



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

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

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN
EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FABRICADO CON
MATERIALES DE LAS MINAS: COMANCHE UNO Y COMANCHE DOS,
UBICADAS EN EL CANTÓN PALORA, PROVINCIA DE MORONA
SANTIAGO.”**

AUTORA: Lizbeth Aracely López Kayuk

TUTOR: Ing. Mg. Galo Wilfrido Núñez Aldás.

AMBATO – ECUADOR

Marzo - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, con el tema **“ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: COMANCHE UNO Y COMANCHE DOS, UBICADAS EN EL CANTÓN PALORA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.”** elaborado por la Srta. **Lizbeth Aracely López Kayuk**, portadora de la cédula de ciudadanía: 1600643975, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Marzo 2022



.....
Ing. Mg. Galo Wilfrido Núñez Aldás

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Lizbeth Aracely López Kayuk**, con CI. 1600643975 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema “**ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: COMANCHE UNO Y COMANCHE DOS, UBICADAS EN EL CANTÓN PALORA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.**”, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2022



Lizbeth Aracely López Kayuk

C.I. 1600643975

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, Marzo 2022



Lizbeth Aracely López Kayuk

C.I. 1600643975

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Lizbeth Aracely López Kayuk de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: “ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: COMANCHE UNO Y COMANCHE DOS, UBICADAS EN EL CANTÓN PALORA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.”.

Ambato, Marzo 2022

Para constancia firman:

Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado

Miembro Calificador

Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas Altamirano

Miembro Calificador

DEDICATORIA

A Dios, aquella fuerza invisible que dirigió mi camino en las buenas y malas, que nunca me abandonó, que puso su mano sobre mi hombro y me permitió llegar a buen término en esta etapa de mi vida, que me susurró, me bendijo y me cuidó siempre.

A mis padres, di cada paso con su aliento, como una inyección de fuerza, viento para contrarrestar el empuje de la ignominia que tocara mi puerta más de una vez. Mi amor infinito, respeto, admiración y compromiso eterno ante ellos. Los amo.

A mis hermanos que, con su inocencia, sonrisas, y cariño sincero me llenaron de alegría, aún en los momentos más difíciles.

A mi gente, de mi parroquia Shell, que necesitados están de profesionales dispuestos a forjar el camino del progreso colectivo, del desarrollo social, haré todo mi esfuerzo para estar a la altura.

Lizbeth Aracely López Kayuk.

Marzo 2022.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por respaldar y financiar mi carrera y vida estudiantil en general, aunque no fue fácil sé el gran esfuerzo que hicieron, es por esto que les quedaré eternamente agradecida.

A mi tutor, Ing. Mg. Galo Núñez, por su paciencia y acertadas directrices que me han permitido llegar a concluir mi trabajo experimental, un gran ser humano y profesional.

A los dueños de las Minas objeto de estudio en la presente tesis, por su apertura y predisposición desinteresada.

A mis maestros, por cada enseñanza no solo académica sino también de vida. Ejemplo de profesionales y de personas buenas, nobles, responsables y justas.

A mis buenos amigos, por todas las aventuras vividas y por todas las mañanas, tardes y noches dedicadas a la ciencia y al saber.

Lizbeth Aracely López Kayuk.

Marzo 2022.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación	2
1.1.3. Fundamentación Teórica	3
1.1.3.1 Módulo de elasticidad del hormigón	3
1.1.3.2. Agregados o áridos	4
1.1.3.3. Propiedades de los agregados	8
1.1.3.4. Sustancias nocivas en los áridos	15
1.1.3.5. Agua para el concreto	17
1.1.3.6. Cemento Portland	22
1.1.3.7. Diseño de mezclas de concreto	25
1.1.4. Hipótesis	28
1.2. Objetivos	29
1.2.1. General	29
1.2.2. Específicos	29
CAPÍTULO II	30
METODOLOGÍA	30
2.1. Nivel o tipo de investigación.	30
2.2. Población y muestra	31

2.2.1. Población.....	31
2.2.2. Muestra	31
2.3. Materiales y Equipos	31
2.3.1. Materiales	32
2.3.2. Equipos	32
2.4. Métodos	33
2.5. Procesamiento de datos y análisis de la información.	35
CAPÍTULO III	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
3.1. Análisis y discusión de resultados.	36
3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento.....	36
3.1.2. Ensayos en los agregados.	36
3.1.2.1. Toma y reducción de muestras	37
3.1.2.2. Determinación del material más fino que pasa el tamiz No. 200	37
3.1.2.3. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino.	37
3.1.2.4. Análisis granulométrico en los agregados.	38
3.1.2.5. Determinación de la densidad real (Gravedad específica)	42
3.1.2.6. Determinación de la capacidad de absorción de los agregados.	43
3.1.2.7. Determinación de la densidad aparente de los agregados.	44
3.1.3. Diseño de mezclas de hormigón con el método de la densidad óptima. ...	47
3.1.3.1. Condiciones de diseño	47
3.1.3.2. Datos Requeridos	47
3.1.3.3. Resultados	48
3.1.4. Mezclas de prueba	51
3.1.4.1. Ensayos realizados para dosificación final	52
3.1.5. Determinación del módulo de elasticidad estático del hormigón.	57
3.1.5.1. Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón.	61
CAPÍTULO IV	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
4.1. Conclusiones específicas.....	65
Bibliografía.....	67
Anexos.....	70
Anexo 1. Requisitos de gradación del árido grueso.	70
Anexo 2. Resultados de ensayos en laboratorio.	71

a) Densidad real del cemento.	71
b) Material más fino que pasa el tamiz con abertura de 75 μm (No. 200), mediante lavado.	72
c) Análisis Granulométrico en el agregado fino.	73
d) Análisis Granulométrico en el agregado grueso.	75
e) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.	77
f) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.	79
g) Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.	81
h) Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino.	83
i) Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos.	85
j) Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos.	86
Anexo fotográfico	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Límites especificados para agregado fino	6
Tabla 2.	Requisitos granulométricos para agregado grueso, ASTM C33	8
Tabla 3.	Principales sustancias nocivas y sus efectos sobre el hormigón.....	15
Tabla 4.	Límites químicos para el agua utilizada en las mezclas.....	21
Tabla 5.	Tipos de Cemento.....	25
Tabla 6.	Probetas por elaborarse en la etapa final	31
Tabla 7.	Resultados densidad real del cemento.....	36
Tabla 8.	Ensayos de caracterización de los agregados.....	36
Tabla 9.	Resultados ensayo material más fino que el tamiz No. 200	37
Tabla 10.	Resultado ensayo de impurezas orgánicas.....	37
Tabla 11.	Análisis granulométrico del agregado fino para Comanche Uno.	38
Tabla 12.	Análisis granulométrico del agregado fino para Comanche Dos.....	39
Tabla 13.	Análisis granulométrico del agregado grueso para Comanche Uno. ...	40
Tabla 14.	Análisis granulométrico del agregado grueso para Comanche Dos.	41
Tabla 15.	Densidad real (SSS) del agregado fino.	42
Tabla 16.	Densidad real (SSS) del agregado grueso.....	42
Tabla 17.	Capacidad de absorción del agregado fino	43
Tabla 18.	Capacidad de absorción del agregado grueso.	43
Tabla 19.	Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino.	44
Tabla 20.	Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso.....	44
Tabla 21.	Densidad compactada de la mezcla para Comanche Uno.	45
Tabla 22.	Densidad compactada de la mezcla para Comanche Dos.....	46
Tabla 23.	Condiciones de diseño de la mezcla	47
Tabla 24.	Propiedades de los agregados de la mina Comanche Uno.....	47
Tabla 25.	Propiedades de los agregados de la mina Comanche Dos.	48
Tabla 26.	Cantidades a mezclar para Comanche Uno para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	48
Tabla 27.	Corrección por humedad para $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	49
Tabla 28.	Cantidades a mezclar para Comanche Uno para $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	49
Tabla 29.	Corrección por humedad para $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	49
Tabla 30.	Cantidades a mezclar para Comanche Dos para $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	50
Tabla 31.	Corrección por humedad para $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	50
Tabla 32.	Cantidades a mezclar para Comanche Dos para $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	50

Tabla 33.	Corrección por humedad para $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$.....	51
Tabla 34.	Resumen ensayos en el hormigón en estado fresco.	52
Tabla 35.	Resumen de resistencias obtenidas de 21 Mpa para Comanche Uno... 	53
Tabla 36.	Resumen de resistencias obtenidas de 24 Mpa para Comanche Uno... 	54
Tabla 37.	Resumen de resistencias obtenidas de 21 Mpa para Comanche Dos. ..	55
Tabla 38.	Resumen de resistencias obtenidas de 24 Mpa para Comanche Dos. ..	56
Tabla 39.	MEE para Comanche Uno para 21 Mpa.	57
Tabla 40.	MEE para Comanche Uno para 24 Mpa	58
Tabla 41.	MEE para Comanche Uno para 21 Mpa.	58
Tabla 42.	MEE para Comanche Uno para 21 Mpa	59
Tabla 43.	Comparación del MEE experimental y teórico.	61
Tabla 44.	Factores de zona para Comanche Uno.	63
Tabla 45.	Factores de zona para Comanche Dos.	63
Tabla 46.	Valores propuestos para el cálculo del MEE	63
Tabla 47.	Resumen comparativo entre el MEE experimental y teórico del hormigón.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Relación esfuerzo-deformación en agregado, pasta, mortero y hormigón.....	4
Figura 2.	Relación esfuerzo-deformación en agregado, pasta, mortero y hormigón.....	10
Figura 3.	Estado de humedad de los agregados	12
Figura 4.	Medida del asentamiento del hormigón	27
Figura 5.	Curva granulométrica del agregado fino para Comanche Uno.....	38
Figura 6.	Curva granulométrica del agregado fino para Comanche Dos.	39
Figura 7.	Curva granulométrica del agregado grueso para Comanche Uno.	40
Figura 8.	Curva granulométrica del agregado grueso para Comanche Dos.....	41
Figura 9.	Porcentaje de resistencia alcanzada para $f'c = 21$ Mpa.....	51
Figura 10.	Porcentaje de resistencia alcanzada para $f'c = 24$ Mpa.....	52
Figura 11.	Curva esfuerzo deformación para 21 Mpa.	53
Figura 12.	Curva esfuerzo deformación para 24 Mpa.	54
Figura 13.	Curva esfuerzo deformación para 21 Mpa.	55
Figura 14.	Curva esfuerzo deformación para 24 Mpa.	56

RESUMEN

En este trabajo experimental se comenzó con una inspección visual y toma de muestras de agregados fino y grueso de las minas “Comanche Uno” y “Comanche Dos”, continuando con el proceso se realizó una reducción a tamaño de ensayo. Una vez que se obtuvieron las muestras se ejecutaron los ensayos de caracterización de los agregados en laboratorio con el objetivo de conocer sus propiedades físico-mecánicas y con los datos obtenidos diseñar las mezclas de hormigón, utilizando el método de la densidad óptima para resistencia a la compresión a los 28 días de edad de 21 y 24 Mpa.

Para continuar con el proceso se elaboraron probetas cilíndricas, simultáneamente a este proceso se realizaron ensayos al hormigón en estado fresco, así como: determinación del asentamiento, densidad, rendimiento y contenido de aire. También se realizaron ensayos en el hormigón en estado endurecido tales como la determinación de la resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días de edad y el ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático que se lo realiza a los 28 días de edad.

Se determinó el módulo de elasticidad estático de forma experimental de acuerdo con ASTM C469 y de forma teórica de acuerdo con ACI 318, para concluir con el trabajo experimental se llevó a cabo el análisis y comparación de resultados.

Palabras clave: Módulo de elasticidad, Hormigón, Agregados finos, Agregados gruesos, Compresión, Trabajo experimental.

ABSTRACT

This experimental work began with a visual inspection and sampling of fine and coarse aggregates from the "Comanche Uno" and "Comanche Dos" mines, continuing with the process, a reduction to test size was carried out. Once the samples were obtained, the characterization tests of the aggregates began in the laboratory with the aim of knowing their physical-mechanical properties and with the data obtained designing the concrete mixtures, using the method of optimum density for compressive strength. at 28 days of age at 21 and 24 MPa.

To continue with the process, cylindrical specimens were made, simultaneously with this process tests were carried out on fresh concrete, as well as: determination of settlement, density, performance and air content. Tests were also carried out on the concrete in the hardened state, such as the determination of the compressive strength at 7, 14, 21 and 28 days of age and the test for the determination of the static elasticity modulus, which is carried out at 28 days old.

The static modulus of elasticity was determined experimentally in accordance with ASTM C469 and theoretically in accordance with ACI 318. To conclude with the experimental work, the analysis and comparison of results was carried out.

Keywords: Modulus of elasticity, concrete, aggregates, compressive strength, experimental.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

El concreto comenzó a utilizarse desde épocas primitivas. En la búsqueda de un espacio para vivir, el hombre desarrolló técnicas precarias de construcción. Desde el 7000 a.C., distintas civilizaciones como los persas, los babilonios y los sumerios- edificaron ciudades humanas al borde de los ríos [1]. Este “concreto” era en realidad puzolana mezclada con agua y también con cal viva, constituyendo un hormigón pobre comparado con el actual, pero, cuyas edificaciones estuvieron en pie durante siglos. Muchas otras edificaciones romanas fueron también puestas en pie con la ayuda de hormigones prístinos, el ejemplo que resalta más a la vista es el legendario Coliseo Romano que hasta la actualidad de nuestros días constituye una maravilla de la ingeniería, pero, quizás los acueductos de Roma, levantados también con hormigón y piedras, fueron los más trascendentales y los que permitieron gran parte del éxito de la civilización romana durante siglos [2].

Hoy en día existen teorías sobre el hormigón como un material en su ocaso, como un material que en las próximas décadas será sustituido por nuevos materiales mucho más versátiles, pero lo cierto es que pocos materiales pueden brindar las cualidades que éste brinda, el costo beneficio que brinda el hormigón han hecho que se mantenga en el tiempo, desde civilizaciones antiguas hasta el día de hoy y lo más seguro es que en el futuro se siga utilizando, y es precisamente por esto que su estudio está aún ampliamente considerado parte esencial de la ingeniería civil [3].

1.1.2. Justificación

El concreto al igual que otros materiales, se diseña para utilizarse en elementos estructurales que soportan esfuerzos de carga a la compresión, es quizás el material compuesto más usado para la construcción, puede emplearse de una u otra forma para casi todas las estructuras [4].

El concreto aprovecha para su elaboración la existencia de agregados pétreos extraídos de minas locales y requiere cantidades relativamente pequeñas de cemento, de aquí la necesidad de estudiar las propiedades de los materiales de las distintas canteras para de esta forma establecer las cantidades de agregado fino y grueso a ser utilizadas en una mezcla de hormigón y con ello garantizar la resistencia de diseño establecida [5].

Es necesario para el calculista poder conocer con certeza el valor del módulo de elasticidad del hormigón que se ha de elaborar con los materiales de la zona, comúnmente para determinar el módulo de elasticidad estático se emplean dos métodos, uno teórico que utiliza una ecuación, descrito por A.C.I. $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$ (Kg/cm²) [6], y un método experimental descrito por ASTM -C 469 que requiere la ejecución de ensayos de laboratorio y elaboración de probetas para poder obtener un valor del módulo de elasticidad, este último se utilizará en el presente trabajo experimental [7].

En la NEC-SE-HM-2015 se emplean valores y ecuaciones propuestos en A.C.I, pero esta normativa se basa en datos tomados de investigaciones realizadas en un medio en donde las características de los materiales son distintas a las nuestras [8].

Las minas seleccionadas, proporcionan en gran cantidad el agregado pétreo utilizado en la construcción en el cantón Palora, por lo que definir el módulo de elasticidad de los hormigones elaborados con estos agregados resulta un gran aporte a la sociedad ya que los valores a obtenerse representarían una fuente confiable y segura para el ingeniero calculista que requiere de esta

información en su trabajo con el fin de garantizar seguridad estructural, economía y durabilidad en sus diseños.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Módulo de elasticidad del hormigón

El módulo de elasticidad de un material también conocido como módulo de Young, es el resultado de la relación entre el esfuerzo normal a la que está sujeta el material y la deformación unitaria del mismo. Es un parámetro particular de todo material, esta propiedad pone en evidencia que cuanto más alto sea la rigidez del material, su módulo elástico es mayor. [3]

Para determinar el módulo de elasticidad del hormigón, la normativa ACI 318 para hormigones cuya densidad tiene valores entre los 1440 kg/m³ y 2560 kg/m³, plantea la expresión que se muestra a continuación:

$$E_c = w^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'_c} \frac{kg}{cm^2} \quad (1)$$

Por otro lado, para concretos de pesos normales, con valores de aproximadamente 2300 kg/m³, la misma normativa presenta la siguiente expresión:

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

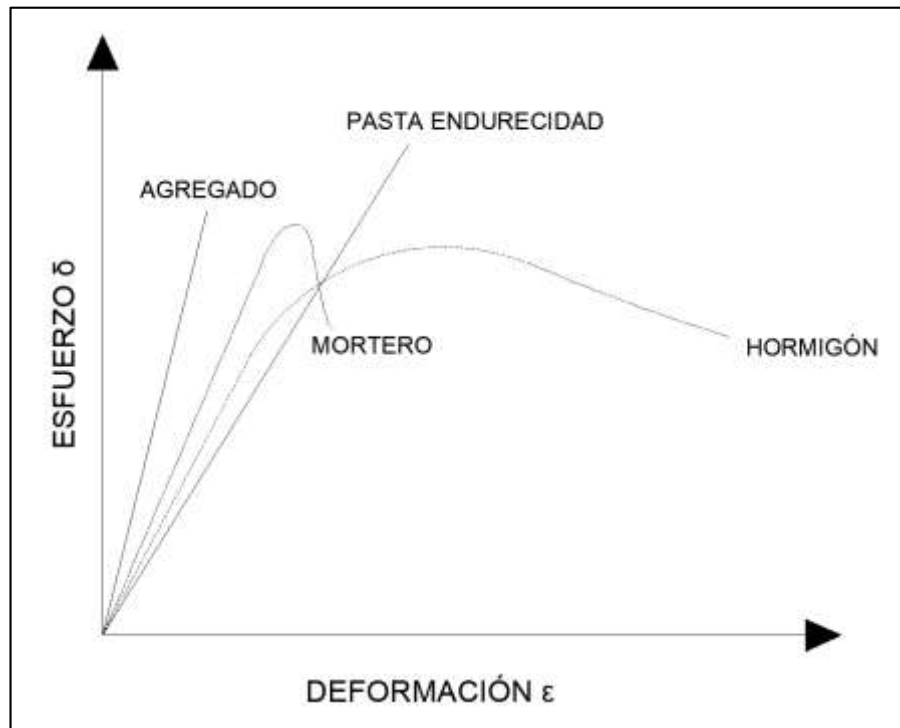
Siendo w el peso unitario del hormigón y f'_c la resistencia a la compresión del hormigón a la edad de 28 días. [4]

El coeficiente 15100 de la expresión número 2 varía para nuestro país, esto se debe a que los agregados tienen diferentes características, la mano de obra y los métodos constructivos son distintos del lugar donde proviene la normativa ACI. Es por esta razón que la expresión proporcionada por el código no es 100% efectiva utilizarla en nuestro país. [5]

El hormigón posee una microestructura variada que presenta distintos comportamientos en el transcurso de aplicación de carga, dado a las distintas fases de los agregados, la matriz de pasta y la interface de agregado de pasta. Una alteración en la condición de alguno de sus componentes elementales provocaría una variación del

módulo elástico y en el comportamiento del hormigón. En la figura 1 se puede apreciar que los comportamientos de deformación por tensión del concreto y sus componentes son muy distintos. [6]

Figura 1. Relación esfuerzo-deformación en agregado, pasta, mortero y hormigón



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

1.1.3.2. Agregados o áridos

Los agregados o también conocidos como áridos que conforman el hormigón tienen su origen en las rocas, las cuales se producen mediante un proceso de fragmentación natural o también por acción del hombre. Los áridos deben constituirse de partículas compactas y fuertes, con forma, granulometría y la textura apropiada. Por lo general, los agregados vienen con limos, humus, arcilla entre otras materias orgánicas. Ciertos agregados pueden reducir la resistencia y calidad del hormigón debido a que presentan altos porcentajes de material ligero y partículas alargadas o planas. [1] [7]

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694:2010, proporciona la definición de material granular a los áridos. Considera como áridos a la arena, la grava, piedras

trituradas y escoria de altos hornos de hierro que en conjunto con un aglomerante se fabrica hormigón o mortero. [8]

Es importante no menospreciar la calidad y el uso correcto de los agregados. Los agregados grueso y fino en el concreto ocupan entre el 60% y el 75% del volumen hormigón. Intervienen altamente en las propiedades del hormigón en estado fresco y también en el hormigón endurecido, por ello deben obedecer a ciertas normas para que su utilización sea óptima. [9]

Arena, Árido o Agregado fino

El agregado fino comúnmente está constituido por arena natural o piedra triturada cuyas partículas pasan por el tamiz N°. 4 (4.75 mm) y se retienen en la malla N°. 200 (75 µm). Este agregado es considerado el más indispensable ya que el hormigón baja su calidad si ésta tiene una mala condición, por ello no debe poseer más del 5% de arcilla y limos y del 1.5% de materia orgánica. [3] [7]

Módulo de finura

Éste es un parámetro el cual representa el grosor que tiene el material y se lo determina mediante la adición de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices N°. (100, 50, 30, 16, 8, 4 y 3/8”) y luego se lo divide para 100. [10]

La expresión para determinar el módulo de finura es:

$$MF = \frac{\sum(\% \text{ Retenidos})}{100} \quad (3)$$

La norma NTE INEN 872:2011 establece que una arena idónea debe tener un módulo de finura cuyos valores están entre 2.3 y 3.1, siendo arena fina cuando los valores son menores a 2.3, una arena con finura media cuando tiene un valor de 2.5 y una arena gruesa cuando el módulo de finura tiene valores que sobrepasan a 3.1. [11]

Granulometría

Un agregado fino admisible para la elaboración de hormigones, debe tener una granulometría la cual tiene que ajustarse a lo especificado en la norma NTE INEN 872

y la norma ASTM C33. La tabla 1 muestra los límites especificados por las normas que debe cumplir el agregado.

