes de la ISI: La industria del cemento en latinoamérica, 1900-1930,» *Universitat Pompeu Fabra*, pp. 23-28, 2018.

- [5] J. Chan Yam, R. Solís Carcaño y E. Moreno , «Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto,» *Ingeniería Revista Académica*, vol. 7, n° 2, pp. 39-44, 2003.
- [6] M. Serrano Guzmán y D. Pérez Ruiz, «Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto,» *Concreto y cemento*, vol. 2, n° 1, pp. 2-6, 2010.
- [7] H. Cabrera, «Módulo de Elasticidad de hormigones de peso normal empleados en el Ecuador,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2014.
- [8] M. Romo Proaño, Temas de hormigón armado, Sangolqui: Escuela Politécnica del Ejército, 2008.
- [9] D. Morales Escobar, F. Ojeda Cueva, F. Rodríguez Narváez y A. Rosero Benavides, «Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($f^c = 21$ mpa),» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2012.
- [10] M. Carvajal Taco, «Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($f^c = 21$ Mpa),» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2013.
- [11] ACI Perú, «Concerto al dia,» 04 Julio 2015. [En línea]. Available: https://www.concrete.org/portals/0/files/PDF/CI_2015-05_SkysTheLimit_Spanish.pdf. [Último acceso: 23 Septiembre 2019].
- [12] O. Gonzáles Cuevas y F. Robles Fernández, Aspectos fundamentales del Concreto Reforzado, México D.F: Editorial Limusa S.A, 2016.
- [13] J. McCormac y R. Brown, Concreto reforzado, México D.F: Alfaomega, 2011.
- [14] F. Manuel, Hormigón, Madrid: Garceta, 2013.
- [15] M. Garzón, «Seminario de graduación, investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2010.
- [16] P. Galabru, Obras de fábrica y metálicas, Barcelona: Reverté S.A, 2004.

- [17] S. Medina Robalino, Hormigón, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2010.
- [18] F. Abanto Castillo, Tecnología del concreto, Lima: San Marcos, 2003.
- [19] American Society of Testing Materials, «ASTM C469-02,» Filadelfia, 2002, pp. 1-5.
- [20] ACI 318-14, Requisitos de reglamento para Concreto Estructural, 2014.
- [21] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 694:2010,» de *Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología*, Quito, 2010, pp. 1-6.
- [22] E. Guaño, «Módulo de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión de 21 MPA, elaborados con agregados del sector la providencia y cemento Chimborazo,» UNACH, Riobamba, 2015.
- [23] N. A, Tecnología del concreto, México: A.C, 1999.
- [24] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 858:2010,» de *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*., Quito, 2010, pp. 1-8.
- [25] M. Ismael , «DETERMINACIÓN DE UNA CONSTANTE PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN CON AGREGADOS DE LAS MINAS GADMFO: LA CONDE, GUAYUSA Y PUNINO 2, DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA.» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019.
- [26] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 856:2010,» de *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*, Quito, 2010, pp. 1-12.
- [27] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 857:2010,» de *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.*, Quito, 2010, pp. 1-10.

- [28] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 855:2010,» de *Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*, Quito, 2010, pp. 1-4.
- [29] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 872:2011,» de *Áridos para hormigón. Requisitos*, Quito, 2008, pp. 1-16.
- [30] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 696:2011,» de *Análisis granulométrico en los áridos finos y gruesos*, Quito, 2011, pp. 2-8.
- [31] L. Guitérrez de Lopez, *El concreto y otros materiales para la construcción*, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [32] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 156:2009,» de *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*, Quito, 2009, pp. 1-3.
- [33] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 860:2011,» de *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas*, Quito, 2011, pp. 1-7.
- [34] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 490:2011,» de *Cementos Hidráulicos compuestos: Requisitos*, Quito, 2011, pp. 1-7.
- [35] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTEN INEN 3124:2017,» de *Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio*, Quito, 2017, pp. 1-15.
- [36] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 1763:2015,» de *Toma de muestras de hormigón fresco*, Quito, 2015, pp. 1-7.
- [37] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 1578:2010,» de *Determinación del asentamiento*, Quito, 2010, pp. 1-9.
- [38] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 1579:2010,» de *Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire*, Quito, 2010, pp. 1-9.

ANEXOS



ANEXO EA. RESULTADO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS



a) Análisis granulométrico en el árido fino: INEN 696:2011

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES											
ÁNALISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO											
ORIGEN:		Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616						FECHA DE MUESTREO		01/10/2019	
PESO ENSAYO No.1		1000 gr						FECHA DE ENSAYO		21/10/2019	
PESO ENSAYO No.2		700 gr						NORMA:		NTE INEN 696:2011	
ENSAYADO POR:		Pablo Flores Medina									
TAMIZ	INEN 154 (mm)	ENSAYO NO.1				ENSAYO NO.2				LÍMITES INEN 872	
		Pesos Retenidos		% Retenido	% Que pasa	Pesos Retenidos		% Retenido	% Que pasa	Inferior	Superior
Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado								
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
No. 4	4.76	0.00	0.00	0.00%	100.00%	3.00	3.00	0.43%	99.57%	95	100
No. 8	2.38	20.30	20.30	2.05%	97.95%	18.60	21.60	3.09%	96.91%	80	100
No. 16	1.19	69.50	89.80	9.05%	90.95%	53.00	74.60	10.67%	89.33%	50	85
No. 30	0.59	220.70	310.50	31.31%	68.69%	162.90	237.50	33.98%	66.02%	25	60
No. 50	0.30	380.80	691.30	69.70%	30.30%	270.20	507.70	72.64%	27.36%	5	30
No. 100	0.15	238.40	929.70	93.74%	6.26%	140.00	647.70	92.67%	7.33%	0	10
No. 200	0.08	51.80	981.50	98.96%	1.04%	36.90	684.60	97.95%	2.05%	-	-
BANDEJA		10.30	991.80	100.00%	-	14.30	698.90	100.00%	-	-	-
MÓDULO DE FINURA		2.06				2.13				-	-
MÓDULO DE FINURA PROMEDIO						2.10					