Tabla 1. Límites especificados para agregado fino

NTE INEN 872	ASTM C33	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	#4	95 – 100
2.36 mm	#8	80 – 100
1.18 mm	#16	50 – 85
0.60 mm	#30	25 – 60
0.30 mm	#50	10 – 30
0.15 mm	#100	2 – 10

Fuente: NTE INEN 872

Garzón [12] en lo que corresponde a la selección visual y calidad de una arena que será utilizada para fabricar hormigón se debe tener presente los siguientes aspectos:

- La mejor arena que se puede conseguir es la de río, a excepción las que son de cuarzo puro.
- Se deben lavar las arenas que provienen de minas ya que por lo general poseen arcilla.
- Son excelentes las arenas que se originan de la trituración de granitos, rocas análogas y basaltos.
- La calidad de arenas originarias de caliza es muy variada.
- La arena no debe poseer sustancia alguna que sea perjudicial para el concreto.
- La densidad real y resistencia a la compresión de una arena adecuada es mayor a 2.6gr/cm³ y mayor a 1000kg/cm² respectivamente.
- Una arena es inapropiada cuando posee una densidad real menor a 2.3gr/cm³ y una resistencia a la compresión menor a 500kg/cm².
- Al dosificar hormigones al volumen es muy importante tener en cuenta la humedad que tiene la arena.

Ripio, Grava, Agregado o Árido grueso

Los agregados gruesos resultan ser una grava o el conjunto de grava o piedras trituradas las cuales tienen partículas que se retienen en el tamiz N°. 4 (4.75mm), comúnmente tienen tamaños entre los 9.5mm y 38mm. Éstos no deben ser muy porosos ni tener formas alargadas para que puedan ser utilizados en la fabricación de hormigones. [7] [9]

Garzón [12] menciona los siguiente que se debe tener presente con el agregado grueso:

- La resistencia del agregado está directamente vinculado a su densidad, dureza y módulo elástico.
- Para que la grava sea adecuada para su uso, debe tener una densidad real mayor a $2.6\text{gr}/\text{cm}^3$ y su resistencia a la compresión debe ser mayor a $1000\text{kg}/\text{cm}^2$.
- Una grava inapropiada posee una densidad real menor a $2.3\text{gr}/\text{cm}^3$ con una resistencia a la compresión cuyo valor es menor a $500\text{kg}/\text{cm}^3$.

Tamaño nominal máximo

Es el tamaño del tamiz estandarizado anterior al primer tamiz donde existió el 15% o más porcentaje de retenido acumulado. Un cierto tamaño nominal máximo en la granulometría del agregado grueso se podría alterar de manera regular dentro de un rango sin cambiar considerablemente los requerimientos de agua y cemento de la mezcla, si la proporción de árido fino con respecto a la cantidad total de agregados produce un hormigón de buena trabajabilidad. [9]

El tamaño nominal máximo interviene en la economía del hormigón. Por lo general se necesita más agua y cemento en hormigones cuyos agregados gruesos son de tamaño nominal máximo menor a diferencia de los que poseen agregados gruesos con tamaño nominal máximo mayor, y esto se da por el incremento del área superficial total del agregado. [9]

ACI 318 [4] establece recomendaciones con respecto al tamaño nominal máximo del agregado grueso, y es que no debe superar al menor de:

- Tres cuartos del espaciamiento mínimo libre entre el acero de refuerzo y entre el acero con el encofrado.
- Un quinto de la menor separación existente entre los lados del encofrado

- Un tercio de la altura que tiene la losa

Por otro lado, la norma ecuatoriana NEC-SE-HM [13] menciona con respecto al tamaño nominal máximo, que éste no debe ser mayor al recubrimiento de la armadura de refuerzo.

Los requisitos de gradación del árido grueso están especificados por la norma ASTM C33, la norma tolera límites extensos en la granulometría y variedad de los tamaños granulométricos, en la tabla 2 se especifica la clasificación del agregado grueso, se tiene presente solamente los tamaños máximos más comunes. [14]

Tabla 2. Requisitos granulométricos para agregado grueso, ASTM C33

N° del tamaño	Tamaño nominal mm	Porcentaje que pasa (%)							
		37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
4	37.5 a 19	90-100	20-55	0-15	---	0-5	---	---	---
467	37.5 a 4.75	95-100	---	35-70	---	10-30	0-5	---	---
5	25.0 a 12.5	100	90-100	20-55	0-10	0-5	---	---	---
56	25.0 a 9.5	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	---	---
57	25.0 a 4.75	100	95-100	---	25-60	---	0-10	0-5	---
6	19.0 a 9.5	---	100	90-100	20-55	0-15	0-5	---	---
67	19.0 a 4.75	---	100	90-100	---	25-55	0-10	0-5	---
7	12.5 a 4.75	---	---	100	90-100	40-70	0-15	0-5	---
8	9.5 a 2.36	---	---	---	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: Aplicación del ensayo de curado acelerado en cilindros de hormigón sometidos a compresión simple, A. Andrade y J. Sono

1.1.3.3. Propiedades de los agregados

Las propiedades que poseen los agregados gruesos y los agregados finos están sujetas gran parte de ellos de la roca madre de donde provienen. Los agregados tienen que acatar ciertas especificaciones que dependen del tipo de uso que se le vaya a dar al hormigón elaborado. Pueden ser utilizados en la construcción de pavimentos, estructuras hidroeléctricas entre otras, por ello los agregados sirven para fabricar hormigones de distinto tipo.

Existen hormigones los cuales se encuentran bajo la acción de ambientes que son agresivos para éstos, por esta razón se debe tener muy en cuenta la mineralogía y

solidez propia de los agregados, con la finalidad de poder controlar y así evitar daño alguno o cualquier tipo de rompimiento.

También ciertos hormigones que forman parte de estructuras hidráulicas, están expuestos a condiciones de erosión y de abrasión, siendo los agregados quienes suministran resistencia, mas no el cemento. Por esta razón las estructuras de tipo hidráulicas y de drenajes requieren de concreto con agregado de buena dureza, granulometría y forma. [15]

Granulometría

También conocida como gradación, se trata del tamaño de las partículas de los agregados y el porcentaje o repartición de éstas en una masa. Para determinar la granulometría se realiza un análisis el cual es hacer pasar una cierta cantidad del árido por tamices que deben cumplir con ciertas especificaciones ordenados de mayor a menor. Los resultados obtenidos se deben registrar en una tabla donde debe constar el peso de la muestra, pesos retenidos en cada tamiz, porcentaje retenido, porcentaje retenido acumulado y que pasa. [1]

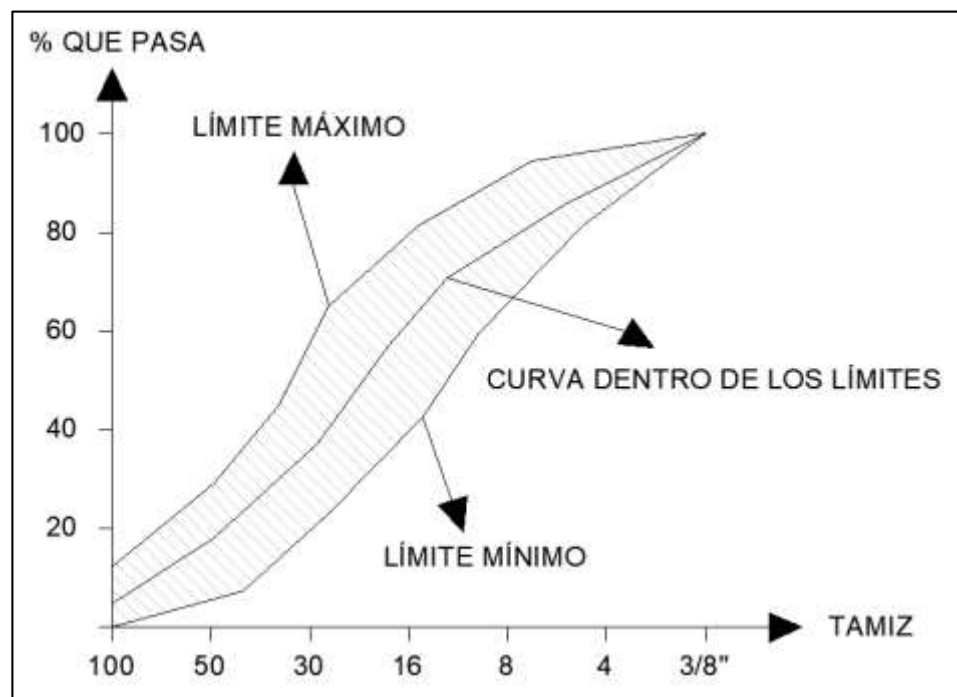
Existe distintos tipos de granulometría, bien gradada cuando el agregado tiene una distribución homogénea de mayor a menor; mal gradada cuando no existe continuidad entre el porcentaje de cada uno de los tamices; uniforme cuando el agregado posee partículas del mismo tamaño; y abierta o discontinua cuando en algunos tamices no se retiene nada de partículas. [10]

Curva granulométrica

Luego de que se haya tamizado la muestra del agregado en estudio, los resultados conseguidos se deben manifestar mediante un gráfico que en sus ordenadas se dispongan en escala decimal los porcentajes acumulados que pasan por cada tamiz y en escala logarítmica las abscisas del gráfico se coloca la abertura que tienen éstos. Estas curvas son de gran utilidad para la composición de agregados diferentes, además permiten distinguir si poseen excedencia de fracciones gruesas o finas o si presenta discontinuidades en la distribución por cada tamaño. [10]

Cuando la curva es tendida, representa un material que está bien gradado, que tiene todos los tamaños, gradación densa con un número mínimo de espacios entre las partículas, sin exceso ni defecto de tamaño. Por otro lado, existen casos en que la curva es casi vertical, lo cual representa un material mal gradado, ahí es donde sobresale ciertos tamaños del agregado aumentando los espacios vacíos existentes entre ellos. [1]

Figura 2. Relación esfuerzo-deformación en agregado, pasta, mortero y hormigón



Fuente: Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera Ramírez, para $f'_c=21\text{MPa}$, J. Hurtado.

Forma y textura superficial de las partículas

Es muy complicado especificar la forma de cuerpos tridimensionales, por ello se describen ciertas características geométricas. Para caracterizar la forma de los agregados dependen del factor de esfericidad y el de redondez. La redondez de las partículas son las dimensiones del filo o de sus esquinas, está sujeta a la resistencia a la compresión y de abrasión. La esfericidad está en función de la relación del área superficial de la partícula con respecto a su volumen. [16]

La forma que tiene el agregado influye directa e indirectamente en el comportamiento del hormigón, la forma de ésta depende de la roca de donde proviene. Para elaborar un hormigón, debe haber una cantidad que debe ser mínima de partículas que son alargadas y planas, ya que éstas pueden llegar a perjudicar el buen actuar del concreto, por ello no debe existir más del 50% de la masa total. Se considera que una partícula es de tipo larga cuando tiene una relación longitud ancho mayor a 1.5 y de tipo plana cuando tiene una relación espesor ancho menor a 0.5. [15]

La textura tiene una gran importancia en lo que respecta a la adherencia del agregado con la pasta de cemento. Los agregados que tienen una textura rugosa son aquellos que tienen su origen gracias a la trituración y los que tienen una textura lisa son aquellos que provienen de cantos, quebradas o del mar. El mejor agregado para fabricar hormigones con elevada resistencia es el agregado que tiene una textura áspera. [15]

Consistencia y durabilidad

Esta es la capacidad que tienen los agregados de poder tolerar la meteorización. Los áridos que se van a emplear para la construcción de obras civiles tienen que ser consistentes y también duraderos, en especial si la obra va a estar expuesta a climas extremos. Por ello la normativa NTE INEN 863:2011 gracias al ensayo de consistencia imita la meteorización, desafiando a los áridos con sulfatos de sodio y magnesio que simulan la congelación. [17]

Tenacidad, dureza y resistencia a la abrasión

La dureza de los agregados es la propiedad que tiene que ver con la composición mineralógica y el origen de éstos. Los hormigones que forman parte de pisos y de vías son propensos a deteriorarse debido a la abrasión. Es importante que un agregado grueso sea resistente a la abrasión, de lo contrario se puede requerir más agregado fino aumentando así la relación agua cemento. [10] [14]

La tenacidad es la resistencia a la falla por impacto. Tiene que ver con la roca de origen de donde proviene el agregado y también el trato que se le dé en las canteras. Cuando

son débiles a los impactos en el transcurso de su transporte, se producirá un cambio en la calidad de los hormigones. [15]

La norma NTE INEN 860:2011 [18] y la NTE INEN 861:2011 [19] proporcionan las especificaciones y pasos a seguir para determinar la resistencia a la abrasión y tenacidad de los áridos. Se debe tamizar una muestra del agregado que luego es colocado en la máquina de los Ángeles, después se extrae el material para pasarlo por el tamiz #12. El porcentaje que se ha perdido en peso es la degradación del material.

Absorción

Es la capacidad de un agregado de incrementar su masa cuando es sumergido en agua. El aumento de masa es debido a que el agua se introduce por los poros que tiene el agregado, pero sin tener en cuenta el agua que se encuentra adherida en la superficie exterior de las partículas. Este valor se lo expresa en porcentaje de la masa seca, indica la porosidad que posee el material. [20]

En los agregados se pueden presentar 4 estados de saturación (figura 3), dependiendo del estado en el que se encuentre el material se realiza la dosificación. Para calcular el valor que representa a la capacidad de absorción de las partículas se tiene la fórmula a continuación [15]:

$$\% \text{ absorción} = \frac{P_{SSS} - P_s}{P_s} * 100 \quad (4)$$

Donde:

- P_{SSS}: masa del material en estado saturada y superficialmente seca.
- P_s: masa del material en estado seco

Figura 3. Estado de humedad de los agregados



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

- **Seco al horno (SH):** se da este estado al momento que toda la humedad es suprimida del agregado al ser calentado en un horno a 110°C. aquí se asume que todos los poros de la superficie de las partículas están totalmente vacíos.
- **Seco al aire (SA):** la humedad que se encuentra en la superficie de las partículas del agregado es retirada, sin embargo, los poros de éstas están llenos con algo de agua. Este estado de saturación se presenta a temperatura ambiente.
- **Saturado con superficie seca (SSS):** en este estado de saturación los poros de las partículas del agregado están llenos de agua, sin embargo, no existe agua en la superficie de ésta. En este estado se utiliza el agregado para realizar la dosificación del hormigón.
- **Saturado con superficie húmeda:** en este estado los poros del agregado están completamente llenos de agua y, además, su superficie presenta una lámina de agua. Cuando el agregado se encuentra en este estado de saturación, transmite agua a la mezcla del concreto.

Es indispensable conocer la cantidad de agua que existe en los agregados, ya que la cantidad de agua para la mezcla del concreto depende de este parámetro, sin embargo, esta humedad existente en el agregado no reacciona con el cemento ni aporta con la trabajabilidad del concreto. [21]

Gravedad específica

Esta característica de los agregados es utilizada para determinar el volumen que ocupa en mezclas de hormigones. Se lo obtiene dividiendo la masa del agregado para la masa de un volumen equivalente de agua.

En los agregados hay tres tipos de gravedad específica:

- Gravedad específica en estado seco, que es la relación de la densidad de los agregados en estado seco a la densidad del agua a una cierta temperatura. Se la utiliza para cálculos cuando se asume un agregado totalmente seco.

- Gravedad específica en estado saturado superficie seca, que es la relación de la densidad del agregado en estado saturado superficie seca a la densidad del agua a una cierta temperatura. Se lo utiliza para determinar la humedad superficial existente del agregado fino por desplazamiento de agua.
- Gravedad específica aparente la cual es la relación entre la densidad aparente del agregado y la densidad del agua a una cierta temperatura. Pertenecen al material sólido de partículas constituyentes, sin tener en cuenta los poros entre las partículas que permite el paso del agua. [22]

La norma NTE INEN 856:2010 proporciona especificaciones para determinar la gravedad específica de los agregados. Se sumerge por 24 ± 4 horas, para llenar los poros del material anteriormente secado, luego se aparta el agua y se seca la superficie del agregado. Finalmente se pesa este material y se determina el volumen por el método gravimétrico. [23]

Masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos

La masa unitaria de los agregados es la relación que existe entre la masa del material que llena un recipiente y el volumen de éste. Es la colocación del árido en un recipiente por efecto de la gravedad, se deja caer desde una altura especificada. La masa unitaria que se utiliza por lo general para la elaboración de concretos oscila entre los 1200kg/m^3 a los 1750kg/m^3 , la cantidad de vacíos varía del 35% al 50% en árido fino y 40% al 50% en árido grueso. [14] [15]

Los pasos a seguir proporcionados por la norma NTE INEN 858:2010, menciona que, para determinar la masa unitaria, en un recipiente se llena en tres capas de agregado seco, cada capa debe ser compactada. Se debe nivelar la parte superior del recipiente y se divide la masa para el volumen. [24]

La masa unitaria suelta tiene relación directa con la densidad del agregado ya que demuestra el volumen natural de vacíos existente en los agregados que van ajustando al recipiente sin ser compactados. Para determinar el porcentaje de vacíos de los agregados se determina por medio de la expresión proporcionada por NTE INEN 858:2010 [24] :

$$\% \text{ vacíos} = \frac{[(S * M) - Da] * 100}{(S * Da)} \quad (5)$$

Donde:

- M: masa unitaria del agregado (kg/m³)
- S: gravedad específica en estado seco
- Da: densidad del agua

1.1.3.4. Sustancias nocivas en los áridos

Son sustancias perjudiciales las cuales afectan de manera desfavorable a la condición del concreto, provocando que reduzca su resistencia. En la tabla 3 se muestra las sustancias principales que afectan a los agregados conjuntamente con los efectos que se dan en el concreto.

Impurezas orgánicas

La materia orgánica aparece debido a la descomposición de vegetales y sustancias carbonosas que están constituidos por ácido tánico y sus derivados también nombrado como humus. Cuando existe altas cantidades de humus en la arena para mezclado del concreto, se dificulta el fraguado del cemento. [1]

Tabla 3. Principales sustancias nocivas y sus efectos sobre el hormigón.

Sustancia	Efecto adverso
Impurezas orgánicas	Retarda el asentamiento y el endurecimiento, puede reducir el aumento de resistencia y puede causar deterioros.
Materiales de menos de 0.075 mm (tamiz N°200)	Debilita las uniones, puede aumentar las necesidades de agua.
Carbón, lignita u otros materiales de baja densidad	Reduce la durabilidad, puede provocar la aparición de ampollas o manchas.
Masas de arcilla y partículas desmenuzables	Ampollas, reduce la durabilidad y la resistencia al desgaste.
Partículas blandas	Reduce la durabilidad y la resistencia al desgaste, ampollas.

Fuente: Materiales para ingeniería civil, M. Mamlouk y J Zaniewski [25]

Muchas de las veces se encuentran material orgánico en los agregados, estas impurezas dañan el humedecimiento del cemento y con ello la resistencia del hormigón. Comúnmente despejando la materia orgánica se evita tener impurezas en el agregado, retirando la capa vegetal y lavando el árido. Cantidades altas de materia orgánica en el agregado se pueden encontrar gracias a la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio. La prueba se realiza colocando al interior de unos recipientes de vidrio una cantidad de material añadiendo el hidróxido de sodio al 3% del volumen. Luego se agita el recipiente y después de 24 horas se observa la coloración de la solución. Se debe comparar con un color especificado. Esta prueba está detallada en la norma ASTM C 40. [26]

Luego de realizar el ensayo si el color es más oscuro comparado con el color estándar, el agregado podría tener impurezas de materia orgánica que pueden ser perjudiciales.

Si un árido fino no cumplió con el ensayo, puede ser utilizado siempre y cuando se demuestre que la decoloración se dio por la existencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito entre otros semejantes. También puede utilizarse un agregado que no cumple con la prueba, si al momento de realizar el ensayo tiene propiedades idóneas para elaborar morteros con una resistencia a la compresión mayor o igual al 95% a los 7 días de edad. [7]

Reacción álcali-agregado

Ciertos agregados reaccionan con el cemento perjudicando así la estructura del concreto. En lugares donde existe humedad y son cálidos se da la reacción entre los componentes activos de silicio de los agregados y los álcalis del cemento (óxido de sodio, Na_2O , y óxido de potasio, K_2O). La reacción álcali – silicio produce una ampliación excesiva, manifestando fisuras y ampollas en el concreto. Otros componentes que poseen los agregados, así como los carbonatos, también reaccionan con el álcali del cemento, sin embargo, es menos dañina.

Para estimar el potencial de las reacciones álcali – agregado se debe estudiar los antecedentes del comportamiento del agregado en otras construcciones. Por otro lado, si no se dispone de antecedentes de los agregados, existen ensayos que ayudan a comprobar la reactividad álcali – agregado. La norma ASTM C 227 ayuda a determinar

la reactividad expansiva álcali – agregado. Con esta prueba se determina la expansión de una barra de mortero que está en condiciones de temperatura y de humedad especificadas por la norma.

Estas reacciones álcali – agregado puede reducirse restringiendo el volumen de álcali del cemento. También se lo puede disminuir conservando la estructura de concreto lo más seco que se pueda. Otras formas de limitar la reacción álcali – agregado es utilizando cenizas, escorias molidas o puzolanas naturales, el uso de aditivos a base de litio y por último por medio del endulzamiento por medio de piedra caliza. [25]

Contenido de arcilla y material con diámetro menor a 0.074 mm

Todo lo que es arcillas, limos o polvos producto de trituraciones cuyo tamaño de diámetro son inferiores a los 0.074 mm son dañinos si existen porcentajes altos en los áridos. Por tener tamaños demasiados pequeños, menores a las partículas del cemento lo cual no permite una excelente adherencia entre la pasta y los áridos.

Ciertas clases de arcilla cuando tienen contacto con el agua, provocan que exista fenómenos de dilatación o de contracción en las partículas, originando presiones internas dando lugar a grietas. La existencia de estas partículas incrementa el requerimiento de agua y por ende la cantidad de cemento. [1]

1.1.3.5. Agua para el concreto

El agua es el elemento esencial para fabricar concreto y también para el curado de éste. Es el que más bajo costo tiene a comparación de los otros materiales que conforman parte del concreto. Es indispensable como el cemento, ya que la diferencia en su porción dentro de la mezcla, permite cambiar distintas propiedades del hormigón, por ejemplo, su resistencia, los asentamientos, la permeabilidad, su trabajabilidad y la plasticidad. [10]

El agua es quien predomina en las reacciones del cemento en el transcurso de su estado plástico, en el desarrollo de fraguado hasta que el hormigón se endurece. El cemento que forma parte del concreto, al tener contacto con el agua, sufre reacciones químicas que le permiten fraguar y poder endurecerse formando así un sólido conjuntamente con los áridos. [27]

Características químicas y físicas del agua de mezclado

El agua a utilizarse en la mezcla de concreto tiene que ser potable, no debe presentar sabor u olor fuertes. Sin embargo, también se pueden utilizar aguas consideradas no potables para la mezcla de concretos. Se debe tener en cuenta que, al no utilizar un agua procesada, las impurezas de otras aguas pueden alterar el tiempo del fraguado del concreto, la resistencia de éste y la durabilidad con el paso del tiempo. De igual manera puede producir corrosión en el acero de refuerzo de manera rápida. El agua cumple un papel importante en las reacciones de proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón. [16] [25]

- **Carbonatos y bicarbonatos alcalinos**

Estos carbonatos producen distintas secuelas durante el fraguado del concreto. El carbonato de sodio es capaz de acelerar el fraguado, los bicarbonatos pueden apresurar o retrasar el fraguado. Si estos carbonatos se presentan en grandes cantidades podrían reducir la resistencia del concreto.

- **Cloruros y sulfatos**

El cloruro en grandes cantidades dentro del agua para la fabricación del concreto, podría hacer que en el acero de refuerzo exista corrosión, ya que el ión cloro agrede la capa de óxido que se conforma en el acero. Por otro lado, agua que tiene sulfato de sodio puede ser utilizada sin ningún problema siempre y cuando esta cantidad no sobrepase las 10000 partes por millón, sin embargo, valores superiores provoca reacciones expansivas deteriorando así la superficie del concreto.

- **Otras sales comunes**

Los carbonatos de calcio y magnesio, no muy a menudo están presentes en el agua en cantidades capaces de alterar la resistencia del hormigón. Pero, si existen cantidades que sobrepasen las 400 partes por millón del ión bicarbonato, resulta ser perjudicial. Ciertas veces se utiliza el cloruro de calcio en hormigones preesforzados hasta en un 2% del peso del cemento para apresurar el fraguado y resistencia del hormigón.

- **Sales de hierro**

Ciertas aguas ácidas suelen tener gran cantidad de sales de hierro, cantidades hasta las 40000 partes por millón por lo general no alteran la resistencia del hormigón.

- **Sales inorgánicas**

La resistencia del concreto y su fraguado se puede ver afectada por la presencia de sales de manganeso, de estaño, de cobre, de plomo y de zinc en el agua de mezclado. Los yodatos, arsenatos, boratos y fosfatos son sales activas que retrasan el fraguado. Estas alteraciones se dan cuando existen cantidades superiores al 10% del peso del cemento. [27]

Aguas ácidas

Frecuentemente el agua que se utiliza para la fabricación del concreto tiene ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y otros que son orgánicos en concentraciones elevadas, con valores de hasta 10000 partes por millón sin alterar la resistencia del hormigón.

Aguas con pH cuyos valores son menores a 3.0, representa problemas de manejo y se debe evitar el utilizar esta agua para mezclado de concretos.

Aguas alcalinas

Aguas que poseen hidróxido de sodio valores superiores a 0.5% del peso del cemento (6000 a 10000 partes por millón) reducen la resistencia del hormigón. De la misma manera cantidades superiores al 1.2% del peso del cemento (18000 a 24000 partes por millón) de hidróxido de potasio reducirían la resistencia.

Partículas en suspensión

Partículas de arcilla y de limos presentes en el agua con valores superiores a las 2000 partes por millón, no alteran la resistencia del hormigón, sin embargo, podrían alterar negativamente otras de sus propiedades.

Agua con aceite

Accidentalmente varios tipos de aceite se mezclan con el agua que se utiliza para la elaboración de concreto, el aceite mineral no altera de manera significativa la

resistencia del hormigón a diferencia de los aceites de tipo vegetal o animal, pero, cantidades superiores al 2% del peso del cemento, bajan la resistencia de éste en un 20% o más.

Aguas negras

Las aguas negras por lo general tienen alrededor de 400 partes por millón de materia orgánica, si es tratada debidamente, esta cantidad baja a 20 partes por millón, incluso menos. Esta agua si ha sido tratada de manera adecuada, puede ser utilizada para la fabricación de hormigón sin causar efectos en su resistencia.

Agua con azúcar

El agua que contiene azúcar, dependiendo del tipo de cemento, puede reducir su resistencia a los 7 días de su fabricación, sin embargo, a los 28 días de edad ésta puede reestablecerse. La presencia de azúcar en porciones de 0.03% a los 0.15% del peso del cemento, provoca un retardo en el fraguado de la pasta que conforma el hormigón.

Si el agua del mezclado contiene azúcar en una proporción del 0.20% del peso del cemento, apresura el tiempo de fraguado, si excede el 0.25% del peso de cemento, acelera significativamente el fraguado y reduce la resistencia del hormigón a los 28 días.

Agua de mar

Este tipo de agua que posee salinidad de hasta 35000 partes por millón, puede ser utilizado para hormigones que no tengan acero de refuerzo. El hormigón que se fabrica con el agua de mar da origen a una resistencia levemente alta a temprano tiempo, pero con el pasar del tiempo reduce esta resistencia.

Por otro lado, esta agua provoca la corrosión del acero en el hormigón armado, específicamente en lugares tropicales. Para hormigones preesforzados este tipo de agua, provoca que la corrosión de los cables sea más grave debido a sus pequeñas secciones transversales. [27]

Agua de curado

Compensa la cantidad de agua que ha perdido la mezcla en el proceso de fraguado y endurecimiento que crean huecos en el concreto que reducen su resistencia. El

concreto debe curarse con gran cantidad de agua para que se mantenga hidratada y eleve su resistencia. El agua que es buena para mezclado de hormigón, también es aceptable para realizar el curado de éste. Ahora, si esta agua contiene materia orgánica o ferrosa podría originar manchas. [10] [27]

Agua de mezclado o amasado

Es el agua que se utiliza para la fabricación del concreto y la que se origina debido a la humedad de la superficie de los áridos. Entre sus obligaciones están:

- Hidratar al cemento.
- Lubricar la mezcla mejorando su trabajabilidad.
- Consolidar espacio suficiente en la pasta, para el progreso de los productos de humedecimiento. [10]

Existen límites máximos de la cantidad de químicos que puede tener el agua utilizada en la mezcla del concreto. La tabla 4 muestra los límites máximos permitidos. Además, distintos ensayos ayudan a estudiar las impurezas que tiene el agua cuyo origen se desconoce. El agua puede influir de manera importante en la calidad del hormigón, por ello debe cumplir con los parámetros establecidos. [25]

Tabla 4. Límites químicos para el agua utilizada en las mezclas.

Componente químico	Concentración máxima (ppm)	Método de prueba
Cloruro, como Cl		ASTM D512
Hormigón pretensado u hormigón para cubiertas de puentes	500	
Otros tipos de hormigón reforzado en entornos húmedos o que contengan incrustaciones de aluminio o metales diferentes, o con elementos metálicos galvanizados	1000	
Sulfatos, como SO ₄	3000	ASTM D516
Álcalis, como (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O	600	
Sólidos totales	50000	AASHTO T26

Fuente: Materiales para ingeniería civil, M. Mamlouk y J Zaniewski [25]

1.1.3.6. Cemento Portland

El cemento natural fue fabricado en el siglo XIX en Rosandale, Nueva York, mientras que, en el año de 1824, Joseph Aspdin, patentó el cemento portland, el cual fue nombrado de esa manera debido a que producía un concreto de color similar a la caliza natural explotada en la Isla de Portland, en Inglaterra. [14]

Está definido como el material que posee las propiedades tanto de adhesión como de cohesión que son necesarias para lograr la unión de agregados finos y gruesos. También se lo puede definir como una pega rápida con la capacidad de juntar partículas de agregado entre si consiguiendo formar el concreto de cemento Portland.

Este cemento es una cal hidráulica perfeccionada, que resulta de la combinación física y química de materias de carácter ácido, que se encuentran compuestas de sílice y alúmina. Dichos materiales son triturados, dosificados, molidos y mezclados hasta lograr su homogenización. Posteriormente se lo almacena hasta que esté listo para ser enviado al horno principal, en el cual son fundidos a temperaturas de entre 1400°C y 1650°C, transformando estos materiales en clinker de cemento, el mismo que se almacena después de ser enfriado.

Como proceso final se muele el clinker añadiendo una cantidad pequeña de yeso con el fin de obtener un polvo fino, se puede también triturar este producto con materiales como puzolana, aluminio, entre otros, para lograr la obtención de diferentes tipos de cemento Portland. Finalmente, se lo puede almacenar y transportar a granel o en sacos.

Los materiales más comunes para elaborar este cemento son la cal, el sílice, el óxido de aluminio y el óxido de hierro, sin embargo, existen compuestos como el óxido de magnesio, óxido de titanio, óxido de manganeso, el óxido de sodio y potasio, que representan un porcentaje menor en el peso del cemento, cabe recalcar que el término “menor” hace referencia a la cantidad. [10] [14] [25]

Finura del cemento

Esta es una propiedad muy importante que debe ser controlada de manera cuidadosa, ya que mientras más finas sean las partículas del cemento, el área superficial será mayor produciendo así una rápida hidratación. Por ello, el utilizar un material que es

más fino, da como consecuencia un desarrollo acelerado tanto de la resistencia como también del calor inicial de hidratación elevada. Un dato muy importante es que los costes de producción se incrementan cuando se incrementa la finura más de lo necesario para cualquier tipo de cemento, lo cual puede ser pernicioso para la calidad del hormigón.

Las partículas de cemento tienen un tamaño máximo que es de 0,09mm, y casi el 85% y 95% son menores de 0,045mm y su diámetro medio es de 0,01mm. La finura del cemento es medida de una forma indirecta, pues se mide el área superficial de las partículas de cemento en cm^2/g , usando el aparato de medición de la permeabilidad al aire de Blaine, o también se puede utilizar el turbidímetro de Wagner, que determina el área superficial a través de la medición de la velocidad de sedimentación del cemento suspendido en queroseno. Ambas pruebas son medidas indirectas que utilizan principios de medida distintos, por lo cual, las prueba que se realizan con una misma muestra expulsan resultados diferentes. Una forma adicional de medir la finura es mediante el porcentaje de partículas que logran pasar por el cedazo de 0,045mm. [25]

Gravedad específica del cemento

Permite calcular las proporciones de las mezclas, la gravedad específica del cemento Portland es de 3,15 sin tomar en cuenta que existen huecos entre las partículas, la cual puede ser determinada con la norma ASTM C188. La densidad del cemento a granel varía de manera considerable tomando en cuenta los huecos existentes entre las partículas, depende de la forma de manejar y almacenar el cemento. Un ejemplo claro, es al momento de transportar el cemento a granel, la vibración provoca que el cemento se consolide y su densidad aumente. Es por ese motivo que las magnitudes relativas al cemento son medidas dependiendo el peso en lugar del volumen. [25]

Hidratación del cemento

La hidratación se define como una reacción química que se da entre las partículas del cemento y del agua, existen magnitudes que permiten caracterizar dicha reacción como son el cambio en la naturaleza molecular de los materiales, nivel de energía y velocidad

de reacción. Como se sabe el cemento Portland se conforma de varios compuestos por lo cual se producen varias reacciones de manera simultánea. El proceso de hidratación se da a través de dos mecanismos: el mecanismo de solución y el topoquímico.

Dentro del proceso de solución se deben seguir los siguientes pasos, ya que éste domina las etapas iniciales de la hidratación.

- Separación de los compuestos anhídridos en sus componentes.
- Composición de hidratos en una solución.
- Precipitación de los hidratos que empieza por la solución que se encuentra sobresaturada.

La hidratación topoquímica, se la define como una reacción química que por lo general se encuentra en estado sólido y que se origina en la superficie de las partículas que conforman el cemento.

Los aluminatos tienen la capacidad de poder hidratarse más rápidamente que los silicatos, pues la reacción del aluminio tricálcico con el agua se da de forma inmediata y se liberan cantidades grandes de calor, y el yeso se lo utiliza para que la velocidad de hidratación del aluminato sea más lenta.

La relación que existe entre los aluminatos y sulfatos determina la velocidad de solidificación, la pasta que se solidifica a una velocidad normal requiere de bajas concentraciones tanto de iones aluminato como de los iones de sulfato. Esta pasta de cemento será trabajable durante un lapso de 45 minutos, y a partir de ese momento se volverá dura. Posteriormente comienza a solidificarse entre las dos y cuatro horas después de haber añadido el agua en el cemento.

Si existe un exceso de iones de sulfato o aluminato el proceso puede durar entre una a dos horas, lo que normalmente se lo haría en 10 minutos, mientras que si la existencia de los iones es baja se podría producir una solidificación rápida que se da entre 10 a 45 minutos o también puede darse una solidificación instantánea que se da en menos de 10 minutos.

Finalmente, si la disponibilidad de iones de aluminato es baja y los iones de sulfato es alta, entonces el yeso se puede cristalizar nuevamente en los poros, produciendo así

una solidificación instantánea, la misma que provoca que se libere calor dando como resultado la disminución de la resistencia máxima. [25]

Tipos de cemento portland

Se clasifica según el uso que se le dé, existen distintos tipos que van del tipo I al tipo V. En la tabla 5 se describen cada uno de ellos.

Tabla 5. Tipos de Cemento.

CEMENTO	CARACTERÍSTICAS
TIPO I	Es de uso general y sin propiedades especiales. La resistencia de diseño se asume a los 28 días de edad.
TIPO II	Cemento de moderado calor de hidratación, se lo utiliza en obras hidráulicas por su mayor resistencia a suelos y aguas sulfatadas. La resistencia de diseño se asume a los 42 días de edad.
TIPO III	Cemento con mayor finura que los demás. Presenta elevadas resistencias iniciales, con un rápido fraguado. Produce alto calor de hidratación y se recomienda su uso en climas fríos.
TIPO IV	Cemento de bajo calor de hidratación; tiene buena resistencia a los sulfatos. Su resistencia a edades tempranas es baja, pero de igual o mayor resistencia a edades avanzadas. Es ideal para hormigón masivo.
TIPO V	Se lo utiliza contra la acción severa de agua marinas y sulfatadas. Bajas resistencias iniciales, pero de igual o mayor resistencia a edades avanzadas. Cemento ideal para obras portuarias, alcantarillas, canales, etc.

Fuente: Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera Ramírez, para $f'c = 21\text{MPa}$ [10]

1.1.3.7. Diseño de mezclas de concreto

El diseño de las mezclas es un proceso donde se elige los materiales que van a intervenir y se establece la cantidad relativa de cada uno de ellos. Las proporciones se relacionan directamente con las propiedades que posee cada material.

Las proporciones de los componentes que conforman el hormigón, afectan sus propiedades en estado plástico y en estado sólido. En las propiedades del estado

plástico está la facilidad de trabajar con el concreto y la calidad de acabado. Las propiedades del concreto ya endurecido son su resistencia, durabilidad, su módulo elástico y su porosidad. La resistencia del concreto es la que manda en el diseño. Tres características son las que tienen en cuenta para la mezcla de concretos: la comodidad de trabajar con concreto en estado fresco, el concreto al endurecerse tenga apariencia uniforme y por último la economía. [25]

Previo a establecer las cantidades de los materiales que conforman el hormigón, se determinan las propiedades que debe poseer, teniendo en cuenta el uso, condiciones ambientales a la que va a estar expuesto, forma y tamaño de los elementos y también las propiedades físicas que va a tener la estructura. Luego de ello, se procede a determinar las proporciones teniendo presente datos obtenidos en campo o en laboratorio. Primero se elige la relación agua – cemento, ya que la pasta es el principal factor de la que dependen las propiedades del concreto endurecido. [9]

Parámetros de diseño de mezclas

- Resistencia a la compresión

A partir de este parámetro se determina la calidad del hormigón. En el Sistema Internacional se mide en megapascuales (MPa), sin embargo, por lo general se utiliza la medida de kilogramos por centímetro al cuadrado (Kg/cm²).

El ensayo especificado por la norma ASTM C-39 permite determinar la resistencia del hormigón, sirve para controlar su calidad. Los ensayos de compresión se los realiza utilizando cilindros a los 7, 14, 21 y 28 días de edad del hormigón.

- Relación agua-cemento

De este parámetro depende la resistencia del concreto, es el resultado de la división del peso del agua de mezclado para la cantidad de cemento de la mezcla.

La resistencia del concreto es directamente proporcional a la cantidad de cemento e inversamente proporcional a la cantidad de agua. Es indispensable vigilar la cantidad de agua en el concreto.

Esta relación debe ser baja como más se pueda, sin embargo, debe tener un equilibrio con la trabajabilidad y compactación del concreto.

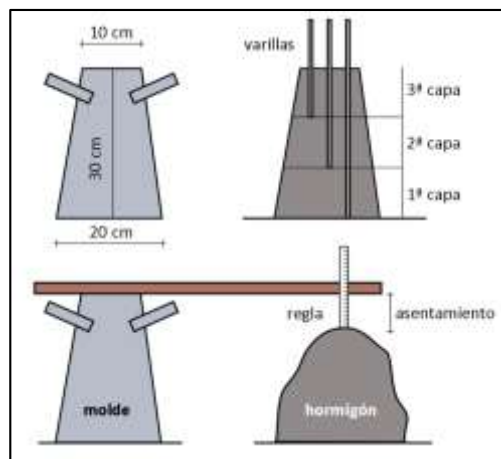
- **Docilidad**

Se relaciona directamente con la consistencia del concreto, homogeneidad y la facilidad que posee para eliminar vacíos de la masa. Depende de otros factores como:

- a) Cantidad de agua de mezcla.
- b) Granulometría de los agregados.
- c) Agregados redondos son más trabajables que los que provienen de trituración.
- d) La cantidad de cemento aumenta la trabajabilidad.
- e) El uso de algún plastificante ayuda con la trabajabilidad.

El ensayo de asentamiento permite determinar la docilidad del concreto, consistencia y su trabajabilidad. Mientras más asentamiento exista, más fluida es la mezcla.