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES											
ÁNALISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO											
ORIGEN:		Santa Isabel CÓDIGO 200217						FECHA DE MUESTREO		01/10/2019	
PESO ENSAYO No.1		1000 gr						FECHA DE ENSAYO		21/10/2019	
PESO ENSAYO No.2		700 gr						NORMA:		NTE INEN 696:2011	
ENSAYADO POR:		Pablo Flores Medina									
TAMIZ	INEN 154 (mm)	ENSAYO NO.1				ENSAYO NO.2				LÍMITES INEN 872	
		Pesos Retenidos		% Retenido	% Que pasa	Pesos Retenidos		% Retenido	% Que pasa	Inferior	Superior
Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado								
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
No. 4	4.76	0.00	0.00	0.00%	100.00%	3.00	3.00	0.43%	99.57%	95	100
No. 8	2.38	22.30	22.30	2.24%	97.76%	16.90	19.90	2.84%	97.16%	80	100
No. 16	1.19	82.10	104.40	10.47%	89.53%	51.90	71.80	10.26%	89.74%	50	85
No. 30	0.59	220.30	324.70	32.57%	67.43%	159.10	230.90	33.00%	67.00%	25	60
No. 50	0.30	401.80	726.50	72.88%	27.12%	298.30	529.20	75.64%	24.36%	5	30
No. 100	0.15	217.00	943.50	94.65%	5.35%	140.70	669.90	95.75%	4.25%	0	10
No. 200	0.08	42.20	985.70	98.89%	1.11%	24.70	694.60	99.29%	0.71%	-	-
BANDEJA		11.10	996.80	100.00%	-	5.00	699.60	100.00%	-	-	-
MÓDULO DE FINURA		2.13				2.18				-	-
MÓDULO DE FINURA PROMEDIO						2.15					



b) Análisis granulométrico en el árido grueso: INEN 696:2011

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 											
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO											
ORIGEN:		Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616				FECHA DE MUESTREO		01/10/2019			
PESO ENSAYO No.1		6000 gr				FECHA DE ENSAYO		22/10/2019			
PESO ENSAYO No.2		6000 gr				NORMA:		NTE INEN 696:2011			
ENSAYADO POR:		Pablo Flores Medina									
TAMIZ	INEN 154 (mm)	ENSAYO NO.1				ENSAYO NO.2				LÍMITES INEN 872	
		Pesos Retenidos		%	% Que	Pesos Retenidos		%	% Que	Inferior	Superior
		Parcial	Acumulado	Retenido	pasa	Parcial	Acumulado	Retenido	pasa		
2"	50.80	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00	0.00%	100.00%	95	100
1 "	25.40	198.80	198.80	3.32%	96.68%	200.80	200.80	3.37%	96.63%	-	-
3/4 "	19.05	565.20	764.00	12.76%	87.24%	490.80	691.60	11.62%	88.38%	35	70
1/2 "	12.70	1186.50	1950.50	32.58%	67.42%	1250.20	1941.80	32.61%	67.39%	-	-
3/8 "	9.53	1784.60	3735.10	62.39%	37.61%	2011.90	3953.70	66.41%	33.59%	10	30
No. 4	4.75	2098.50	5833.60	97.44%	2.56%	1880.50	5834.20	97.99%	2.01%	0	5
BANDEJA		153.20	5986.80	100.00%	-	119.70	5953.90	100.00%	-	-	-
T.N.M		3/4 "				3/4 "				-	-



 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 											
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO											
ORIGEN:		Santa Isabel CÓDIGO 200217				FECHA DE MUESTREO		01/10/2019			
PESO ENSAYO No.1		10000 gr				FECHA DE ENSAYO		22/10/2019			
PESO ENSAYO No.2		6000 gr				NORMA:		NTE INEN 696:2011			
ENSAYADO POR:		Pablo Flores Medina									
TAMIZ	INEN 154 (mm)	ENSAYO NO.1				ENSAYO NO.2				LÍMITES INEN 872	
		Pesos Retenidos		%	% Que	Pesos Retenidos		%	% Que	Inferior	Superior
		Parcial	Acumulado	Retenido	pasa	Parcial	Acumulado	Retenido	pasa		
2"	50.80	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00	0.00%	100.00%	100	100
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00	0.00%	100.00%	95	100
1 "	25.40	103.00	103.00	1.04%	98.96%	25.90	25.90	0.43%	99.57%	-	-
3/4 "	19.05	1050.90	1153.90	11.63%	88.37%	486.20	512.10	8.57%	91.43%	35	70
1/2 "	12.70	3411.80	4565.70	46.02%	53.98%	2300.00	2812.10	47.04%	52.96%	-	-
3/8 "	9.53	3594.80	8160.50	82.26%	17.74%	1945.10	4757.20	79.57%	20.43%	10	30
No. 4	4.75	1621.80	9782.30	98.60%	1.40%	1051.50	5808.70	97.16%	2.84%	0	5
BANDEJA		138.50	9920.80	100.00%	-	169.80	5978.50	100.00%	-	-	-
T.N.M		3/4 "				3/4 "				-	-



c) Ensayo de la densidad del árido fino y capacidad de absorción: NTE INEN
856

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 					
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO					
ORIGEN:	Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616	FECHA DE MUESTREO	12/11/2019		
PESO ENSAYO No.1	1000 gr	FECHA DE ENSAYO	13/11/2019		
PESO ENSAYO No.2	600 gr	NORMA:	NTE INEN 856		
ENSAYADO POR:	Pablo Flores Medina				
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2	
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
M1	Masa del picnómetro vacío	166.75	gr	167.00	gr
M2	Masa del picnómetro+muestra en SSS	670.30	gr	670.30	gr
M3	Masa del picnómetro+muestra en SSS+agua	983.20	gr	983.20	gr
M4=M3-M2	Masa agua añadida	312.90	gr	312.90	gr
M5	Masa picnómetro+500cc de agua	657.80	gr	657.80	gr
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	491.05	gr	490.80	gr
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	0.9821	gr/cm ³	0.9816	gr/cm ³
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	178.15	gr	177.90	gr
Msss=M2-M1	Masa del agregado	503.55	gr	503.30	gr
Vsss=M7/DA	Volumen de agua desalojada	181.40	cm ³	181.23	cm ³
DRA=Msss/Vss	Densidad real de la arena	2.776	gr/cm ³	2.777	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DE LA ARENA PROMEDIO		2.7765		gr/cm ³	

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 					
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO					
ORIGEN:	Santa Isabel CÓDIGO 200217	FECHA DE MUESTREO	12/11/2019		
PESO ENSAYO No.1	1000 gr	FECHA DE ENSAYO	13/11/2019		
PESO ENSAYO No.2	600 gr	NORMA:	NTE INEN 856		
ENSAYADO POR:	Pablo Flores Medina				
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2	
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
M1	Masa del picnómetro vacío	151.90	gr	152.60	gr
M2	Masa del picnómetro+muestra en SSS	651.20	gr	658.20	gr
M3	Masa del picnómetro+muestra en SSS+agua	963.90	gr	972.50	gr
M4=M3-M2	Masa agua añadida	312.70	gr	314.30	gr
M5	Masa picnómetro+500cc de agua	645.50	gr	651.50	gr
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	493.60	gr	498.90	gr
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	0.9872	gr/cm ³	0.9978	gr/cm ³
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	180.90	gr	184.60	gr
Msss=M2-M1	Masa del agregado	499.30	gr	505.60	gr
Vsss=M7/DA	Volumen de agua desalojada	183.25	cm ³	185.01	cm ³
DRA=Msss/Vss	Densidad real de la arena	2.725	gr/cm ³	2.733	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DE LA ARENA PROMEDIO		2.729		gr/cm ³	


MEDIDAS DE CONTROL			
PARÁMETROS	ÁRIDO FINO		PRECISIÓN 1 OPERADOR INEN 856
	TROPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.001	0.008	< 0.027
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.0008	0.0057	< 0.0095
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.03%	0.21%	%
PROMEDIO	2.777	2.729	gr/cm³



 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO MINA T. DE CAPRICORNIO 					
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2	
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
M7	Masa del recipiente	31.60	gr	30.7	gr
M8	Masa del recipiente+árido en SSS	146.10	gr	145.1	gr
M9=M8-M7	Masa de la muestra en SSS	114.50	gr	114.40	gr
M10	Masa del recipiente+muestra seca	144.90	gr	143.90	gr
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	113.30	gr	113.20	gr
$A = ((M9 - M11) / M11) * 10$	Capacidad de absorcion	1.059	%	1.060	%
$P2 = (CA1 + CA2) / 2$	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO	1.060		%	

 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO MINA SANTA ISABEL 					
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2	
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
M7	Masa del recipiente	25.40	gr	39.1	gr
M8	Masa del recipiente+árido en SSS	133.80	gr	169.2	gr
M9=M8-M7	Masa de la muestra en SSS	108.40	gr	130.10	gr
M10	Masa del recipiente+muestra seca	132.30	gr	167.40	gr
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	106.90	gr	128.30	gr
$A = ((M9 - M11) / M11) * 10$	Capacidad de absorcion	1.403	%	1.403	%
$P2 = (CA1 + CA2) / 2$	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO	1.403		%	



MEDIDAS DE CONTROL			
PARÁMETROS	ÁRIDO FINO		PRECISIÓN 1 OPERADOR INEN 856
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.09%	0.02%	< 0.31 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.07%	0.02%	< 0.11 %
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.06%	0.01%	%
PROMEDIO	1.060	1.403	%


d) Ensayo de la densidad SSS del árido grueso y capacidad de absorción:
NTE INEN 857

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 					
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:	Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616	FECHA DE MUESTREO	13/11/2019		
PESO ENSAYO No.1	3000 gr	FECHA DE ENSAYO	14/11/2019		
PESO ENSAYO No.2	3000 gr	NORMA:	NTE INEN 857		
ENSAYADO POR:	Pablo Flores Medina				
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2	
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
M1	Masa de la canastilla en el aire	1310.00	gr	1311.20	gr
M2	Masa de la canastilla en el agua	1135.00	gr	1135.00	gr
M3	Masa de la canastilla+muestra SSS en el aire	4301.10	gr	4301.10	gr
M4	Masa de la canastilla+muestra SSS en el agua	3001.00	gr	3001.00	gr
DA	Densidad real del agua	0.9989	gr/cm ³	0.9989	gr/cm ³
M5=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	2991.10	gr	2989.90	gr
M6=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	1866.00	gr	1866.00	gr
VR=(M5-M6)/DA	Volumen de la muestra	1126.34	cm ³	1125.14	cm ³
DR=M5/VR	Densidad real	2.656	gr/cm ³	2.657	gr/cm ³
DENSIDAD REAL PROMEDIO		2.6565		gr/cm ³	

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 					
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:	Santa Isabel CÓDIGO 200217	FECHA DE MUESTREO	12/11/2019		
PESO ENSAYO No.1	3000 gr	FECHA DE ENSAYO	13/11/2019		
PESO ENSAYO No.2	3000 gr	NORMA:	NTE INEN 857		
ENSAYADO POR:	Pablo Flores Medina				
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2	
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
M1	Masa de la canastilla en el aire	1313.20	gr	1311.10	gr
M2	Masa de la canastilla en el agua	1135.00	gr	1135.00	gr
M3	Masa de la canastilla+muestra SSS en el aire	4297.40	gr	4297.40	gr
M4	Masa de la canastilla+muestra SSS en el agua	2999.00	gr	2999.00	gr
DATOS	Densidad real del agua	0.9989	gr/cm ³	0.9989	gr/cm ³
M5=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	2984.20	gr	2986.30	gr
M6=M4-M2	Masa de la muestra en el agua	1864.00	gr	1864.00	gr
VR=(M5-M6)/DA	Volumen de la muestra	1121.43	cm ³	1123.54	cm ³
DR=M5/VR	Densidad real	2.661	gr/cm ³	2.658	gr/cm ³
DENSIDAD REAL PROMEDIO		2.660		gr/cm ³	

MEDIDAS DE CONTROL			
PARÁMETROS	ÁRIDO GRUESO		PRECISIÓN 1 OPERADOR INEN 857
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.002	0.003	< 0.027
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.001	0.002	< 0.007
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.05%	0.08%	%
PROMEDIO	2.656	2.660	gr/cm³

 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO MINA T. DE CAPRICORNIO 					
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2	
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
M7	Masa del recipiente	267.50	gr	266.60	gr
M8	Masa del recipiente+árido en SSS	1263.70	gr	1263.70	gr
M9=M8-M7	Masa de la muestra en SSS	996.20	gr	997.10	gr
M10	Masa del recipiente+muestra seca	1251.40	gr	1251.40	gr
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	983.90	gr	984.80	gr
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorcion	1.250	%	1.249	%
P2=(CA1+CA2)/2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO	1.250		%	