Figura 4. Medida del asentamiento del hormigón



Fuente: Materiales de Construcción, J. Polanco

- **Curado**

Este proceso es indispensable, pues ayuda a recuperar el agua que pierde el hormigón durante su fraguado evitando así la presencia de fisuras en el concreto y la reducción de su resistencia. [10]

Método de la densidad óptima

Es un método alternativo al método de dosificación sugerido por el ACI. Este método permite realizar diseños de mezclas con agregados de granulometría defectuosa.

No es aconsejable utilizar el método del ACI, ya que en nuestro país existe una gran diversidad de áridos, las minas que no acatan las normas que establece el método del ACI. Este método se basa en utilizar menor cantidad posible de pasta para crear un hormigón de excelente calidad. Se determina una combinación adecuada de áridos gracias al ensayo de Densidad Óptima, para así lograr reducir los espacios vacíos en el concreto. [28]

1.1.4. Hipótesis

El rango de variación en los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad estático del hormigón será del 20% al utilizar el método experimental propuesto por ASTM C469 y el método teórico propuesto por ACI 318, para los agregados de las minas Comanche Uno y Comanche Dos, ubicadas en el Cantón Palora provincia de Morona Santiago.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Determinar el módulo de elasticidad estático del hormigón estructural elaborado con agregados de las minas “Comanche uno”, “Comanche dos” y cemento portland para el cantón Palora provincia de Morona Santiago.

1.2.2. Específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los áridos de las minas: “Comanche uno”, “Comanche dos” requeridas para la dosificación del hormigón.
- Dosificar las mezclas de hormigón para resistencias a la compresión a los 28 días de: 21 y 24 MPa, aplicando el método de la densidad óptima.
- Proponer una constante para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón para el cantón Palora, que reemplace los valores dados en la normativa ACI-318.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Nivel o tipo de investigación.

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

Nivel exploratorio o preliminar: Mediante el estudio de los agregados de las minas “Comanche Uno” y “Comanche Dos” del cantón Palora provincia de Morona Santiago, que aportan gran cantidad de material, se busca determinar una constante experimental aplicable para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón, empleando la normativa ASTM C469, y en base a ello comparar su variación con respecto a las fórmulas empíricas propuestas por la normativa ACI 318.

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

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

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

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

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

2.2.2. Muestra

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

Tabla 6. Probetas por elaborarse en la etapa final

Mina	f'c (Kg/cm ²)	Número de probetas a ensayar				Probetas para el MEE	Total
		7 días	14 días	21 días	28 días		
Comanche Uno	210	3	3	3	3	9	21
	240	3	3	3	3	9	21
Comanche Dos	210	3	3	3	3	9	21
	240	3	3	3	3	9	21
Total		12	12	12	12	36	84

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

2.3. Materiales y Equipos

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

2.3.1. Materiales

Ripio y arena de las minas Comanche uno y Comanche 2.

Sacos de 50 kg de cemento hidráulico tipo GU

Agua (potable)

Gasolina

Hidróxido de sodio al 3%

2.3.2. Equipos

- Tamices cuadrados metálicos (2", 1½", 1", 3/4", 3/8", 1/2", #4)
- Tamices redondos (#4, #8, #12, #16, #30, #100 y #200)
- Tamizadora
- Horno
- Balanza de 30 kg, precisión de 1g
- Balanza de 6 kg, precisión de 1g
- Balanza analógica de 100 kg de capacidad
- Pesas
- Moldes cilíndricos 10x20
- Comparador de colores
- Termómetro de mercurio
- Molde metálico de 22lt
- Picnómetro
- Pipeta
- Teléfono con cámara
- Computador
- Martillo de goma 300 gramos
- Cono truncado metálico
- Compactado de acero de cara circular plana
- Recipiente cilíndrico metálico
- Probetas de 1 litro

- Varilla de compactación punta redonda 16mm
- Cono de Abrams
- Máquina de compresión
- Pala de mano pequeña
- Palustre
- Cepillo de acero
- Embudo
- Canastilla metálica
- Cámara de curado
- Bandejas metálicas
- Flexómetro 3m

2.4. Métodos

Plan de recolección de datos

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

Muestreo

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

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

7. Secado al aire libre de los áridos.
8. Detección de las impurezas en el agregado fino, de acuerdo con NTE INEN 855.
9. Análisis granulométrico, en concordancia con la norma NTE INEN 696.
10. Determinación de los materiales más pequeños, que atraviesan el tamiz #200, acorde a la norma NTE INEN 697.
11. Determinación de la absorción y densidad relativa del agregado fino, según NTE INEN 856.
12. Determinación de la absorción y densidad relativa del agregado grueso, según NTE INEN 857.
13. Determinación de la masa unitaria para el estado suelto y compactado, acorde a NTE INEN 858.
14. Determinación de la densidad del cemento NTE INEN 156.
15. Diseño y dosificación de mezcla mediante el método de la densidad máxima, para resistencias a la compresión a los 28 días de edad de 210 y 240 kg/cm².

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

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

2.5. Procesamiento de datos y análisis de la información.

Muestreo

Para un manejo óptimo de la información se brinda la nomenclatura CU para la mina Comanche Uno y CD para la mina Comanche 2, simbología que se usará durante todos los ensayos desde la etapa inicial.

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

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

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

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados.

3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento.

Tabla 7. Resultados densidad real del cemento

Parámetros de Control		
Parámetro	Valor	Precisión 1 Op INEN
Rango	0.008	<0.03
Desviación estándar	0.006	<0.012
Coefficiente de variación(%)	0.002	<1%
Resultado(gr/cm ³)	2.978	

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

3.1.2. Ensayos en los agregados.

La tabla 8 muestra los ensayos realizados a los agregados.

Tabla 8. Ensayos de caracterización de los agregados.

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 [33]

3.1.2.1. Toma y reducción de muestras

La toma de muestras para ambas minas se la desarrolló acatando lo dispuesto en la norma NTE INEN 695.

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

Tabla 9. Resultados ensayo material más fino que el tamiz No. 200

Parámetros de control			
Parámetro	Comanche Uno	Comanche Dos	Precisión 1 Op INEN 697
Rango	0.33	0.13	<0.43
Desviación estándar	0.21	0.10	<0.15
Coefficiente de variación(%)	7.97	4.98	--
Resultado(%)	2.69	2.04	<3%

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

3.1.2.3. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino.

Tabla 10. Resultado ensayo de impurezas orgánicas

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

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

3.1.2.4. Análisis granulométrico en los agregados.

Análisis granulométrico en el agregado fino

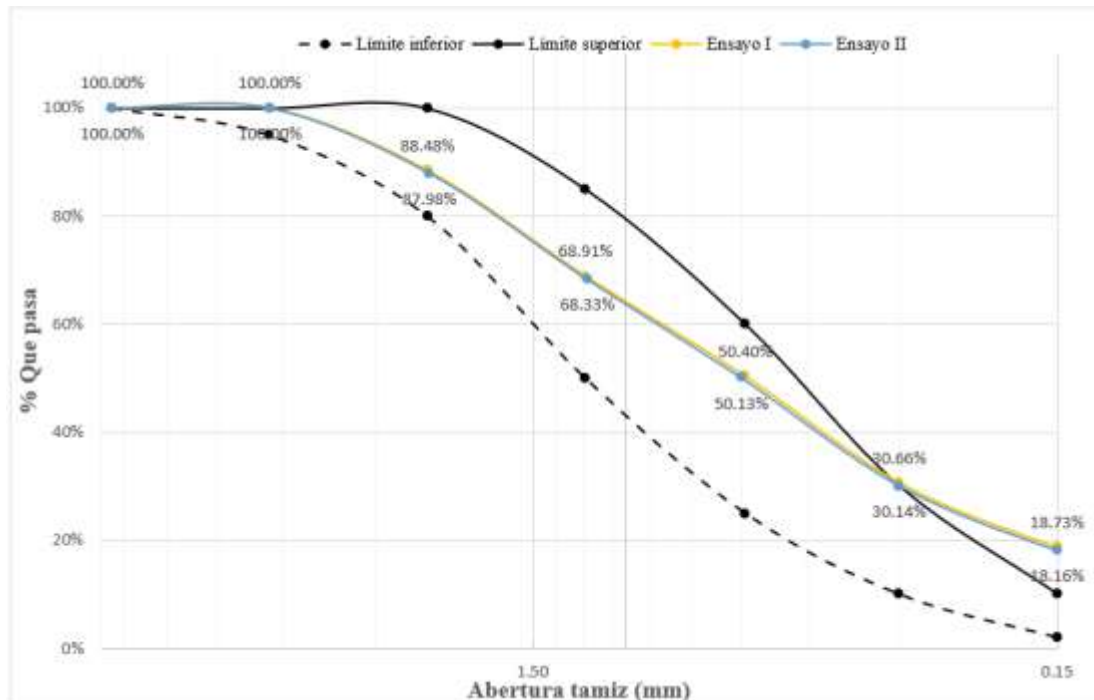
Comanche Uno

Tabla 11. Análisis granulométrico del agregado fino para Comanche Uno.

TAMIZ	Abertura(mm) NTE INEN 154	% Que pasa		Límites NTE INEN 872	
		Ensayo I	Ensayo II	L. inferior	L. superior
3/8 "	9.50	100	100	100%	100%
No. 4	4.75	100.00	100.00	95%	100%
No. 8	2.36	88.48	87.98	80%	100%
No. 16	1.18	68.91	68.33	50%	85%
No. 30	0.60	50.40	50.13	25%	60%
No. 50	0.30	30.66	30.14	10%	30%
No. 100	0.15	18.73	18.16	2%	10%
Módulo de finura				2.43	2.45
Módulo de finura promedio				2.4	

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino para Comanche Uno.



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

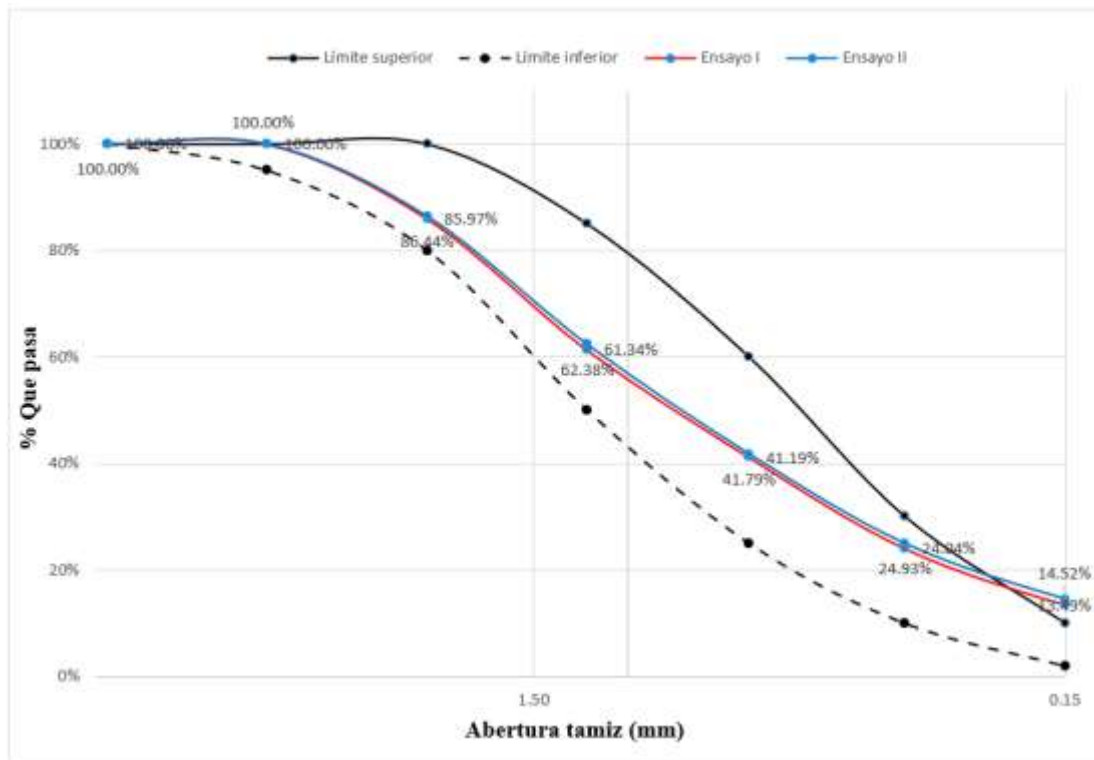
Comanche Dos

Tabla 12. Análisis granulométrico del agregado fino para Comanche Dos.

TAMIZ	Abertura(mm) NTE INEN 154	% Que pasa		Límites NTE INEN 872	
		Ensayo I	Ensayo II	L. inferior	L. superior
3/8 "	9.50	100	100	100%	100%
No. 4	4.75	100.00	100.00	95%	100%
No. 8	2.36	86.44	85.97	80%	100%
No. 16	1.18	62.38	61.34	50%	85%
No. 30	0.60	41.79	41.19	25%	60%
No. 50	0.30	24.93	24.04	10%	30%
No. 100	0.15	14.52	13.49	2%	10%
Módulo de finura				2.70	2.74
Módulo de finura promedio				2.7	

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino para Comanche Dos.



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Análisis granulométrico en el agregado grueso

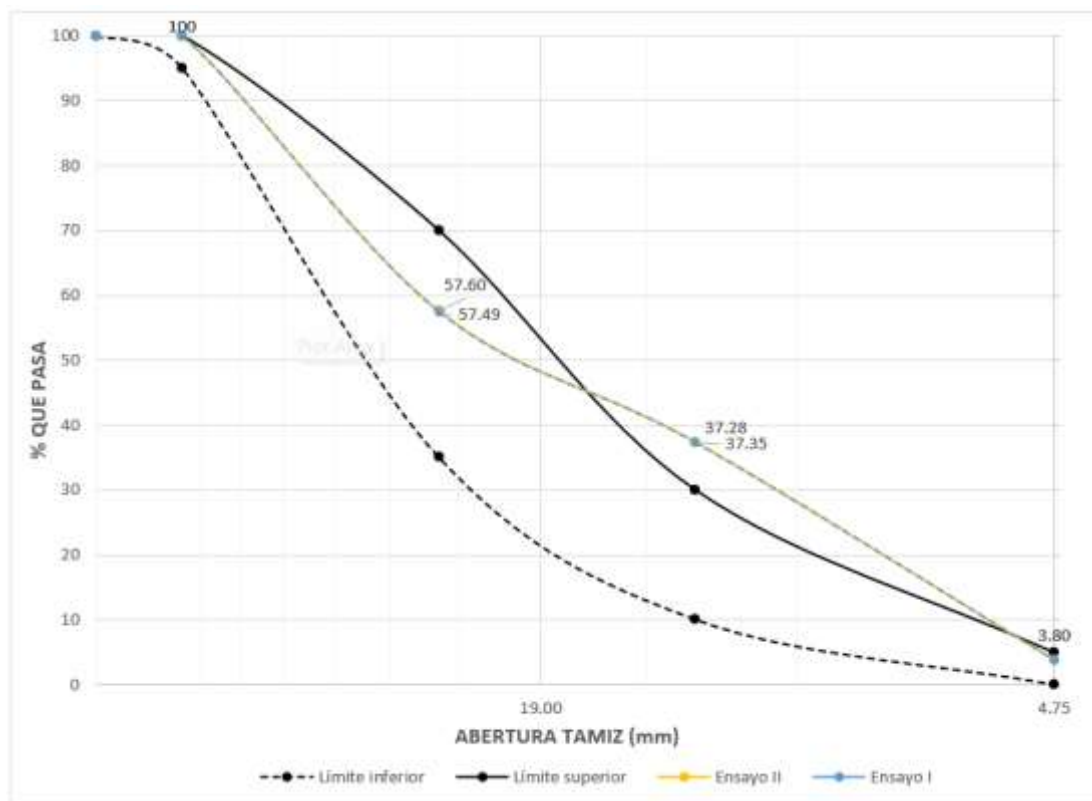
Comanche Uno

Tabla 13. Análisis granulométrico del agregado grueso para Comanche Uno.

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Límites ASTM 872		Porcentaje que pasa(%)	
		Límite inferior	Límite superior	Ensayo I	Ensayo II
2 1/2"	63.00	100%	100%	100	100
2"	50.00	95%	100%	100	100
1"	25.00	35%	70%	57.49	73.23
1/2"	12.50	10%	30%	20.51	20.18
No. 4	4.75	0%	5%	0.42	0.30
Tamaño Nominal máximo:				2"	

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso para Comanche Uno.



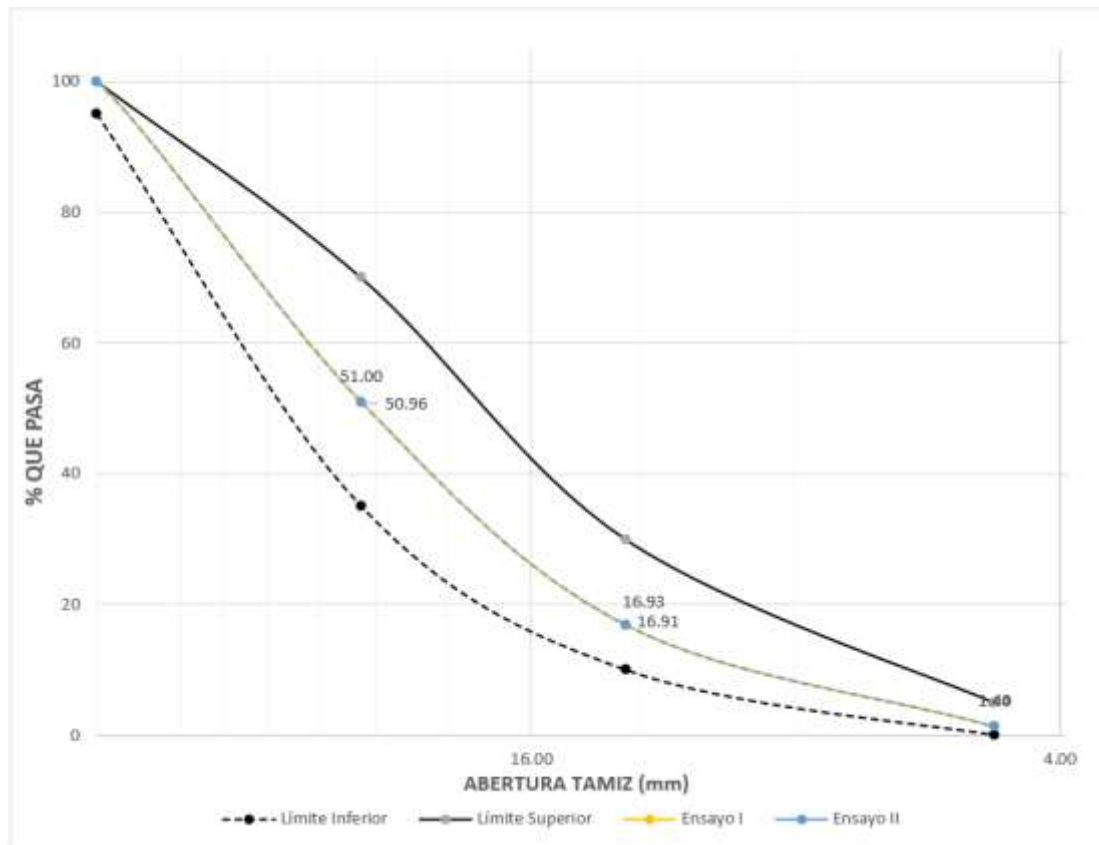
Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Tabla 14. Análisis granulométrico del agregado grueso para Comanche Dos.

TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Límites ASTM 872		Porcentaje que pasa(%)	
		Límite inferior	Límite superior	Ensayo I	Ensayo II
2 1/2"	63.00	100%	100%	100	100
2"	50.00	95%	100%	100	100
1"	25.00	35%	70%	50.96	51.00
1/2"	12.50	10%	30%	16.93	16.91
No. 4	4.75	0%	5%	1.44	1.40
Tamaño Nominal máximo:				2"	

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso para Comanche Dos.



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

3.1.2.5. Determinación de la densidad real (Gravedad específica)

Agregado fino

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

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	Comanche Uno	Comanche Dos	
Rango	0.01	0.010	<0.027
Desviación estándar	0.0059	0.0074	<0.0095
Coefficiente de variación(%)	0.23	0.29	-
Resultado(gr/cm³)	2.527	2.588	-

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Agregado grueso

Tabla 16. Densidad real (SSS) del agregado grueso.

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 857
	Comanche uno	Comanche dos	
Rango	0.000	0.004	<0.02
Desviación estándar	0.000	0.003	<0.007
Coefficiente de variación (%)	0.00	0.11	-
Resultado(gr/cm³)	2.591	2.549	-

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Comentario

Los valores obtenidos para densidad real en estado saturado superficie seca (SSS) de los agregados fino y grueso de ambas minas indican que se tratan de agregados que cumplen los requerimientos de la norma NTE INEN 856 y 857 por lo tanto se consideran agregados de densidad normal.

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

Agregado fino

Tabla 17. Capacidad de absorción del agregado fino

Parámetro	Mina		Precisión 1 Op INEN 856
	Comanche Uno	Comanche Dos	
Rango	0.06	0.06	<0.31
Desviación estándar	0.05	0.03	<0.11
Coefficiente de variación(%)	2.59	1.25	-
Resultado(%)	1.77	2.29	-

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Agregado Grueso

Tabla 18. Capacidad de absorción del agregado grueso.

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

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Comentario

Los agregados de las minas Comanche Uno y Comanche Dos se encuentran dentro de los porcentajes recomendados para nuestro medio [34], para el agregado fino el rango admisible es de 0.2 a 2% mientras que para el agregado grueso este rango se

incrementa debido a que éste tiende a ser un poco más poroso y por ende absorbe una cantidad de agua mayor, el rango es de 0.2 a 4%.

3.1.2.7. Determinación de la densidad aparente de los agregados.

Condición: Suelta y Compactada

Agregado fino

Tabla 19. Densidad aparente suelta y compactada del agregado fino.

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

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Tabla 20. Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso.

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

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Comentario

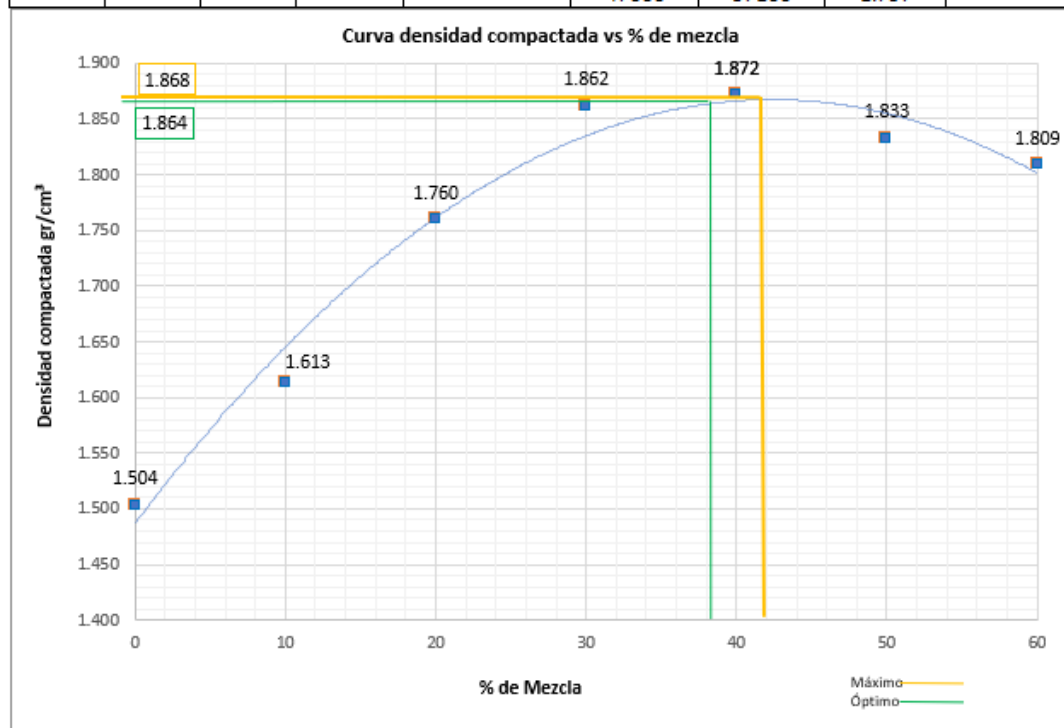
Por lo general los agregados con densidades comprendidas entre los valores de 1.120 y 1.920 gr/cm³ se consideran adecuados para su uso en la elaboración de hormigón estructural; las tablas 19 y 20 muestran que los agregados de las minas en estudio se encuentran dentro de este rango recomendado.

Condición: Mezcla de agregado fino + grueso

Comanche Uno

Tabla 21. Densidad compactada de la mezcla para Comanche Uno.

% de Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(Kg)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm ³)	DA promedio (gr/cm ³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41000	31100	1.506	1.504
					40900	31000	1.501	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43100	33200	1.608	1.613
					43300	33400	1.617	
80	20	40000	10000	5555.56	46400	36500	1.768	1.760
					46100	36200	1.753	
70	30	40000	17142.86	7142.86	48100	38200	1.850	1.862
					48600	38700	1.874	
60	40	40000	26666.67	9523.81	48800	38900	1.884	1.872
					48300	38400	1.860	
50	50	40000	40000	13333.33	47900	38000	1.840	1.833
					47600	37700	1.826	
40	60	40000	60000	20000	47500	37600	1.821	1.809
					47000	37100	1.797	



%máximo de AF	42%	%máximo de AG : 58%	DA máxima (gr/cm ³) :	1.868
%óptimo de AF	38%	%óptimo de AG : 62%	DA óptima (gr/cm ³):	1.864

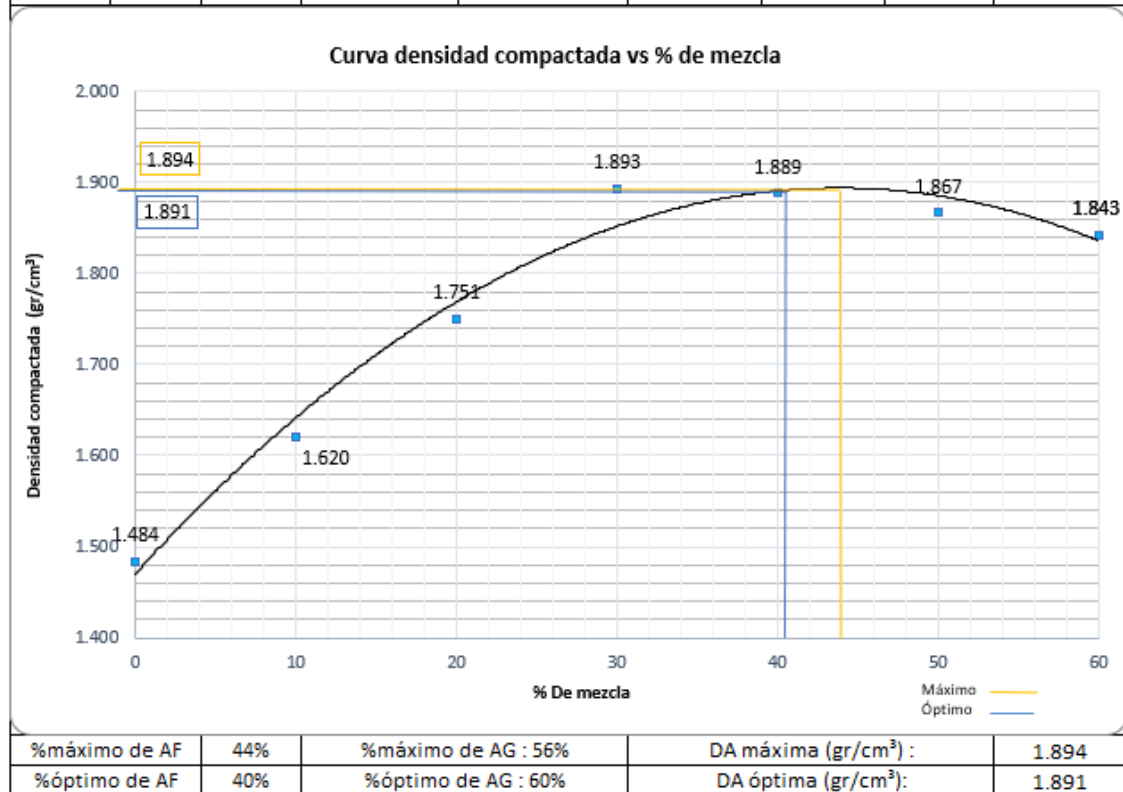
Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Condición: Mezcla de agregado fino + grueso

Comanche Dos

Tabla 22. Densidad compactada de la mezcla para Comanche Dos.

% Mezcla		Cantidad (gr)		Agregado fino Añadido(gr)	Masa mezcla + Molde(gr)	Masa mezcla (gr)	DA de la mezcla (gr/cm ³)	DA promedio (gr/cm ³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	40800	30900	1.496	1.484
					40300	30400	1.472	
90	10	40000	4444.44	4444.44	43400	33500	1.622	1.620
					43300	33400	1.617	
80	20	40000	10000	5555.56	46000	36100	1.748	1.751
					46100	36200	1.753	
70	30	40000	17142.86	7142.86	48900	39000	1.889	1.893
					49100	39200	1.898	
60	40	40000	26666.67	9523.81	48800	38900	1.884	1.889
					49000	39100	1.893	
50	50	40000	40000	13333.33	48400	38500	1.864	1.867
					48500	38600	1.869	
40	60	40000	60000	20000	47900	38000	1.840	1.843
					48000	38100	1.845	



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

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

3.1.3.1. Condiciones de diseño

Tanto para la mina Comanche Uno como para Comanche Dos se utilizaron las condiciones de diseño que se muestran en la tabla 23. Kg/cm²

Tabla 23. Condiciones de diseño de la mezcla

Resistencia f'c(kg/cm ²)	Relacion agua/cemento w/c	Asentamiento	Cantidad de pasta	Cantidad	Cemento
210	0.58	6-9 cm	POV+2%+8%(POV)	1m ³	Hidráulico Tipo GU
240	0.56	6-9 cm	POV+2%+8%(POV)	1m ³	Hidráulico Tipo GU

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

3.1.3.2. Datos Requeridos

Comanche Uno

Tabla 24. Propiedades de los agregados de la mina Comanche Uno.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.978	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino : DRA	2.527	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.591	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.499	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso : DAR	1.333	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado fino(compactada) : DAA	1.707	(gr/cm ³)
Densidad aparente del agregado grueso (compactada) : DAR	1.471	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	38	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	62	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.864	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	2.4	%
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	1.817	%
Contenido de humedad del agregado grueso: CHR	2.217	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	1.77	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	2.67	%

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Tabla 25. Propiedades de los agregados de la mina Comanche Dos.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad real del cemento: DRC	2.978	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado fino : DRA	2.588	(gr/cm ³)
Densidad real del agregado grueso: DRR	2.549	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado fino: DAA	1.550	(gr/cm ³)
Densidad aparente suelta del agregado grueso : DAR	1.332	(gr/cm ³)
Densidad aparente compactada del agregado fino : DAA	1.700	(gr/cm ³)
Densidad aparente compactada del agregado grueso: DAR	1.466	(gr/cm ³)
Porcentaje óptimo de agregado fino: POA	40	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso: POR	60	%
Densidad óptima de la mezcla: DOM	1.891	(gr/cm ³)
Módulo de finura de la arena: MFA	2.7	%
Contenido de humedad del agregado fino: CHA	1.489	%
Contenido de humedad del agregado grueso: CHR	1.951	%
Capacidad de absorción del agregado fino: CAA	2.29	%
Capacidad de absorción del agregado grueso: CAR	2.34	%

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

3.1.3.3. Resultados

Las tablas 26, 27, 28 y 29 muestran las cantidades a mezclar obtenidas mediante el método de la densidad óptima. La dosificación está hecha para el volumen de 1 m³.

Mina Comanche Uno

Resistencia a la compresión = 210 kg/ cm².

Tabla 26. Cantidades a mezclar para Comanche Uno para f'c = 210 kg/cm².

Resultados para f'c 210 Kg/cm ² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m ³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	199.91	0.58	29	29	lt
C	344.67	1.00	50	1	Saco
AF	657.15	1.91	95.33	2.4	Parihuela
AG	1099.31	3.19	159.47	4.4	Parihuela

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Tabla 27. Corrección por humedad para $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	Corrección por humedad CA -CH		Cantidad corregida en Kg por saco de
						%	Kg	
W	199.91	0.58	29	-	-	-	0.78	29.78
C	344.67	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	657.15	1.91	95.33	1.77	1.82	0.05	0.05	95.28
AG	1099.31	3.19	159.47	2.67	2.22	0.46	0.73	158.74

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Resistencia a la compresión = 240 Kg/ cm²

Tabla 28. Cantidades a mezclar para Comanche Uno para $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$.

Resultados para $f'c 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	197.32	0.56	28	28	lt
C	352.36	1.00	50	1	Saco
AF	657.15	1.86	93.25	2.3	Parihuela
AG	1099.31	3.12	155.99	4.3	Parihuela

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Tabla 29. Corrección por humedad para $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$

Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	Corrección por humedad CA -CH		Cantidad corregida en Kg por saco de cemento
						%	Kg	
W	197.32	0.56	28	-	-	-	0.76	28.76
C	352.36	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	657.15	1.86	93.25	1.77	1.82	0.05	0.05	93.20
AG	1099.31	3.12	155.99	2.67	2.22	0.46	0.71	155.28

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Mina Comanche Dos.

Resistencia a la compresión = 210 Kg/ cm²

Tabla 30. Cantidades a mezclar para Comanche Dos para f'c = 210 Kg/cm².

Resultados para f'c 210 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	192.38	0.58	29	29	Litros
C	331.70	1.00	50	1	Saco
AF	720.70	2.17	108.64	2.6	Parihuela
AG	1064.94	3.21	160.53	4.5	Parihuela

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Tabla 31. Corrección por humedad para f'c = 210 Kg/cm²

Material	Cantidad en Kg @m³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	Corrección por humedad CA -CH		Cantidad corregida en Kg por saco de
						%	Kg	
W	192.38	0.58	29	-	-	-	1.50	30.50
C	331.70	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	720.70	2.17	108.64	2.29	1.49	0.80	0.87	107.77
AG	1064.94	3.21	160.53	2.34	1.95	0.39	0.63	159.90

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Resistencia a la compresión = 240 Kg/ cm²

Tabla 32. Cantidades a mezclar para Comanche Dos para f'c = 240 Kg/cm².

Resultados para f'c 240 Kg/cm² (28 días)					
Material	Cantidad en Kg @m³	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	Dosificación por volumen en obra	
W	189.90	0.56	28	28	Litros
C	339.10	1.00	50	1	Saco
AF	720.70	2.13	106.27	2.5	Parihuela
AG	1064.94	3.14	157.02	4.4	Parihuela

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Tabla 33. Corrección por humedad para $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$

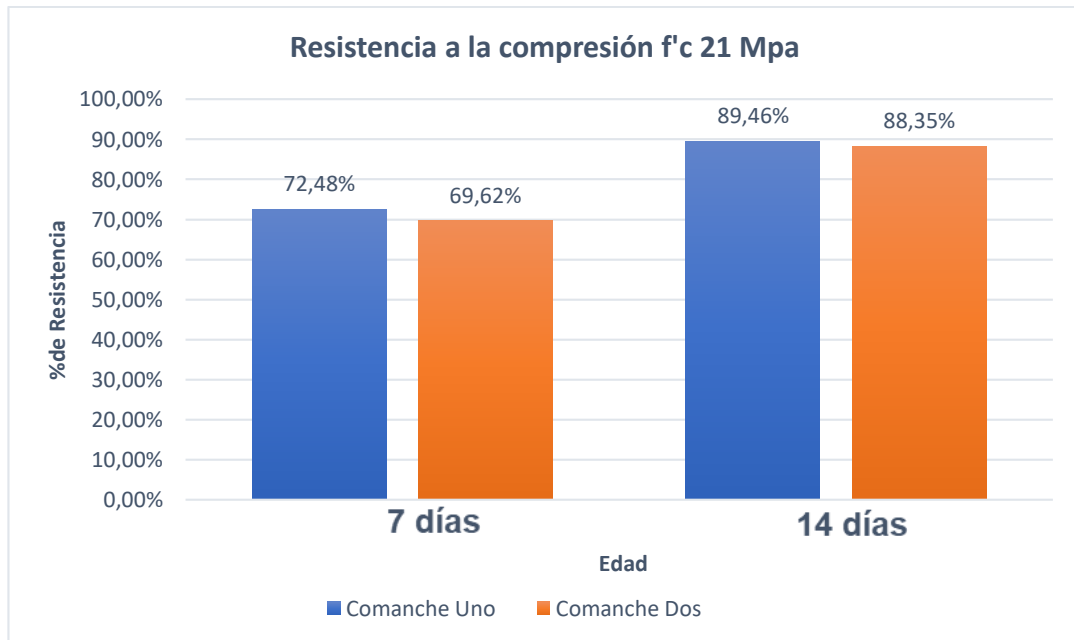
Material	Cantidad en Kg @m3	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de 50Kg	CA%	CH%	Corrección por humedad CA -CH		Cantidad corregida en Kg por saco de
						%	Kg	
W	189.90	0.56	28	-	-	-	1.46	29.46
C	339.10	1.00	50	-	-	-	-	50.00
AF	720.70	2.13	106.27	2.29	1.49	0.80	0.85	105.42
AG	1064.94	3.14	157.02	2.34	1.95	0.39	0.61	156.41

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

3.1.4. Mezclas de prueba

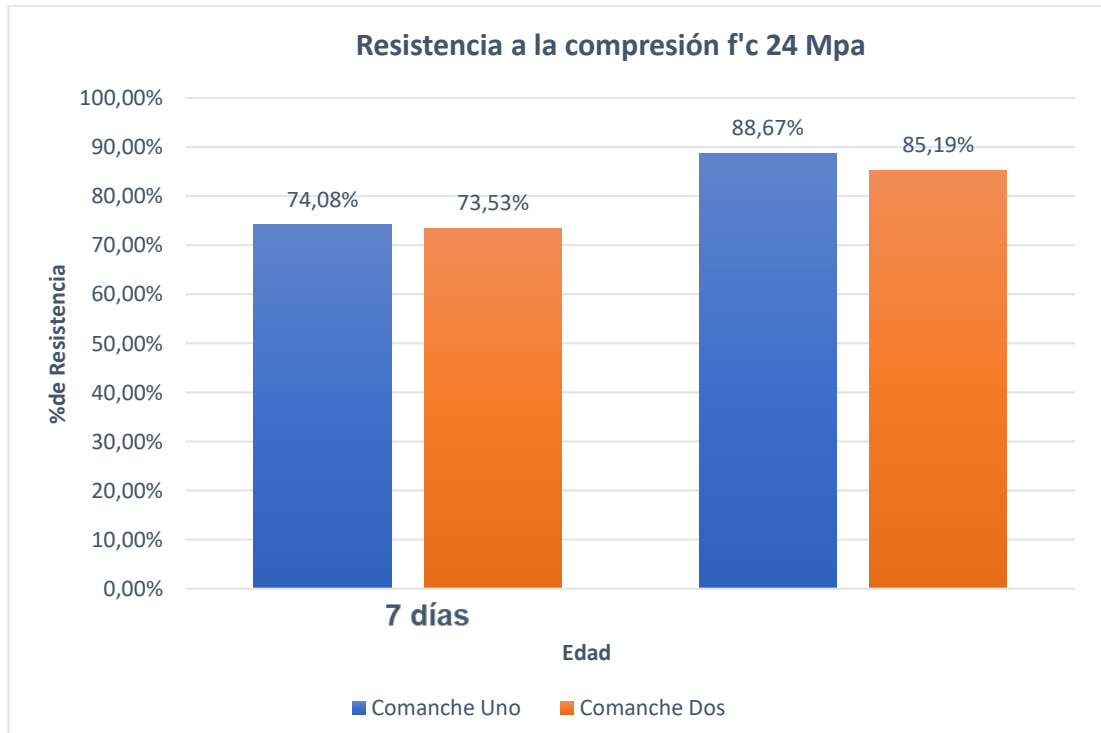
Previo a la elaboración de probetas para la fase final la norma indica que se deben realizar probetas de prueba a los 7 y 14 días de edad. Las figuras 9 y 10 muestran los resultados de los ensayos para las probetas de prueba.

Figura 9. Porcentaje de resistencia alcanzada para $f'c = 21 \text{ Mpa}$.



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

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



Fuente: *Lizbeth Aracely López Kayuk*

3.1.4.1. Ensayos realizados para dosificación final

Ensayos del hormigón en estado fresco

Tabla 34. Resumen ensayos en el hormigón en estado fresco.