 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO MINA SANTA ISABEL 					
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2	
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
M7	Masa del recipiente	208.00	gr	207.00	gr
M8	Masa del recipiente+árido en SSS	1218.20	gr	1218.20	gr
M9=M8-M7	Masa de la muestra en SSS	1010.20	gr	1011.20	gr
M10	Masa del recipiente+muestra seca	1203.60	gr	1203.60	gr
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	995.60	gr	996.60	gr
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorcion	1.466	%	1.465	%
P2=(CA1+CA2)/2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO	1.4657		%	



MEDIDAS DE CONTROL			
PARÁMETROS	ÁRIDO GRUESO		PRECISIÓN 1 OPERADOR INEN 857
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.11%	0.15%	< 0.31 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.08%	0.10%	< 0.11 %
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.06%	0.07%	%
PROMEDIO	1.250	1.466	%

e) Ensayo densidad suelta de los agregados: NTE INEN 858



Condiciones: suelto y compactada



Ensayo No.1 Mina Trópico de Capricornio

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:	Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616	FECHA DE MUESTREO		20/10/2019	
MASA RECIPIENTE (kg)	9.90	FECHA DE ENSAYO		18/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm ³)	20.52	NORMA:		NTE INEN 858:2010	
ENSAYADO POR:	Pablo Flores Medina				
AGREGADO	AGREGADO+RECIPIENTE(kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO (kg/dm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (g/cm ³)	
GRUESO	38.30	28.40	1.384	1.389	
	38.50	28.60	1.394		
FINO	39.30	29.40	1.433	1.430	
	39.20	29.30	1.428		



		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:	Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616	FECHA DE MUESTREO		20/10/2019	
MASA RECIPIENTE (kg)	9.90	FECHA DE ENSAYO		18/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm ³)	20.52	NORMA:		NTE INEN 858:2010	
ENSAYADO POR:	Pablo Flores Medina				
AGREGADO	AGREGADO+RECIPIENTE(kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO (kg/dm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (g/cm ³)	
GRUESO	41.30	31.40	1.530	1.531	
	41.35	31.45	1.533		
FINO	42.65	32.75	1.596	1.598	
	42.75	32.85	1.601		



Ensayo No.2

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:	Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616	FECHA DE MUESTREO		20/10/2019	
MASA RECIPIENTE (kg)	9.90	FECHA DE ENSAYO		18/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm ³)	20.52	NORMA:		NTE INEN 858:2010	
ENSAYADO POR:	Pablo Flores Medina				
AGREGADO	AGREGADO+RECIPIENTE(kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO (kg/dm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (g/cm ³)	
GRUESO	38.20	28.30	1.379	1.382	
	38.30	28.40	1.384		
FINO	39.30	29.40	1.433	1.435	
	39.40	29.50	1.438		



		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:	Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616	FECHA DE MUESTREO		20/10/2019	
MASA RECIPIENTE (kg)	9.90	FECHA DE ENSAYO		18/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³)	20.52	NORMA:		NTE INEN 858:2010	
ENSAYADO POR:		Pablo Flores Medina			
AGREGADO	AGREGADO+RECIPIENTE(kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO (kg/dm³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (g/cm³)	
GRUESO	41.40	31.50	1.535	1.538	
	41.50	31.60	1.540		
FINO	42.60	32.70	1.594	1.591	
	42.50	32.60	1.589		



Ensayo No.1 Mina Santa Isabel

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:	Santa Isabel CÓDIGO 200217	FECHA DE MUESTREO		20/10/2019	
MASA RECIPIENTE (kg)	9.90	FECHA DE ENSAYO		14/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³)	20.52	NORMA:		NTE INEN 858:2010	
ENSAYADO POR:		Pablo Flores Medina			
AGREGADO	AGREGADO+RECIPIENTE(kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO (kg/dm³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (g/cm³)	
GRUESO	37.00	27.10	1.321	1.320	
	37.00	27.10	1.321		
FINO	39.15	29.25	1.425	1.429	
	39.30	29.40	1.433		

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:	Santa Isabel CÓDIGO 200217	FECHA DE MUESTREO		20/10/2019	
MASA RECIPIENTE (kg)	9.90	FECHA DE ENSAYO		14/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³)	20.52	NORMA:		NTE INEN 858:2010	
ENSAYADO POR:		Pablo Flores Medina			
AGREGADO	AGREGADO+RECIPIENTE(kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO (kg/dm³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (g/cm³)	
GRUESO	39.80	29.90	1.457	1.458	
	39.85	29.95	1.460		
FINO	42.19	32.29	1.574	1.571	
	42.10	32.20	1.569		

Ensayo No.2



 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 				
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
ORIGEN:	Santa Isabel CÓDIGO 200217	FECHA DE MUESTREO	20/10/2019	
MASA RECIPIENTE (kg)	9.90	FECHA DE ENSAYO	14/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm ³)	20.52	NORMA:	NTE INEN 858:2010	
ENSAYADO POR:	Pablo Flores Medina			
AGREGADO	AGREGADO+RECIPIENTE(kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO (kg/dm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (g/cm ³)
GRUESO	37.10	27.20	1.326	1.328
	37.20	27.30	1.330	
FINO	39.10	29.20	1.423	1.425
	39.20	29.30	1.428	



 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 				
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
ORIGEN:	Santa Isabel CÓDIGO 200217	FECHA DE MUESTREO	20/10/2019	
MASA RECIPIENTE (kg)	9.90	FECHA DE ENSAYO	14/11/2019	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm ³)	20.52	NORMA:	NTE INEN 858:2010	
ENSAYADO POR:	Pablo Flores Medina			
AGREGADO	AGREGADO+RECIPIENTE(kg)	AGREGADO (kg)	PESO UNITARIO (kg/dm ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (g/cm ³)
GRUESO	39.80	29.90	1.457	1.455
	39.70	29.80	1.452	
FINO	42.30	32.40	1.579	1.577
	42.20	32.30	1.574	

MEDIDAS DE CONTROL ÁRIDO FINO					
PARÁMETRO	DENSIDAD SUELTA		DENSIDAD COMPACTADA		PRESICIÓN 1 OP INEN 858
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.005	0.004	0.007	0.006	< 0.04
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.004	0.003	0.005	0.004	< 0.014
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.26%	0.18%	0.30%	0.25%	< 1%
DENSIDADES APARENTES	1.433	1.427	1.595	1.574	gr/cm ³