Item	Mina			
	CD21	CD24	CU21	CU24
Fecha elaboración	4/1/2022	4/1/2022	4/1/2022	4/1/2022
Hora	11H00	09h00	14h00	16h00
Docilidad	Media	Buena	Media	Buena
Homogeneidad	Media	Media	Media	Media
Temp °C	18	19	20	18
Asentamiento(cm)	7.9	8.0	7.9	7.9
Consistencia	Media	Buena	Buena	Media
Densidad (Kg/m³)	2270.612	2278.676	2457.354	2436.134

Fuente: *Lizbeth Aracely López Kayuk*

Ensayos del hormigón en estado endurecido

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

Mina Comanche Uno

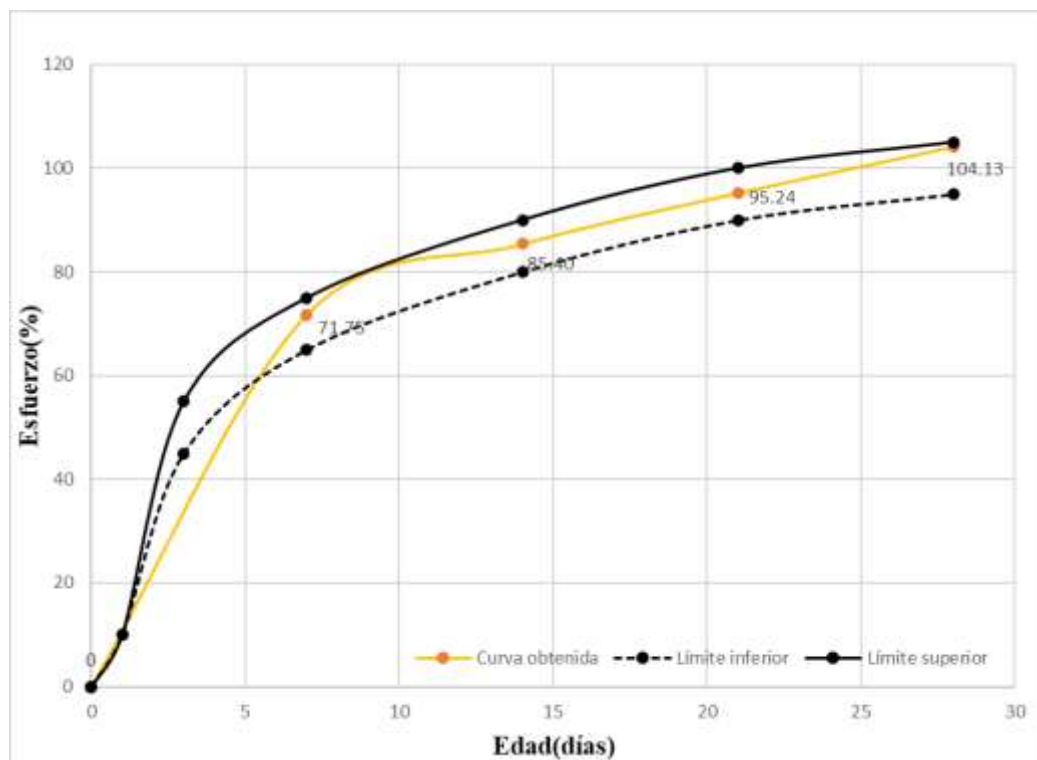
$F'_c = 21 \text{ Mpa}$

Tabla 35. Resumen de resistencias obtenidas de 21 Mpa para Comanche Uno

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio (Mpa)	Porcentaje de	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	15.07	71.75%	7	65%	75%
14	17.93	85.40%	14	80%	90%
21	20.00	95.24%	21	90%	100%
28	21.87	104.13%	28	95%	105%

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Figura 11. Curva esfuerzo deformación para 21 Mpa.



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Mina Comanche Uno

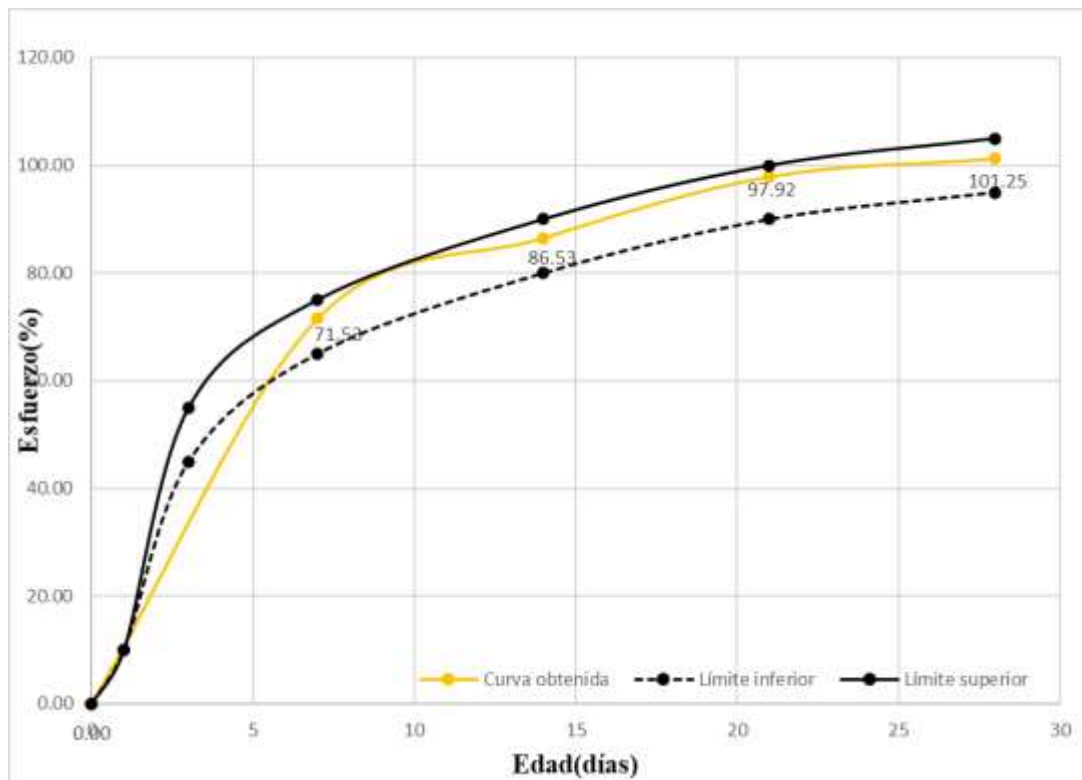
F'c = 24 Mpa

Tabla 36. Resumen de resistencias obtenidas de 24 Mpa para Comanche Uno.

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	17.17	72%	7	65%	75%
14	20.77	87%	14	80%	90%
21	23.50	98%	21	90%	100%
28	24.30	101%	28	95%	105%

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Figura 12. Curva esfuerzo deformación para 24 Mpa.



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Mina Comanche Dos

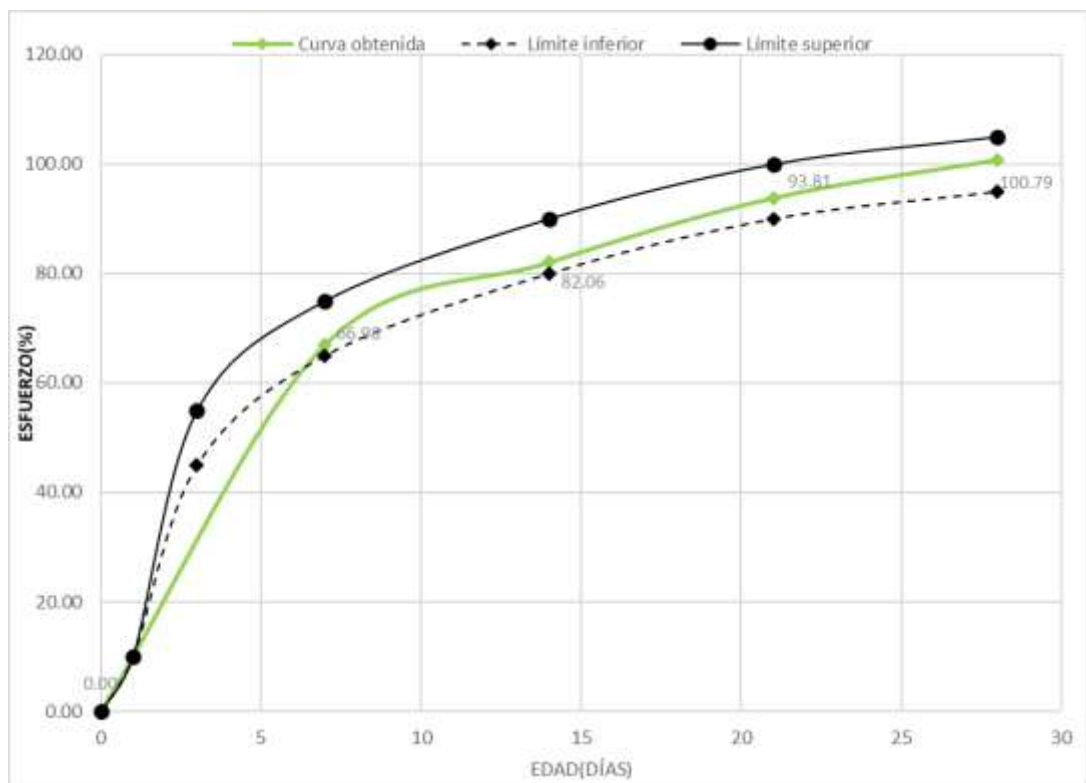
F'c = 21 Mpa

Tabla 37. Resumen de resistencias obtenidas de 21 Mpa para Comanche Dos.

Resultados ensayo			Límites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio (Mpa)	Porcentaje de esfuerzo	Edad Días	Límite inferior	Límite superior
7	14.07	66.98%	7	65%	75%
14	17.23	82.06%	14	80%	90%
21	19.70	93.81%	21	90%	100%
28	21.17	100.79%	28	95%	105%

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Figura 13. Curva esfuerzo deformación para 21 Mpa.



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Mina Comanche Dos

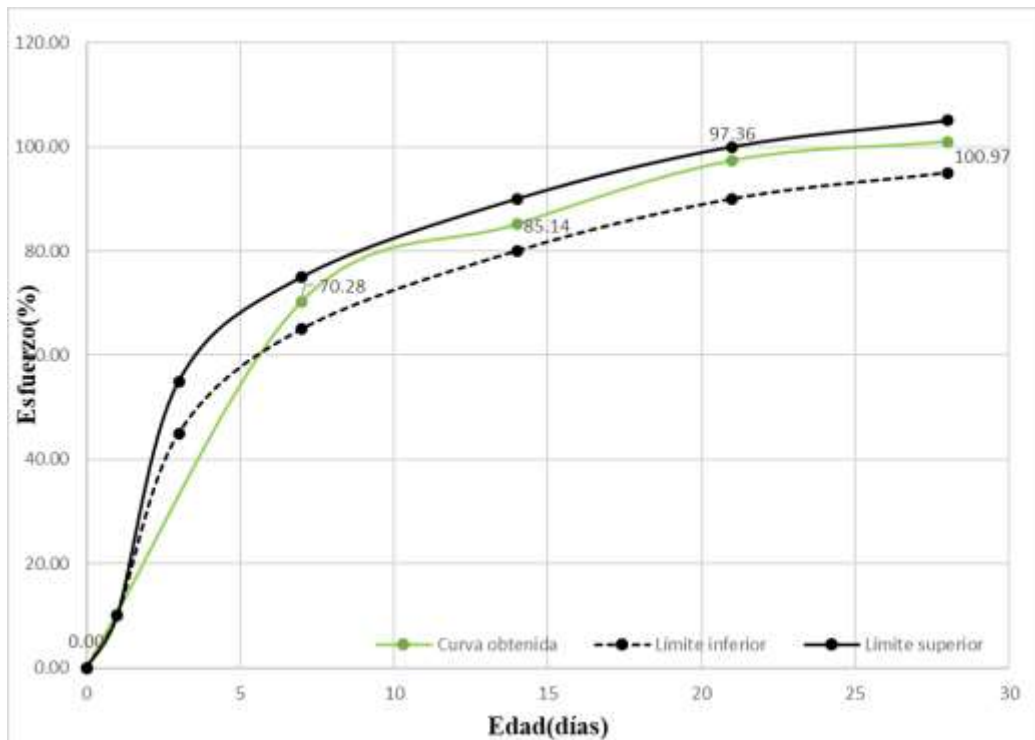
F'c = 24 Mpa

Tabla 38. Resumen de resistencias obtenidas de 24 Mpa para Comanche Dos.

Resultados ensayo			Limites		
Edad (días)	Esfuerzo Promedio(Mpa)	Porcentaje de resistencia	Edad Día	Limite inferior	Limite superior
7	16.87	70.28%	7	65%	75%
14	20.43	85.14%	14	80%	90%
21	23.37	97.36%	21	90%	100%
28	24.23	100.97%	28	95%	105%

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Figura 14. Curva esfuerzo deformación para 24 Mpa.



Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

3.1.5. Determinación del módulo de elasticidad estático del hormigón.

Mina Comanche Uno

Tabla 39. MEE para Comanche Uno para 21 Mpa.

Código				CU21		Norma:	ASTM C-469
Fecha de elaboración:				4/4/2022		Fecha ensayo:	1/2/2022
Edad:				28 Días		e1	0.00005
Resistencia obtenida (Mpa):				21.87		S2 (Mpa):	8.747
Probeta No.	Datos probeta			Lectura		Densidad kg/m ³	MEE (Mpa)
	∅ (cm)	h (cm)	w (kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
1M	10.1	19.9	3.832	128.222	41.4	2395,00	20506.7
2M	10.1	20.1	3.822	120.026	41.75	2388.75	20534.4
3M	10.0	20.0	3.855	133.458	41,00	2409.38	20589.1
4M	10.1	20.1	3.813	135.651	40.9	2383.13	20585.4
5M	10.1	20.3	3.922	139.304	40.8	2451.25	20540.9
6M	10.3	20.1	3.805	130.458	41.1	2378.13	20615.2
7M	10.2	20,0	3.821	129.686	41.31	2388.13	20517.2
8M	10.3	19.9	3.812	145.175	40.42	2382.5	20593.7
9M	10.1	20.1	3.895	164.963	39.4	2434.38	23630.9
Parámetros de control				Rango		73.1	124.2
				Desviación estándar		25.6	44.4
				Coeficiente de variación		1%	0.22%
				Promedio		2401.2	20568.2
				Mediana		2388.75	20585.40

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Tabla 40. MEE para Comanche Uno para 24 Mpa

Código		CU24				Norma:	ASTM C-469	
Fecha de elaboración:		4/1/2022				Fecha Ensayo	1/2/2022	
Edad:		28 días				e1	0.00005	
Resistencia obtenida(Mpa):		24.30				S2(Mpa):	9.72	
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)	
	Ø (cm)	h (cm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵			
10M	10.2	20.1	3.772	1.60618	42.70	2357.50	21522.1	
11M	10.1	20.2	3.822	1.69565	42.22	2388.75	21558.1	
12M	10.2	19.9	3.895	1.70835	42.20	2434.38	21536.7	
13M	10.1	20.3	3.883	1.48183	43.30	2426.88	21509.6	
14M	10.2	20.4	3.872	1.54928	43.00	2420.00	21501.9	
15M	10.1	20.1	3.861	1.54616	43.00	2413.13	21510.1	
16M	10.2	20.3	3.821	1.42951	43.57	2388.13	21494.7	
17M	10.3	19.9	3.762	1.67011	42.49	2351.25	21472.1	
18M	10.2	20.2	3.754	1.42544	43.46	2346.25	21566.7	
Parámetros de control				Rango		88.1	94.6	
				Desviación estándar		33.9	30.7	
				Coeficiente de variación		1%	0%	
				Promedio		2391.8	21514.9	
				Mediana		2388.75	21510.10	

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Mina Comanche Dos

Tabla 41. MEE para Comanche Uno para 21 Mpa.

Código		CD21				Norma:	ASTM C 469	
Fecha de elaboración:		4/1/2022				Fecha Ensayo	1/2/2022	
Edad:		28 días				e1	0.00005	
Resistencia obtenida(Mpa):		21.17				S2(Mpa):	8.467	
Probeta N°	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m³	MEE (Mpa)	
	Ø (cm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵			
1M	10.10	19.90	3.74	1.50051	41.90	2338.75	18878.5	
2M	10.20	20.00	3.72	1.32617	43.00	2326.25	18790.8	
3M	10.00	20.00	3.76	1.00867	44.50	2346.88	18881.0	
4M	10.20	20.00	3.88	1.09218	44.00	2426.88	18908.9	
5M	10.20	20.30	3.68	0.91253	45.10	2301.25	18838.3	
6M	10.00	20.30	3.69	1.21245	43.50	2307.50	18842.1	
7M	10.30	20.10	3.72	1.03642	44.32	2325.63	18896.9	
8M	10.20	20.30	3.76	1.55832	41.60	2351.25	18875.3	
9M	10.30	19.90	3.75	1.54261	41.80	2346.25	18815.4	
Parámetros de control				Rango		125.6	118.2	
				Desviación estándar		36.6	39.3	
				Coeficiente de variación		2%	0%	
				Promedio		2341.2	18858.6	
				Mediana		2338.75	18875.26	

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Tabla 42. MEE para Comanche Uno para 21 Mpa

Código		CD24		Norma:	ASTM C-469		
Fecha de elaboración:		4/1/2022		Fecha Ensayo	1/2/2022		
Edad:		28 días		e1	0.00005		
Resistencia obtenida(Mpa):		24.23		S2(Mpa):	9.693		
Probeta Nº	Datos probeta			Lectura		Densidad Kg/m ³	MEE (Mpa)
	Ø (mm)	h (mm)	w (Kg)	S1 (Mpa)	e2 x10 ⁻⁵		
10M	10.20	20.30	3.712	1.51233	45.50	2320.00	20200.0
11M	10.10	20.10	3.722	1.61672	45.00	2326.25	20191.5
12M	10.20	20.10	3.755	1.50436	45.60	2346.88	20169.9
13M	10.20	20.30	3.683	1.45867	46.00	2301.88	20084.5
14M	10.00	19.90	3.792	1.65715	44.75	2370.00	20219.4
15M	10.00	20.00	3.812	1.69804	44.50	2382.50	20241.2
16M	10.30	20.30	3.721	1.79217	44.00	2325.63	20259.4
17M	10.30	20.20	3.803	1.43097	45.70	2376.88	20300.6
18M	10.30	20.30	3.754	1.42408	45.70	2346.25	20317.6
Parámetros de control			Rango		80.6	233.0	
			Desviación estándar		28.0	70.8	
			Coeficiente de variación		1%	0%	
			Promedio		2344.0	20220.5	
			Mediana		2346.25	20219.35	

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Cálculos típicos

Datos:

$$S_2 = 9.7200 \text{ Mpa.}$$

$$S_1 = 1.708352 \text{ Mpa.}$$

$$\epsilon_2 = 0.0004220$$

$$E = \frac{(s_2 - s_1)}{(\epsilon_2 - 0.000050)}$$

$$E = \frac{(9.72 - 1.708352)}{(0.000422 - 0.000050)}$$

$$E = 21536.72 \text{ Mpa}$$

En donde:

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

S₁ = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal ϵ_1 , de las 50 millonésimas, en Mpa.

S₂ = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última.

ϵ_2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo **S₂**.

Nota: Para el ejemplo ilustrativo se seleccionó una probeta al azar, la probeta 12M, corresponde a la Mina Comanche Uno para $f'_c = 24 \text{ Mpa}$, los datos utilizados se muestran en la tabla 40.

Comentario

Para el análisis de datos se utilizaron los siguientes parámetros de control: coeficiente de variación, valor promedio, mediana, rango y desviación estándar.

El valor correspondiente a la media aritmética del total de las probetas ensayadas fue el seleccionado para el módulo de elasticidad estático y para la densidad respectivamente.

3.1.5.1. Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón.

La tabla 43 muestra la variación del módulo de elasticidad estático del hormigón (MEE), comparando el valor obtenido de forma experimental de acuerdo con ASTM C469 y las ecuaciones empíricas propuestas por ACI 318-14.

Tabla 43. Comparación del MEE experimental y teórico.

Asignación		MEE Experimental ASTM C469			MEE Teórico ACI 318-14			
Mina	Código	Resistencia (Mpa)	Densidad (Kg/m ³)	MEE (Mpa)	(a) wc entre 1440 y 2560 Kg/m ³	% de variación	(b) Concreto de peso normal	% de variación
Comanche Uno	CU21	21.87	2401.18	20568.2	23659.0	13%	21978.0	6%
	CU24	24.30	2391.81	21514.9	24794.8	13%	23168.7	7%
Comanche Dos	CD21	21.17	2341.18	18858.6	22410.3	16%	21623.4	13%
	CD24	24.23	2344.03	20220.5	24022.6	16%	23136.9	13%

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Factores locales Ka y Kb

Los factores locales **ka** y **kb**, se relacionan directamente con el módulo de elasticidad estático, la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días y el peso unitario del hormigón obtenido por el método gravimétrico. Estos factores son aplicables para hormigones de peso ligero y peso normal respectivamente, a continuación se detalla analíticamente sus fórmulas, y cuyos resultados obtenidos que se mostrarán en las tablas 44 y 45.

-Para hormigones considerados ligeros, con un peso unitario WC fluctuante entre 1440 Kg/m³ y 2560 Kg/m³, ka se obtiene de la siguiente manera:

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

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

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

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

-Para hormigones de pesos normales, es decir aquellos cuyas densidades varían generalmente entre 2300 y 2400 Kg/m³, el factor kb, se obtiene así:

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

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

$$E_c = k_b * \sqrt{f'_c} \frac{Kg}{cm^2}$$

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

En donde:

f'c= Resistencia a la compresión del hormigón.

wc= Peso unitario del concreto hallado por el método gravimétrico.

Ec= Módulo de elasticidad estático del hormigón.

Resultados Obtenidos

Comanche Uno

Tabla 44. Factores de zona para Comanche Uno.

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para Ec en Mpa		Para Ec en Kg/cm ²	
		Ka	Kb	Ka	Kb
Comanche Uno	CU21	0.037	4398.5	0.119	14045.8
	CU24	0.037	4364.5	0.119	13937.2
Parámetros de control	Rango	0.000	34.0	0.000	108.5
	Desv. Estándar	0.000	24.03	0.000	76.7
	Coef. Variación	0.1%	0.55%	0.13%	0.55%
	Mediana	0.037	4381.5	0.119	13991.5
	Promedio	0.037	4381.5	0.119	13991.5

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Comanche Dos

Tabla 45. Factores de zona para Comanche Dos.

Asignación		Factores obtenidos			
Mina	Código	Para Ec en Mpa		Para Ec en Kg/cm ²	
		Ka	Kb	Ka	Kb
Comanche Uno	CD21	0.0362	4099.0	0.116	13089.5
	CD24	0.0362	4107.6	0.116	13116.7
Parámetros de control	Rango	0.000	8.5	0.000	27.2
	Desv. Estándar	0.000	6.03	0.000	19.2
	Coef. Variación	0.0%	0.15%	0.02%	0.15%
	Mediana	0.036	4103.3	0.116	13103
	Promedio	0.036	4103.3	0.116	13103

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Valores propuestos

Tabla 46. Valores propuestos para el cálculo del MEE

Procedencia	(a) $E_c = w_c^{1.5} * k_a * \sqrt{f'c}$		(b) $E_c = k_b * \sqrt{f'c}$	
	Factor ka		Factor kb	
	Mpa	Kg/cm ²	Mpa	Kg/cm ²
Comanche Uno	0.0373	0.1193	4400	13900
Comanche Dos	0.0362	0.1156	4100	13100

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Verificación de la Hipótesis.

De acuerdo con el análisis realizado según lo establece ASTM C469, los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad estático del hormigón mediante ensayos de laboratorio indican que los materiales de las minas en estudio, Comanche Uno y Comanche Dos, proporcionan como resultado un valor menor al rango máximo de variación establecido respecto a la ecuación empírica señalada en ACI 318.

A continuación, se presenta la tabla comparativa que demuestra la variación entre los valores calculados analíticamente por el método de la normativa ACI 318 y experimentalmente mediante el método ASTM C469, expresada en forma de porcentaje.

Tabla 47. Resumen comparativo entre el MEE experimental y teórico del hormigón.

Asignación		MEE Experimental ASTM C469			MEE Teórico ACI 318-14			
Mina	Código	Resistencia (Mpa)	Densidad (Kg/m ³)	MEE (Mpa)	(a) wc entre 1440 y 2560 Kg/m ³	% de variación	(b) Concreto de peso normal	% de variación
Comanche Uno	CU21	21.87	2401.18	20568.2	23659.0	13%	21978.0	6%
	CU24	24.30	2391.81	21514.9	24794.8	13%	23168.7	7%
Comanche Dos	CD21	21.17	2341.18	18858.6	22410.3	16%	21623.4	13%
	CD24	24.23	2344.03	20220.5	24022.6	16%	23136.9	13%

Fuente: Lizbeth Aracely López Kayuk

Teniendo así los siguientes valores: en la ecuación que considera densidades (a), el valor mínimo es de 13% y el valor máximo es de 16%, mientras que para la ecuación (b) que solamente considera la resistencia a la compresión se tiene los porcentajes de 6% y 13% como valor mínimo y máximo respectivamente.

Se determina de esta manera que los agregados de las minas “Comanche Uno” y “Comanche Dos” influyen en el módulo de elasticidad estático del hormigón estructural fabricado con los mismos.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones específicas

- De acuerdo con el estudio realizado se determinaron las propiedades físico mecánicas fundamentales de los áridos pertenecientes a las minas Comanche Uno y Comanche Dos, datos indispensables para efectuar la dosificación del hormigón, además de otros procedimientos señalados en la norma NTE INEN 872 solicitados para su aprobación, llegando a la conclusión que dichos materiales cumplen con los parámetros establecidos.
- Mediante la aplicación del método de la densidad óptima se efectuó el diseño para hormigones de resistencia a la compresión de 210 y 240 Kg/cm², a la edad de 28 días.
- Una vez determinadas las correlaciones de los áridos empleados, peso específico y resistencia a la compresión se propone manejar valores de **0,1193** y **0,1156** en las constantes para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón para las minas Comanche Uno y Comanche Dos respectivamente, pertenecientes al cantón Palora, valores que serán reemplazados en la ecuación $E_c = w c^{1.5} * 0,14 * \sqrt{f'c} \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$, de igual manera se sugiere reemplazar los valores de 13900 para la mina Comanche Uno y 13100 para la mina Comanche 2 en la ecuación $E_c = 15100 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$.
- Una vez determinadas las correlaciones de los áridos empleados, peso específico y resistencia a la compresión se propone manejar valores de **0,0373** y **0,0362** en las constantes para el cálculo del módulo de elasticidad estático del hormigón para las minas Comanche Uno y Comanche Dos respectivamente, pertenecientes al cantón Palora, valores que serán

reemplazados en la ecuación $E_c = wc^{1.5} * 0,043 * \sqrt{f'c} (Mpa)$, de igual manera se sugiere reemplazar los valores de 4400 para la mina Comanche Uno y 4100 para la mina Comanche Dos en la ecuación $E_c = 4700 * \sqrt{f'c} (Mpa)$.

Bibliografía

- [1] G. Libia, El concreto y otros materiales para la construcción., Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [2] J. Erazo, «ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN BASE A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: “LAS PEÑAS” EN EL CANTÓN TULCÁN, PROVINCIA DEL CARCHI Y “RAMÍREZ”, UBICADA EN EL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA.» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021.
- [3] J. Cintas, J. Montes y F. Cuevas, Ciencia e Ingeniería de los materiales, vol. 1ra edición, Madrid: Ediciones Paraninfo, 2014.
- [4] J. C. McCormac y R. H. Brown, Diseño de concreto reforzado., México D.F.: Alfaomega, 2011.
- [5] D. Sanchez, Tecnología del concreto y del mortero, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2001.
- [6] ACI, "American Concrete Institute. Requisitos de Reglamento para Concreto," Comité ACI, USA, 2008.
- [7] ASTM, «Ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del hormigón en compresión.» American Society for Testing and Materials, USA, 2010.
- [8] NEC-SE-HM, "Estructuras de Hormigón Armado," MIDUVI, 2014.
- [9] T. Harmsen , Diseño de estructuras de concreto armado, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú., 2005.
- [10] ACI 318S-14, "Requisitos de reglamento para concreto estructural," American Concrete Institute, 2014.
- [11] J. Olivo, "Análisis comparativo estructural y económico de una vivienda modular unifamiliar a base de contenedores reciclados y hormigón armado para el cantón Ambato," Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2021.
- [12] M. F. Serrano Guzmán and D. D. Pérez Ruiz, "Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad del concreto," *Concreto y Cemento - Investigación y Desarrollo*, vol. 2, no. 1, pp. 16-30, 2007.
- [13] V. G. Mendoza Camey, "Evaluación de la calidad de agregados para concreto, en el departamento de Totonicapán," Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2008.

- [14] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos. Determinación de material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μm (No 200), mediante lavado,» de *NTE INEN 697:2010*, Quito, 2010, pp. 1-8.
- [15] S. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese and J. Tanesi, "Diseño y control de mezclas de concreto," Portland Cement Association, EE.UU., 2004.
- [16] J. Hurtado, "Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera Ramírez, para $f'c= 21\text{Mpa}$," Universidad Central del Ecuador, Quito, 2014.
- [17] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Áridos para hormigón. Requisitos," *NTE INEN 872:2011*, Quito, 2011.
- [18] M. Garzón, «Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón.,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2010.
- [19] A. Andrade and J. Sono, "Aplicación del ensayo de curado acelerado en cilindros de hormigón sometidos a compresión simple," Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2014.
- [20] F. Rodríguez, "Caracterización de las propiedades físicas y químicas de los agregados finos y gruesos con mayor demanda en la ciudad de Tunja," Universidad Santo Tomás, Tunja, 2015.
- [21] P. Portugal, "Tecnología del concreto de alto desempeño," *High Performance Concrete*, 2007.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio," *NTE INEN 863:2011*, Quito, 2011.
- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles," *NTE INEN 860:2011*, Quito, 2011.
- [24] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles," *NTE INEN 861:2011*, Quito, 2011.
- [25] "Agregados - Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino - Método de prueba," Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México, 2011.
- [26] UNAM, "Manual de Tecnología del Concreto," Universidad Nacional de México, México, 1997.
- [27] J. Simeon, "Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino," Universidad Centroamericana, Nicaragua.

- [28] I. E. d. Normalización, "Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.," in *NTE INEN*, Quito, Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010, p. 15.
- [29] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos," *NTE INEN 858:2010*, Quito, 2010.
- [30] M. Mamlouk and J. Zaniewski, *Materiales para ingeniería civil*, España: Pearson Educación, 2009.
- [31] J. Simeon, *Impurezas orgánicas en arenas*, Nicaragua: Universidad Centroamericana.
- [32] M. Conrado Díaz and S. Rojas, *Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Guayllabamba*, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2012.
- [33] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos para hormigón. Requisitos,» de *NTE INEN 872:2011*, Quito, 2011, pp. 2-12.
- [34] Ó. Andachi, «"ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN FABRICADO CON MATERIALES DE LAS MINAS: LA PLAYA, UBICADA EN EL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI Y SALVADOR, UBICADA EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNG,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019.

Anexos

Anexo 1. Requisitos de gradación del árido grueso.

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

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

Anexo 2. Resultados de ensayos en laboratorio.

a) Densidad real del cemento.

Origen	Cemento Portland		Ensayo :	I
Ensayado por	Lizbeth López			
Norma	NTE INEN 156:2009	Fecha:	08/12/2021	
PROCESO			Nomenclatura	Masa (g)
Masa del frasco			m1	163.10
Masa frasco + Cemento			m2	235.40
Masa frasco + Cemento + Gasolina			m3	581.70
Masa Gasolina añadida(m3 -m2)			m4	346.30
Masa de frasco + 500cc de gasolina			m5	527.10
Masa de 500cc de gasolina(m5 -m1)			m6	364.00
Densidad de la Gasolina(m6/500cc)			dg(g/cc)	0.73
Masa de la gasolina desalojada por el cemento(m6 - m4)			m7	17.70
Masa del cemento(m2-m1)			mc	72.30
Volumen de gasolina desalojada = Volumen de cemento añadido (m7			Vc	24.31
Densidad del cemento (mc/Vc)			dc(g/cc)	2.974

Origen	Cemento Portland		Ensayo :	II
Ensayado por	Lizbeth López			
Norma	NTE INEN 156:2009	Fecha:	08/12/2021	
PROCESO			Nomencld	Masa (g)
Masa del frasco			m1	152.60
Masa frasco + Cemento			m2	225.00
Masa frasco + Cemento + Gasolina			m3	571.80
Masa Gasolina añadida(m3 -m2)			m4	346.80
Masa de frasco + 500cc de gasolina			m5	517.10
Masa de 500cc de gasolina(m5 -m1)			m6	364.50
Densidad de la Gasolina(m6/500cc)			dg(g/cc)	0.73
Masa de la gasolina desalojada por el cemento(m6 - m4)			m7	17.70
Masa del cemento(m2-m1)			mc	72.40
Volumen de gasolina desalojada = Volumen de cemento añadido (m7			Vc	24.28
Densidad del cemento (mc/Vc)			dc(g/cc)	2.982

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

Comanche Uno

Origen	Comanche Uno			
Peso de la muestra(gr)	1000			
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha Muestreo:	7/12/2021	
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	7/12/2021	
Descripción	Ensayo			Unidad
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	1500	1500	1500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	1462	1456	1461	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	2.5	2.9	2.6	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	2.69			%

Comanche Dos

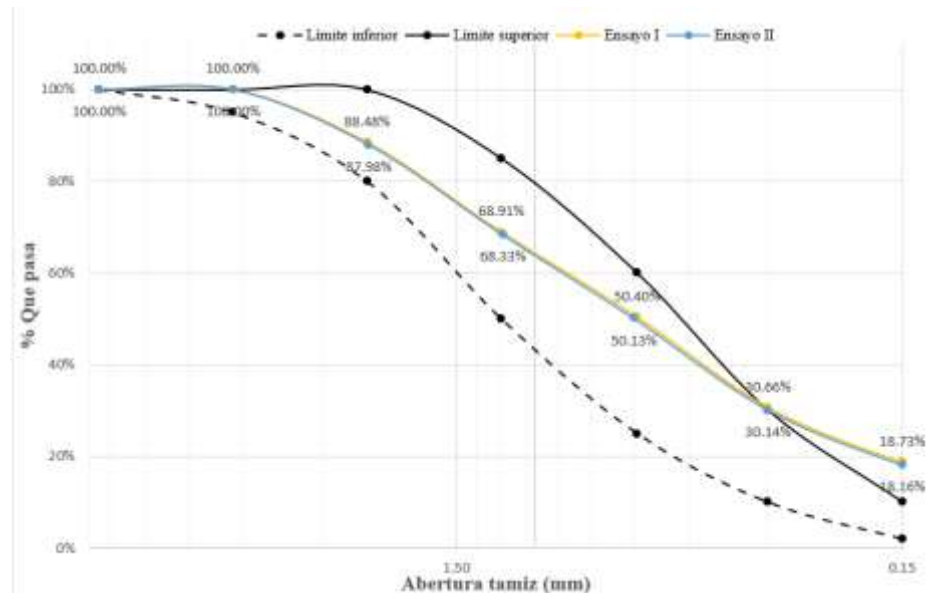
Origen	Comanche Dos			
Peso de la muestra(gr)	1000			
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha Muestreo:	7/12/2021	
Norma	NTE INEN 697:2010	Fecha Ensayo:	7/12/2021	
Descripción	Ensayo			Unidad
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	1500	1500	1500	gr
Masa seca de la muestra luego del lavado	1468	1471	1469	gr
% de material más fino que pasa el tamiz No. 200	2.1	1.9	2.1	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	2.04			%

c) Análisis Granulométrico en el agregado fino.

Comanche Uno

Origen		Comanche Uno				Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		1000				Pérdida de muestra		0.02%	
Ensayado por		Lizbeth López				Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
No. 4	4.76	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%	
No. 8	2.38	115.22	115.22	11.52%	11.52%	88.48%	80%	100%	
No. 16	1.19	195.61	310.83	19.57%	31.09%	68.91%	50%	85%	
No. 30	0.59	185.11	495.94	18.52%	49.60%	50.40%	25%	60%	
No. 50	0.30	197.29	693.23	19.73%	69.34%	30.66%	10%	30%	
No. 100	0.15	119.27	812.50	11.93%	81.27%	18.73%	2%	10%	
No. 200	0.08	86.50	899.00	8.65%	89.92%	10.08%	-		
Bandeja		100.78	999.78	10.08%	100.00%		-		
Módulo de finura							2.43		

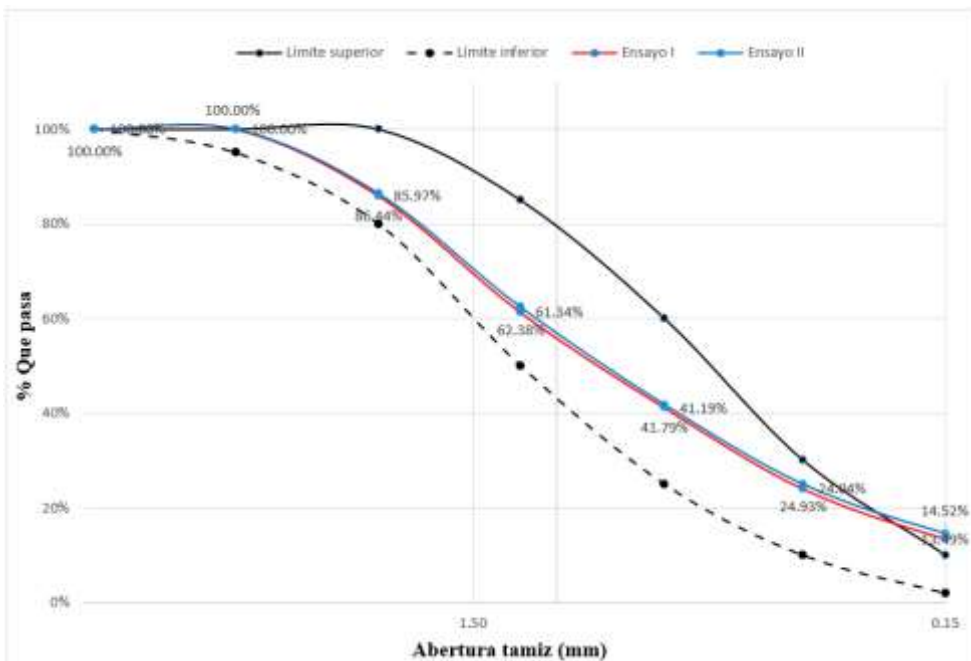
Origen		Comanche Uno				Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		1000				Pérdida de muestra		0.05%	
Ensayado por		Lizbeth López				Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
No. 4	4.75	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%	
No. 8	2.36	120.15	120.15	12.02%	12.02%	87.98%	80%	100%	
No. 16	1.18	196.35	316.50	19.65%	31.67%	68.33%	50%	85%	
No. 30	0.60	181.97	498.47	18.21%	49.87%	50.13%	25%	60%	
No. 50	0.30	199.72	698.19	19.98%	69.86%	30.14%	10%	30%	
No. 100	0.15	119.80	817.99	11.99%	81.84%	18.16%	2%	10%	
No. 200	0.075	91.23	909.22	9.13%	90.97%	9.03%	-		
Bandeja		90.25	999.47	9.03%	100.00%		-		
Módulo de finura							2.45		



Comanche Dos

Origen		Comanche Dos				Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		1000				Pérdida de muestra		0.04%	
Ensayado por		Lizbeth López				Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
No. 4	4.76	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%	
No. 8	2.38	135.52	135.52	13.56%	13.56%	86.44%	80%	100%	
No. 16	1.19	240.54	376.06	24.06%	37.62%	62.38%	50%	85%	
No. 30	0.59	205.80	581.86	20.59%	58.21%	41.79%	25%	60%	
No. 50	0.30	168.47	750.33	16.85%	75.07%	24.93%	10%	30%	
No. 100	0.15	104.07	854.40	10.41%	85.48%	14.52%	2%	10%	
No. 200	0.08	73.19	927.59	7.32%	92.80%	7.20%	-		
Bandeja		71.96	999.55	7.20%	100.00%		-		
Módulo de Finura							2.70		

Origen		Comanche Dos				Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		1000				Pérdida de muestra		0.02%	
Ensayado por		Oscar Andachi				Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011				Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (gr)	Porcentaje que pasa (gr)	Límites ASTM		
							Límite inferior	Límite superior	
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%	
No. 4	4.76	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%	
No. 8	2.38	140.23	140.23	14.03%	14.03%	85.97%	80%	100%	
No. 16	1.19	246.31	386.54	24.63%	38.66%	61.34%	50%	85%	
No. 30	0.59	201.47	588.01	20.15%	58.81%	41.19%	25%	60%	
No. 50	0.30	171.47	759.48	17.15%	75.96%	24.04%	10%	30%	
No. 100	0.15	105.48	864.96	10.55%	86.51%	13.49%	2%	10%	
No. 200	0.08	74.56	939.52	7.46%	93.97%	6.03%	-		
Bandeja		60.32	999.84	6.03%	100.00%		-		
Módulo de Finura							2.7		

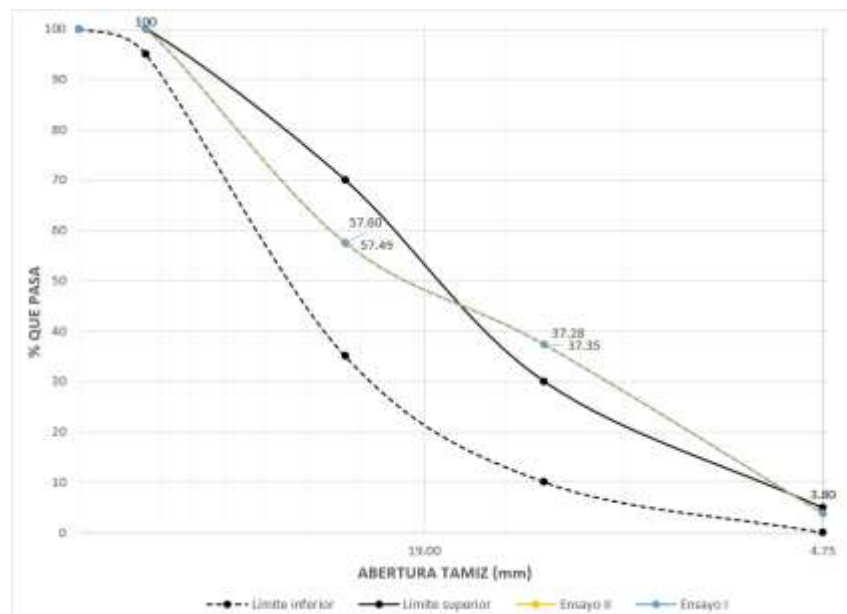


d) Análisis Granulométrico en el agregado grueso.