MEDIDAS DE CONTROL ÁRIDO GRUESO					
PARÁMETRO	DENSIDAD SUELTA		DENSIDAD COMPACTADA		PRESICIÓN 1 OP INEN 858
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.007	0.008	0.007	0.003	< 0.04
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.005	0.006	0.005	0.002	< 0.014
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.38%	0.43%	0.30%	0.16%	< 1%
DENSIDADES APARENTES PROMEDIO	1.385	1.324	1.534	1.456	gr/cm ³

f) Ensayo de abrasión: NTE INEN 860

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 						
ENSAYO ABRASIÓN (PORCENTAJE DE DESGASTE DE ÁRIDOS)						
ORIGEN:	Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616			FECHA DE MUESTREO	11/12/1019	
PESO ENSAYO No.1	5000 gr			FECHA DE ENSAYO	12/12/2019	
PESO ENSAYO No.2	5000 gr			NORMA:	NTE INEN 860:2011	
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2		
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	
M1	PESO INICIAL DE LA MUESTRA	5000.00	gr	5000.00	gr	
M2	PESO RETENIDO EN EL TAMIZ#12 DESPÚES DE 100 rev	4674.90	gr	4680.20	gr	
M3=M1-M2	PÉRDIDA DESPÚES DE 100 rev	325.10	gr	319.80	gr	
M4	PESO RETENIDO EN EL TAMIZ#12 DESPÚES DE 500 rev	3585.60	gr	3586.20	gr	
M5=M1-M4	PÉRDIDA DESPÚES DE 500 rev	1414.40	gr	1413.80	gr	
F=(M3/M1)*100	PORCENTAJE DE PÉRDIDA EN 100 rev	6.50		6.40	gr	
Cu=C/E	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.23	%	0.23		
Ca	PORCENTAJE DE DESGASTE DEL MATERIAL	28.29	%	28.28	%	
PORCENTAJE PROMEDIO DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD					0.228	%
PORCENTAJE PROMEDIO DE DESGASTE DEL MATERIAL					28.28	%

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 						
ENSAYO ABRASIÓN (PORCENTAJE DE DESGASTE DE ÁRIDOS)						
ORIGEN:	Santa Isabel CÓDIGO 200217			FECHA DE MUESTREO	09/12/1019	
PESO ENSAYO No.1	5000 gr			FECHA DE ENSAYO	10/12/2019	
PESO ENSAYO No.2	5000 gr			NORMA:	NTE INEN 860:2011	
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2		
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	
M1	PESO INICIAL DE LA MUESTRA	5000.00	gr	5000.00	gr	
M2	PESO RETENIDO EN EL TAMIZ#12 DESPÚES DE 100 rev	4629.50	gr	4630.80	gr	
M3=M1-M2	PÉRDIDA DESPÚES DE 100 rev	370.50	gr	369.20	gr	
M4	PESO RETENIDO EN EL TAMIZ#12 DESPÚES DE 500 rev	3512.60	gr	3510.90	gr	
M5=M1-M4	PÉRDIDA DESPÚES DE 500 rev	1487.40	gr	1489.10	gr	
F=(M3/M1)*100	PORCENTAJE DE PÉRDIDA EN 100 rev	7.41		7.38	gr	
Cu=C/E	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.25	%	0.25		
Ca	PORCENTAJE DE DESGASTE DEL MATERIAL	29.75	%	29.78	%	
PORCENTAJE PROMEDIO DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD					0.249	%
PORCENTAJE PROMEDIO DE DESGASTE DEL MATERIAL					29.77	%

MEDIDAS DE CONTROL			
PARÁMETROS	DESGASTE ÁRIDO GRUESO		PRECISIÓN 1 OPERADOR INEN 860
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.012	0.034	< 0.045
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.008	0.024	-
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.03%	0.08%	< 2%
PROMEDIO 500 rev	28.28%	29.77%	≤ 50% INEN 872

MEDIDAS DE CONTROL			
PARÁMETROS	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD ÁRIDO GRUESO		MATERIAL DE DUREZA UNIFORME < 0.20
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.004	0.001	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.003	0.001	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	1.13%	0.33%	
PROMEDIO 500 rev	0.230	0.25	






**g) Material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No.200).
mediante lavado: INEN 697:2010**






UTAH		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				FCM	
ENSAYO MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ No.200							
ORIGEN:		Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616		FECHA DE MUESTREO		12/18/2019	
PESO ENSAYO No.1		610 gr		FECHA DE ENSAYO		12/19/2019	
PESO ENSAYO No.2		612 gr		NORMA:		NTE INEN 697:2010	
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2			
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD		
M1	MASA SECA ORIGINAL DE LA MUESTRA	610.00	gr	612.00	gr		
M2	MASA SECA DE LA MUESTRA LUEGO DEL LAVADO	605.50	gr	606.50	gr		
$\% = ((M1-M2)/M2) * 100$	PORCENTAJE DEL MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ No. 200 MEDIANTE LAVADO	0.74	%	0.90	%		
PORCENTAJE PROMEDIO MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ No.200						0.818	

UTAH		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				FCM	
ENSAYO MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ No.200							
ORIGEN:		Santa Isabel CÓDIGO 200217		FECHA DE MUESTREO		12/18/2019	
PESO ENSAYO No.1		550 gr		FECHA DE ENSAYO		12/19/2019	
PESO ENSAYO No.2		550 gr		NORMA:		NTE INEN	
DATOS	DESCRIPCIÓN	ENSAYO No.1		ENSAYO No.2			
		CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD		
M1	MASA SECA ORIGINAL DE LA MUESTRA	550.00	gr	550.00	gr		
M2	MASA SECA DE LA MUESTRA LUEGO DEL LAVADO	544.50	gr	543.90	gr		
$\% = ((M1-M2)/M2) * 100$	PORCENTAJE DEL MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ No. 200 MEDIANTE LAVADO	1.00	%	1.11	%		
PORCENTAJE PROMEDIO MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ No.200						1.055	

MEDIDAS DE CONTROL			
PARÁMETROS	MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ No.200		PRECISIÓN 1 OPERADOR INEN 697
	TRÓPICO DE CAPRICORNIO	SANTA ISABEL	
RANGO	0.16	0.11	< 0.43
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.11	0.08	< 0.15
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.14	0.07	-
PROMEDIO	0.82	1.05	< 3%

h) Colorimetría: INEN 855:2010

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 			
ENSAYO DE COLORIMETRÍA			
ORIGEN:	Trópico de Capricornio CÓDIGO 200616	FECHA DE MUESTREO	12/18/1019
NORMA:	NTE 855:2010	FECHA DE ENSAYO	12/19/2019
PLACA ORGÁNICA	MUESTRA No.1	MUESTRA No.2	
			
COLOR	Color Trasparente (jugo de limón)	No DE ORDEN COMPARADOR	1
CONTENIDO ORGÁNICO ACEPTABLE	SI	COLOR ESCALA GARDNER	5
PROPIEDAD ASTM C-40	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad		

 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES 			
ENSAYO DE COLORIMETRÍA			
ORIGEN:	Santa Isabel CÓDIGO 200217	FECHA DE MUESTREO	12/18/1019
NORMA:	NTE 855:2010	FECHA DE ENSAYO	12/19/2019
PLACA ORGÁNICA	MUESTRA No.1	MUESTRA No.2	
			
COLOR	Color Trasparente (jugo de limón)	No DE ORDEN COMPARADOR	1
CONTENIDO ORGÁNICO ACEPTABLE	SI	COLOR ESCALA GARDNER	5
PROPIEDAD ASTM C-40	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad		

ANEXO DISEÑO DE MEZCLAS. – Diseño de mezclas de prueba

a) Diseños de mezclas únicos

❖ Mina Trópico De Capricornio

1. Parámetros de diseño

f'c:	210 y 280 kg/cm ²	RELACIÓN A/C	210 kg/cm ²	0.58
ASENTAMIENTO (cm):	6-9 cm		280 kg/cm ²	0.52
CEMENTO:	HIDRÁULICO GU	CP%	POV+2%+8%(POV)	
CANTIDAD:	1 metro cúbico			

2. Datos requeridos para la dosificación

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	DRC	2.974	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DEL ARENA	DRA	2.777	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DEL RIPIO	DRR	2.656	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL ARENA (SUELTA)	DAA	1.433	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO(SUELTA)	DAR	1.385	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL ARENA (COMPACTADA)	DAA	1.595	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO(COMPACTADA)	DAR	1.534	gr/cm ³
PORCENTAJE ÓPTIMO DE ARENA	POA	38.000	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DE RIPIO	POR	62.00	%
DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA	DOM	1.951	gr/cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA	CAA	1.060	%
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO	CAR	1.250	%
CONTEIDO DE HUMEDAD DEL ARENA	CHA	-	%
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL RIPIO	CHR	-	%

3. Cálculos

PROCESOS		DOSIFICACIÓN ÚNICA		UNIDAD
		T.C 21	T.C 28	
DENSIDAD REAL DE LA MEZCLA	DRM	2.70	2.70	gr/cm ³
PORCENTAJE ÓPTIMO DE VACÍOS	POV	27.77	27.77	%
CANTIDAD DE PASTA	CP	319.97	319.97	dm ³
CANTIDAD DE CEMENTO	CC	349.21	373.68	kg
CANTIDAD DE AGUA	CW	202.54	194.31	lt
CANTIDAD DE ÁRIDO FINO	AF	717.59	717.59	kg
CANTIDAD DE ÁRIDO GRUESO	AG	1119.82	1119.82	kg
DENSIDAD DEL HORMIGÓN	DH	2389.16	2405.40	kg/m ³

4. Resultados Dosificación única de prueba

DOSIFICACIÓN PARA TC 21 (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 210 kg/cm ² A LOS 28 DÍAS)						
MATERIAL	CANT kg @m ³ DE HORMIGÓN	DOSF. AL PESO	CANTIDAD @SACO 50 kg	VOL. APARENTE SUELTO	DOSIF. AL VOLUMEN =27dm ³	
W	202.54	0.58	29.00	-	29.00	lt
CC	349.21	1.00	50.00	-	1.00	saco
AF	717.59	2.05	102.74	71.72	2.7	caj
AG	1119.82	3.21	160.34	115.74	4.3	caj
D.H. FRESCO=	2389.16	kg/m ³	-			

DOSIFICACIÓN PARA TC 28 (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 280 kg/cm ² A LOS 28 DÍAS)						
MATERIAL	CANT kg @m ³ DE HORMIGÓN	DOSF. AL PESO	CANTIDAD @SACO 50 kg	VOL. APARENTE	DOSIF. AL VOLUMEN =27dm ³	
W	194.31	0.52	26.00	-	26.00	lt
CC	373.68	1.00	50.00	-	1.00	saco
AF	717.59	1.92	96.02	67.02	2.5	caj
AG	1119.82	3.00	149.84	108.16	4.0	caj
D.H.FRESCO=	2405.40	kg/m ³	-			

❖ Mina Santa Isabel

1. Parámetros de diseño

f'c:	210 y 280 kg/cm ²	RELACIÓN A/C	210 kg/cm ²	0.58
ASENTAMIENTO (cm):	6-9 cm		280 kg/cm ²	0.52
CEMENTO:	HIDRÁULICO GU	CP%	POV+2%+8%(POV)	
CANTIDAD:	1 metro cúbico			

2. Datos requeridos para la dosificación

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	DRC	2.974	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DEL ARENA	DRA	2.729	gr/cm ³
DENSIDAD REAL DEL RIPIO	DRR	2.660	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL ARENA (SUELTA)	DAA	1.427	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO(SUELTA)	DAR	1.324	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL ARENA (COMPACTADA)	DAA	1.574	gr/cm ³
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO(COMPACTADA)	DAR	1.456	gr/cm ³
PORCENTAJE ÓPTIMO DE ARENA	POA	41.00	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DE RIPIO	POR	59.00	%
DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA	DOM	1.886	gr/cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA	CAA	1.403	%
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO	CAR	1.466	%
CONTEIDO DE HUMEDAD DEL ARENA	CHA	-	%
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL RIPIO	CHR	-	%

3. Cálculos

PROCESOS		DOSIFICACIÓN ÚNICA		UNIDAD
		S.I 21	S.I 28	
DENSIDAD REAL DE LA MEZCLA	DRM	2.69	2.69	gr/cm ³
PORCENTAJE ÓPTIMO DE VACÍOS	POV	29.84	29.84	%
CANTIDAD DE PASTA	CP	342.31	342.31	dm ³
CANTIDAD DE CEMENTO	CC	373.60	399.77	kg
CANTIDAD DE AGUA	CW	216.69	207.88	lt
CANTIDAD DE ÁRIDO FINO	AF	735.83	735.83	kg
CANTIDAD DE ÁRIDO GRUESO	AG	1032.30	1032.30	kg
DENSIDAD DEL HORMIGÓN	DH	2358.42	2375.79	kg/m ³

4. Resultados

DOSIFICACIÓN PARA SI 21 (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 210 kg/cm ² A LOS 28 DÍAS)						
MATERIAL	CANT kg @m ³ DE HORMIGÓN	DOSF. AL PESO	CANTIDAD @SACO 50 kg	VOL. APARENTE	DOSIF. AL VOLUMEN =27dm ³	
W	216.69	0.58	29.00	-	29.00	lt
CC	373.60	1.00	50.00	-	1.00	saco
AF	735.83	1.97	98.48	69.00	2.6	caj
AG	1032.30	2.76	138.16	104.35	3.9	caj
DHFRESCO=	2358.42	kg/m ³		-		

DOSIFICACIÓN PARA SI 28 (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 280 kg/cm ² A LOS 28 DÍAS)						
MATERIAL	CANT kg @m ³ DE HORMIGÓN	DOSF. AL PESO	CANTIDAD @SACO 50 kg	VOL. APARENTE SUELTO	DOSIF. AL VOLUMEN =27dm ³	
W	207.88	0.52	26.00	-	26.00	lt
CC	399.77	1.00	50.00	-	1.00	saco
AF	735.83	1.84	92.03	64.48	2.4	caj
AG	1032.30	2.58	129.11	97.52	3.6	caj
DHFRESCO=	2375.79	kg/m ³		-		

b) Estado fresco: Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico); NTE INEN 1579

RESULTADOS DOSIFICACIÓN FINAL ÚNICA													
CÓD	FECHA ELAB	HORA	DENSIDAD.T (kg/m ³)	PESO H. FRESCO (kg)	VOL.MOLD E (m ³)	DENSIDAD (kg/m ³)	D.PROMEDIO (kg/m ³)	ASENT (cm)	CONSISTENCIA	TRABAJ	HOMO	CONT. AIRE (%)	REND REL
S.I_21-37	7/1/2020	15h00	2379.63	3.720	0.001571	2368.226	2368.23	7	PLÁSTICA	BUENA	BUENA	0.48%	1.005
S.I_21-38				3.725	0.001571	2371.409							
S.I_21-39				3.715	0.001571	2365.042							
S.I_28-40	9/1/2020	16h30	2391.66	3.731	0.001571	2375.228	2379.26	7	PLÁSTICA	BUENA	BUENA	0.52%	1.005
S.I_28-41				3.739	0.001571	2380.321							
S.I_28-42				3.742	0.001571	2382.231							
T.C_21-43	13/1/2020	14h00	2424.72	3.792	0.001571	2414.062	2414.49	6	PLÁSTICA	EXCELENTE	EXCELENTE	0.42%	1.004
T.C_21-44				3.785	0.001571	2409.606							
T.C_21-45				3.801	0.001571	2419.792							
T.C_28-46	16/1/2020	15h00	2444.34	3.821	0.001571	2432.524	2431.89	6	PLÁSTICA	EXCELENTE	EXCELENTE	0.51%	1.005
T.C_28-47				3.815	0.001571	2428.704							
T.C_28-48				3.824	0.001571	2434.434							

c) Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico INEN 1573 dosificación final única

MINA SANTA ISABEL													
S.I. 21 Mpa													
CÓD	FECHA ENSAYO	EDAD (DÍAS)	DATOS CILINDROS			VOL (m ³)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD P.(kg/m ³)	CARGA (KN)	f _c (Mpa)	ESFUERZO		%
			ØP (mm)	HP (mm)	PESO(kg)						Mpa	kg/cm ²	
S.I_21-1	14/1/2020	7	102.30	200.00	3.80	0.001602	2371.49	2371.49	127.00	15.50	15.33	156.25	73
S.I_21-2			100.07	199.00	3.81	0.001602	2377.73		124.00	15.00			
S.I_21-3			102.60	200.00	3.79	0.001602	2365.25		127.00	15.50			
S.I_21-4	21/1/2020	14	102.30	200.00	3.90	0.001602	2433.27	2439.72	153.00	18.50	18.37	187.16	87
S.I_21-5			102.30	199.00	3.91	0.001602	2439.51		149.00	18.60			
S.I_21-6			102.60	200.00	3.92	0.001602	2446.38		139.00	18.00			
S.I_21-7	28/1/2020	21	103.00	203.00	3.72	0.001602	2321.56	2365.25	187.00	22.40	22.23	226.56	106
S.I_21-8			103.00	202.00	3.75	0.001602	2340.28		190.00	22.80			
S.I_21-9			103.00	203.00	3.90	0.001602	2433.90		179.00	21.50			
S.I_21-10	4/2/2020	28	101.00	201.00	3.85	0.001602	2402.69	2408.93	189.00	23.60	24.33	247.96	116
S.I_21-11			101.00	201.00	3.90	0.001602	2433.90		187.00	23.30			
S.I_21-12			101.00	202.00	3.83	0.001602	2390.21		209.00	26.10			

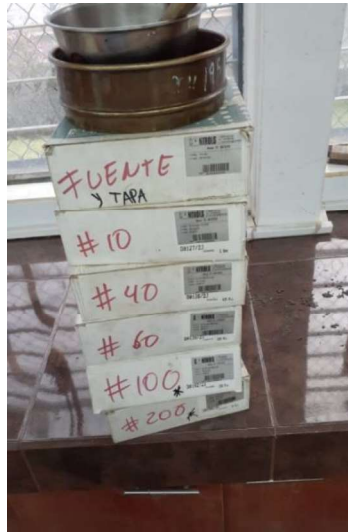
MINA SANTA ISABEL													
S.I. 28 Mpa													
CÓD	FECHA ENSAYO	EDAD (DÍAS)	DATOS CILINDROS			VOL (m ³)	DENSIDAD (kg/m ³)	DENSIDAD P.(kg/m ³)	CARGA (KN)	f _c (Mpa)	ESFUERZO		%
			ØP (mm)	HP (mm)	PESO(kg)						Mpa	kg/cm ²	
S.I_28-13	16/01/2020	7	103.00	201.00	3.90	0.001602	2433.90	2433.90	171.00	20.50	20.50	208.90	73
S.I_28-14			103.00	201.00	3.93	0.001602	2452.62		167.00	20.00			
S.I_28-15			103.00	200.00	3.87	0.001602	2415.17		175.00	21.00			
S.I_28-16	23/1/2020	14	104.00	203.00	3.86	0.001602	2408.93	2417.25	178.00	22.30	22.00	224.18	79
S.I_28-17			104.00	203.00	3.87	0.001602	2415.17		171.00	21.90			
S.I_28-18			104.00	203.00	3.89	0.001602	2427.66		170.00	21.80			
S.I_28-19	30/1/2020	21	123.00	200.00	3.83	0.001602	2390.21	2390.21	211.00	25.30	25.73	262.22	92
S.I_28-20			123.00	203.00	3.82	0.001602	2383.97		222.00	26.60			
S.I_28-21			126.00	200.00	3.84	0.001602	2396.45		211.00	25.30			
S.I_28-22	6/2/2020	28	102.00	202.00	3.89	0.001602	2427.66	2433.90	232.00	28.40	29.37	299.25	105
S.I_28-23			102.00	201.00	3.90	0.001602	2433.90		230.00	28.10			
S.I_28-24			102.00	203.00	3.91	0.001602	2440.14		258.00	31.60			

MINA TRÓPICO DE CAPRICORNIO													
T.C 21 Mpa													
CÓD	FECHA ENSAYO	EDAD (DÍAS)	DATOS CILINDROS			VOL (m³)	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD P. (kg/m³)	CARGA (KN)	f c (Mpa)	ESFUERZO		%
			ØP (mm)	HP (mm)	PESO (kg)						Mpa	kg/cm²	
T.C_21-25	20/01/2020	7	102.00	201.00	3.80	0.001571	2419.16	2419.16	127.00	15.50	15.40	156.93	73
T.C_21-26			102.00	201.00	3.81	0.001571	2425.52		127.00	15.50			
T.C_21-27			102.00	200.00	3.79	0.001571	2412.79		125.00	15.20			
T.C_21-28	27/1/2020	14	101.00	201.00	3.75	0.001571	2387.32	2378.84	167.00	20.00	20.50	208.90	98
T.C_21-29			101.00	201.00	3.72	0.001571	2368.23		175.00	21.00			
T.C_21-30			101.00	200.00	3.74	0.001571	2380.96		171.00	20.50			
T.C_21-31	3/2/2020	21	102.00	202.00	3.77	0.001571	2400.06	2400.06	203.00	24.80	24.40	248.64	116
T.C_21-32			102.00	202.00	3.75	0.001571	2387.32		204.00	25.00			
T.C_21-33			102.00	203.00	3.79	0.001571	2412.79		191.00	23.40			
T.C_21-34	10/2/2020	28	103.00	203.00	3.82	0.001571	2431.89	2429.77	226.00	27.10	27.13	276.49	129
T.C_21-35			103.00	203.00	3.80	0.001571	2419.16		221.00	26.50			
T.C_21-36			103.00	203.00	3.83	0.001571	2438.25		232.00	27.80			

MINA TRÓPICO DE CAPRICORNIO													
T.C 28 Mpa													
CÓD	FECHA ENSAYO	EDAD (DÍAS)	DATOS CILINDROS			VOL (m³)	DENSIDAD (kg/m³)	DENSIDAD P. (kg/m³)	CARGA (KN)	f c (Mpa)	ESFUERZO		%
			ØP (mm)	HP (mm)	PESO (kg)						Mpa	kg/cm²	
T.C_28-37	23/1/2020	7	102.30	200.00	3.81	0.001571	2425.52	2431.89	160.00	19.80	20.00	203.80	71
T.C_28-38			102.70	199.00	3.80	0.001571	2419.16		160.00	19.80			
T.C_28-39			102.60	200.00	3.85	0.001571	2450.99		177.00	20.40			
T.C_28-40	30/1/2020	14	101.03	200.00	3.83	0.001571	2438.25	2442.50	204.00	25.30	25.50	259.85	91
T.C_28-41			101.02	200.00	3.86	0.001571	2457.35		206.00	25.80			
T.C_28-42			102.60	200.00	3.82	0.001571	2431.89		205.00	25.40			
T.C_28-43	6/2/2020	21	102.50	203.00	3.78	0.001571	2406.42	2404.30	240.00	29.10	27.80	283.28	99
T.C_28-44			102.50	203.00	3.76	0.001571	2393.69		226.00	27.40			
T.C_28-45			102.50	203.00	3.79	0.001571	2412.79		222.00	26.90			
T.C_28-46	13/2/2020	28	102.00	203.00	3.80	0.001571	2419.16	2421.28	266.00	32.60	30.97	315.55	111
T.C_28-47			102.00	203.00	3.79	0.001571	2412.79		246.00	30.10			
T.C_28-48			102.00	203.00	3.82	0.001571	2431.89		247.00	30.20			

ANEXO FOTOGRÁFICO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ÁRIDO FINO NTE INEN 696



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ÁRIDO GRUESO NTE INEN 696



DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO NTE 855



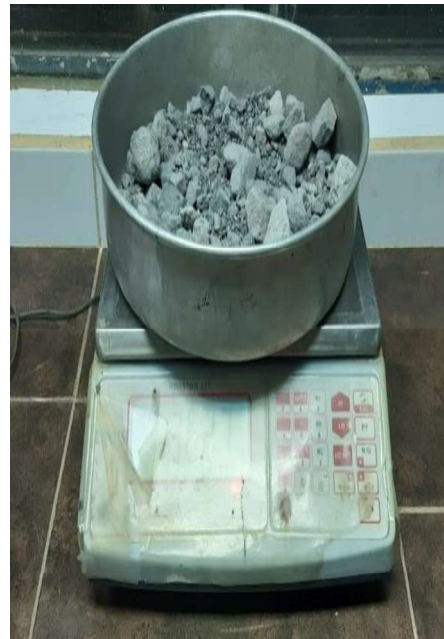
**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO FINO NTE INEN 856**



**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL
ÁRIDO GRUESO NTE INEN 857**



ENSAYO DE ABRASIÓN CON LA MÁQUINA DE LOS ANGELES, NTE INEN 860



**DETERMINACIÓN DE LA DESIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO
NTEN INEN 156**



DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y PORCENTAJE DE VACIOS NTE INEN 858



ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECIMENES DE ENSAYO EN EL LABORATORIO NTEN INEN 3124



**ENSAYO EN ESTADO FRESCO, ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN NTE
INEN 1578**



**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE
ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN, A LA EDAD DE 7,14,21 Y
28 DÍAS**



DETERMINACIÓN DEL MEE DEL HORMIGÓN NORMA ASTM C-469