Comanche Uno

Origen		Comanche Uno					Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000					Pérdida de muestra		0.09%	
Ensayado por		Lizbeth López					Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011					Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Limites ASTM			
							Limite inferior	Limite superior		
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%		
1 1/2"	37.50	1777.00	1777.00	17.79%	17.79%	82.21%	-	-		
1 "	25.00	2470.00	4247.00	24.72%	42.51%	57.49%	35%	70%		
3/4 "	19.05	972.24	5219.24	9.73%	52.24%	47.76%	-	-		
1/2 "	12.50	1047.00	6266.24	10.48%	62.72%	37.28%	10%	30%		
3/8 "	9.50	1604.00	7870.24	16.05%	78.77%	21.23%	-	-		
No. 4	4.75	1741.36	9611.60	17.43%	96.20%	3.80%	0%	5%		
Bandeja		379.56	9991.16	3.80%	100.00%					
Tamaño Nominal máximo:							2"			

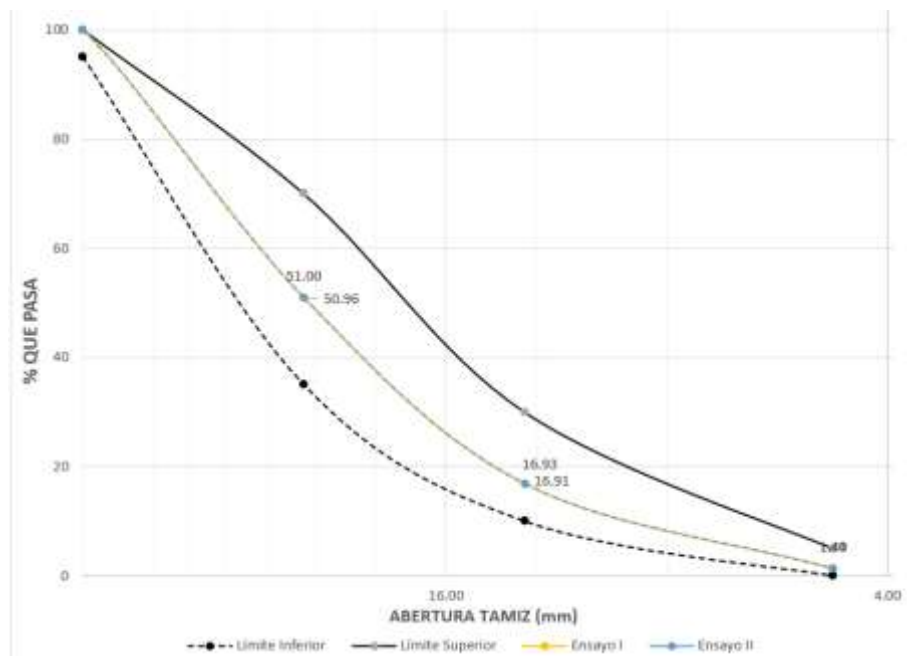
Origen		Comanche Uno					Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000					Pérdida de muestra		0.09%	
Ensayado por		Lizbeth López					Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011					Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Limites ASTM			
							Limite inferior	Limite superior		
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%		
1 1/2"	37.50	1779.51	1779.51	17.81%	17.81%	82.19%	-	-		
1 "	25.00	2456.38	4235.89	24.59%	42.40%	57.60%	35%	70%		
3/4 "	19.00	969.89	5205.78	9.71%	52.11%	47.89%	-	-		
1/2 "	12.50	1053.23	6259.01	10.54%	62.65%	37.35%	10%	30%		
3/8 "	9.50	1605.71	7864.72	16.07%	78.72%	21.28%	-	-		
No. 4	4.75	1746.37	9611.09	17.48%	96.20%	3.80%	0%	5%		
Bandeja		379.82	9990.91	3.80%	100.00%					
Tamaño Nominal máximo:							2"			



Comanche Dos

Origen		Comanche Dos					Ensayo No.		I	
Peso de la muestra(gr)		10000					Pérdida de muestra		0.06%	
Ensayado por		Lizbeth López					Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011					Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Limites ASTM			
							Limite inferior	Limite superior		
2 1/2"	63	0	0	0.00%	0.00%	100.00%				
2"	50	0	0	0.00%	0.00%	100.00%				
1 1/2"	37.50	2052.31	2052.31	20.54%	20.54%	79.46%	100%	100%		
1 "	25.00	2847.14	4899.45	28.50%	49.04%	50.96%	95%	100%		
3/4 "	19.00	1721.21	6620.66	17.23%	66.27%	33.73%	-	-		
1/2 "	12.50	1678.96	8299.62	16.80%	83.07%	16.93%	25%	60%		
3/8 "	9.50	1464.52	9764.14	14.66%	97.73%	2.27%	-	-		
No. 4	4.75	82.86	9847	0.83%	98.56%	1.44%	0%	10%		
No. 8	2.36	80	9927	0.80%	99.36%	0.64%	0%	5%		
Fuente		67.00	9994	0.67%	100.03%					
Tamaño Nominal máximo:							2"			

Origen		Comanche Dos					Ensayo No.		II	
Peso de la muestra(gr)		10000					Pérdida de muestra		0.02%	
Ensayado por		Lizbeth López					Fecha Muestreo:		07/12/2021	
Norma		NTE INEN 696:2011					Fecha Ensayo:		08/12/2021	
TAMIZ	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Limites ASTM			
							Limite inferior	Limite superior		
2 1/2"	63	0	0	0.00%	0.00%	100.00%				
2"	50	0	0	0.00%	0.00%	100.00%				
1 1/2"	37.50	2049.64	2049.64	20.51%	20.51%	79.49%	100%	100%		
1 "	25.00	2846.13	4895.77	28.49%	49.00%	51.00%	95%	100%		
3/4 "	19.00	1729.21	6624.98	17.31%	66.31%	33.69%	-	-		
1/2 "	12.50	1676.86	8301.84	16.78%	83.09%	16.91%	25%	60%		
3/8 "	9.50	1463.51	9765.35	14.65%	97.74%	2.26%	-	-		
No. 4	4.75	85.64	9850.99	0.86%	98.60%	1.40%	0%	10%		
No. 8	2.36	83.49	9934.48	0.84%	99.43%	0.57%	0%	5%		
Fuente		64.00	9998.48	0.64%	100.07%	0.00%				
Tamaño Nominal máximo:							2"			



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

Comanche Uno

Origen	Comanche Uno	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha	09/12/2021	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	145.8	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	643.1	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	945.6	
$m4=m3 - m2$	Masa de Agua añadida	gr	302.5	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	644.1	
$m6=m5 - m1$	Masa de 500 cc de agua	gr	498.3	
$DA=m6/500cm^3$	Densidad del agua	gr/cm ³	0.997	
$m7=m6 - m4$	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	195.8	
$M_{sss}=m2 - m1$	Masa del agregado	gr	497.3	
$V_{sss}=m7/DA$	Volumen del agua desalojada	cm ³	196.5	
$DRA=M_{sss}/V_{sss}$	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.531	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	32.34	31.46
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	230.9	228.52
$m10=m9 - m8$	Masa de la muestra SSS	gr	198.56	197.06
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	227.35	225.21
$m12=m11 - m8$	Masa de la Muestra seca	gr	195.01	193.75
$CA=((M10-M12)/M12)*100$	Capacidad de absorción	%	1.82	1.71
$P2=(CA1 + CA2)/2$	Promedio	%	1.76	

Origen	Comanche Uno	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha	09/12/2021	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	145.8	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	642.87	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	944.81	
$m4=m3 - m2$	Masa de Agua añadida	gr	301.94	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	644.1	
$m6=m5 - m1$	Masa de 500 cc de agua	gr	498.3	
$DA=m6/500cm^3$	Densidad del agua	gr/cm ³	0.997	
$m7=m6 - m4$	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	196.36	
$M_{sss}=m2 - m1$	Masa del agregado	gr	497.07	
$V_{sss}=m7/DA$	Volumen del agua desalojada	cm ³	197.0	
$DRA=M_{sss}/V_{sss}$	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.523	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	32.55	32.86
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	239.3	220.79
$m10=m9 - m8$	Masa de la muestra SSS	gr	206.75	187.93
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	235.71	217.53
$m12=m11 - m8$	Masa de la Muestra seca	gr	203.16	184.67
$CA=((M10-M12)/M12)*100$	Capacidad de absorción	%	1.77	1.77
$P2=(CA1 + CA2)/2$	Promedio	%	1.77	

Comanche Dos

Origen	Comanche Dos	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha	09/12/2021	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	152	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	651.7	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	954.11	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	302.41	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	645.3	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	493.3	
DA=m6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.987	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	190.89	
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	499.7	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	193	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.583	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	30.5	30.7
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	180.7	232.1
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	150.2	201.4
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	177.29	227.58
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	146.79	196.88
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	2.32	2.30
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.31	

Origen	Comanche Dos	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha	09/12/2021	
Norma	NTE INEN 856:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa del picnómetro	gr	152	
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	650.1	
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	953.89	
m4=m3 - m2	Masa de Agua añadida	gr	303.79	
m5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	645.3	
m6=m5 - m1	Masa de 500 cc de agua	gr	493.3	
DA=m6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.987	
m7=m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	189.51	
Msss=m2 - m1	Masa del agregado	gr	498.1	
Vsss=m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	192.1	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.593	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Ensayo I	Ensayo II
m8	Masa del Recipiente	gr	31.5	30.6
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	182.4	142.6
m10=m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	150.9	112
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	179.06	140.12
m12=m11 - m8	Masa de la Muestra seca	gr	147.56	109.52
CA=((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	2.26	2.26
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.26	

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

Comanche Uno

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso				
Origen	Comanche Uno	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha	13/12/2021	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300.1	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1129	
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4721	
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3231	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3420.9	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm ³	2102	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1320.3524	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr	2.591	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Designación	Dato	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	30.7	32.6
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	142.5	148.5
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	111.8	115.9
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	139.8	145.3
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	109.1	112.7
CA=(m9-m11)/m11*100	Capacidad de absorción	%	2.47	2.84
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.66	

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso				
Origen	Comanche Uno	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha	13/12/2021	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300.1	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1131	
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4721	
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3233	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3420.9	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm ³	2102	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1320	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr	2.591	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	33.6	31.5
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	139	151.9
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	105.4	120.4
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	136.1	148.9
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	102.5	117.4
CA=(m9-m11)/m11*100	Capacidad de absorción	%	2.83	2.56
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.69	

Comanche Dos

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso				
Origen	Comanche Dos	Ensayo No.	I	
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha	13/12/2021	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1081	
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4840	
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3235	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3540	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm ³	2154	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1387.5263	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr	2.551	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	30.2	32.2
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	174.8	172.1
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	144.6	139.9
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	171.51	168.93
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	141.31	136.73
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2.33	2.32
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.32	

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso				
Origen	Comanche Dos	Ensayo No.	II	
Ensayado por	Lizbeth López	Fecha	13/12/2021	
Norma	NTE INEN 857:2010			
Cálculo de la densidad real				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1300.1	
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1080	
m3	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4842	
m4	Masa de la Canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	3233	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.9989	
m5=m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3541.9	
m6=m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr/cm ³	2153	
VR=(m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	gr	1390.42947	
DR=m5/VR	Densidad Real	gr	2.547	
Cálculo de la capacidad de absorción				
Datos	Designación	Unidad	Valor	Valor
m7	Masa del Recipiente	gr	30.7	31.7
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	172.84	163
m9=m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	142.14	131.3
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	169.65	159.89
m11=m10 - m7	Masa de la Muestra seca	gr	138.95	128.19
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2.30	2.43
P2=(CA1 + CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.36	

g) Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.

Comanche Uno

Origen	Comanche Uno		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	14/12/2021
Ensayado por:	Lizbeth López		Fecha Ensayo	14/12/2021
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	37500	27600	1.337	1.334
	37400	27500	1.332	
Fino	41200	31300	1.516	1.518
	41300	31400	1.521	

Origen	Comanche Uno		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	14/12/2021
Ensayado por:	Lizbeth López		Fecha Ensayo	14/12/2021
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	37300	27400	1.327	1.332
	37500	27600	1.337	
Fino	41000	31100	1.506	1.479
	39900	30000	1.453	

Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.

Comanche Dos

Origen	Comanche Dos		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	Lizbeth López		Fecha muestreo	15/12/2021
Ensayado por:	9900		Fecha Ensayo	15/12/2021
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	37500	27600	1.337	1.339
	37600	27700	1.341	
Fino	41900	32000	1.550	1.547
	41800	31900	1.545	

Origen	Comanche Dos		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	15/12/2021
Ensayado por:	Lizbeth López		Fecha Ensayo	15/12/2021
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Ensayado por:	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	37200	27300	1.322	1.324
	37300	27400	1.327	
Fino	42000	32100	1.554	1.552
	41900	32000	1.550	

h) Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino.

Comanche Uno

Origen	Comanche Uno		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	15/12/2021
Ensayado por:	Lizbeth López		Fecha Ensayo	15/12/2021
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	40300	30400	1.472	1.470
	40200	30300	1.467	
Fino	45200	35300	1.709	1.709
	45200	35300	1.709	

Origen	Comanche Uno		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	15/12/2021
Ensayado por:	Lizbeth López		Fecha Ensayo	15/12/2021
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)
Grueso	40300	30400	1.472	1.472
	40300	30400	1.472	
Fino	45000	35100	1.700	1.705
	45200	35300	1.709	

Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino.

Comanche Dos

Origen	Comanche Dos		Ensayo	I
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	15/12/2021
Ensayado por:	Lizbeth López		Fecha Ensayo	15/12/2021
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	40100	30200	1.462	1.465
	40200	30300	1.467	
Fino	45100	35200	1.705	1.702
	45000	35100	1.700	

Origen	Comanche Dos		Ensayo	II
Masa del recipiente (gr)	9900		Fecha muestreo	15/12/2021
Ensayado por:	Lizbeth López		Fecha Ensayo	15/12/2021
Volumen del recipiente(cm³):	20650			
Norma	NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Promedio (gr/cm ³)
Grueso	40300	30400	1.472	1.467
	40100	30200	1.462	
Fino	44900	35000	1.695	1.697
	45000	35100	1.700	

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

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

Comanche Uno

Origen			Comanche Uno								
Ensayado por			Lizbeth López								
Norma			NTE INEN 1573:2010								
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo				
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio	
CU21	7	16/12/2021	23/12/2021	1	10.20	20.00	3.926	124	15.21	15.2	
CU21	7			2	10.10	20.10	3.684	124	15.48		
CU21	7			3	10.20	20.20	3.912	122	14.97		
CU24	7		23/12/2022	23/12/2022	1	10.10	20.30	3.894	142	17.77	17.8
CU24	7				2	10.20	20.20	3.944	147	17.93	
CU24	7				3	10.10	20.30	3.929	141	17.64	
CU21	14	16/12/2021	3/1/2022	1	10.20	20.20	3.923	152	18.59	18.8	
CU21	14			2	10.20	20.30	3.903	154	18.86		
CU21	14			3	10.20	20.20	3.879	155	18.91		
CU24	14		3/1/2022	3/1/2022	1	10.10	20.30	3.914	169	21.07	21.3
CU24	14				2	10.20	20.30	3.884	175	21.36	
CU24	14				3	10.10	20.20	3.893	172	21.41	

Comanche Dos

Origen			Comanche Dos								
Ensayado por			Lizbeth López								
Norma			NTE INEN 1573:2010								
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo				
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo promedio	
CD21	7	16/12/2021	23/12/2021	1	10.00	20.00	3.509	115	14.61	14.6	
CD21	7			2	10.10	20.10	3.518	119	14.88		
CD21	7			3	10.00	20.10	3.511	113	14.37		
CD24	7		23/12/2022	23/12/2022	1	10.00	20.00	3.520	138	17.57	17.6
CD24	7				2	10.20	20.10	3.666	147	17.93	
CD24	7				3	10.00	20.00	3.502	137	17.44	
CD21	14	20/12/2021	3/1/2022	1	10.00	20.00	3.52	144	18.29	18.6	
CD21	14			2	10.00	20.00	3.513	146	18.56		
CD21	14			3	10.10	20.00	3.511	151	18.81		
CD24	14		3/1/2022	3/1/2022	1	10.10	20.00	3.517	162	20.17	20.4
CD24	14				2	10.00	20.10	3.518	161	20.46	
CD24	14				3	10.00	20.00	3.515	163	20.71	

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

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

Comanche Uno

Origen		Comanche Uno									
Ensayado por		Lizbeth López									
Norma		NTE INEN 1573:2010									
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo				
				#	Φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio	
CU21	7	4/1/2022	11/1/2022	1	10.10	19.90	3.77	121	15.10	15.07	
CU21	7			2	10.10	20.10	3.90	122	15.20		
CU21	7			3	10.00	20.00	3.85	117	14.90		
CU21	14		18/01/2022	18/01/2022	1	10.10	20.10	3.88	143	17.80	17.93
CU21	14				2	10.10	20.30	3.79	143	17.90	
CU21	14				3	10.30	20.10	3.86	151	18.10	
CU21	21		25/01/2022	25/01/2022	1	10.20	20.00	3.82	163	19.90	20.00
CU21	21				2	10.30	19.90	3.76	167	20.10	
CU21	21				3	10.10	20.10	3.75	160	20.00	
CU21	28		1/2/2022	1/2/2022	1	10.20	20.30	3.86	177	21.70	21.87
CU21	28				2	10.10	20.20	3.83	175	21.90	
CU21	28				3	10.20	20.10	3.83	180	22.00	
CU24	7	4/1/2022	11/1/2022	1	10.20	20.10	3.82	141	17.20	17.17	
CU24	7			2	10.10	20.20	3.83	136	17.00		
CU24	7			3	10.20	19.90	3.82	141	17.30		
CU24	14		18/01/2022	18/01/2022	1	10.10	20.30	3.86	167	20.80	20.77
CU24	14				2	10.20	20.40	3.91	168	20.60	
CU24	14				3	10.10	20.10	3.92	167	20.90	
CU24	21		25/01/2022	25/01/2022	1	10.20	20.30	3.81	193	23.60	23.50
CU24	21				2	10.30	19.90	3.82	195	23.40	
CU24	21				3	10.20	20.20	3.81	192	23.50	
CU24	28		1/2/2022	1/2/2022	1	10.30	20.10	3.90	201	24.30	24.30
CU24	28				2	10.20	20.20	3.83	198	24.20	
CU24	28				3	10.10	20.10	3.83	195	24.40	

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

Comanche Dos

Origen			Comanche Dos								
Ensayado por			Lizbeth López								
Norma			NTE INEN 1573:2010								
ID	Edad días	Fecha elab	Fecha Rotura	Datos de cilindros			Resultados ensayo				
				#	φ(cm)	h(cm)	w(Kg)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo Promedio	
CD21	7	4/1/2022	11/1/2022	1	10.10	19.90	3.70	114	14.20	14.07	
CD21	7			2	10.20	20.00	3.74	114	13.90		
CD21	7			3	10.00	20.00	3.72	111	14.10		
CD21	14		18/01/2022	18/01/2022	1	10.20	20.00	3.76	139	17.00	17.23
CD21	14				2	10.20	20.30	3.69	141	17.30	
CD21	14				3	10.00	20.30	3.68	137	17.40	
CD21	21		25/01/2022	25/01/2022	1	10.30	20.10	3.69	165	19.80	19.70
CD21	21				2	10.20	20.30	3.72	160	19.60	
CD21	21				3	10.30	19.90	3.76	164	19.70	
CD21	28		1/2/2022	1/2/2022	1	10.10	20.30	3.75	168	21.00	21.17
CD21	28				2	10.30	20.10	3.70	177	21.30	
CD21	28				3	10.10	20.00	3.83	170	21.20	
CD24	7	4/1/2022	11/1/2022	1	10.20	20.30	3.83	136	16.70	16.87	
CD24	7			2	10.10	20.10	3.65	135	16.90		
CD24	7			3	10.20	20.10	3.71	139	17.00		
CD24	14		18/01/2022	18/01/2022	1	10.20	20.30	3.72	166	20.30	20.43
CD24	14				2	10.00	19.90	3.70	160	20.40	
CD24	14				3	10.00	20.00	3.68	162	20.60	
CD24	21		25/01/2022	25/01/2022	1	10.30	20.30	3.79	194	23.30	23.37
CD24	21				2	10.30	20.20	3.81	197	23.60	
CD24	21				3	10.30	20.30	3.72	193	23.20	
CD24	28		1/2/2022	1/2/2022	1	10.30	20.10	3.80	202	24.10	24.23
CD24	28				2	10.00	20.10	3.75	190	24.20	
CD24	28				3	10.30	20.10	3.83	203	24.40	

Anexo fotográfico

Anexo fotográfico



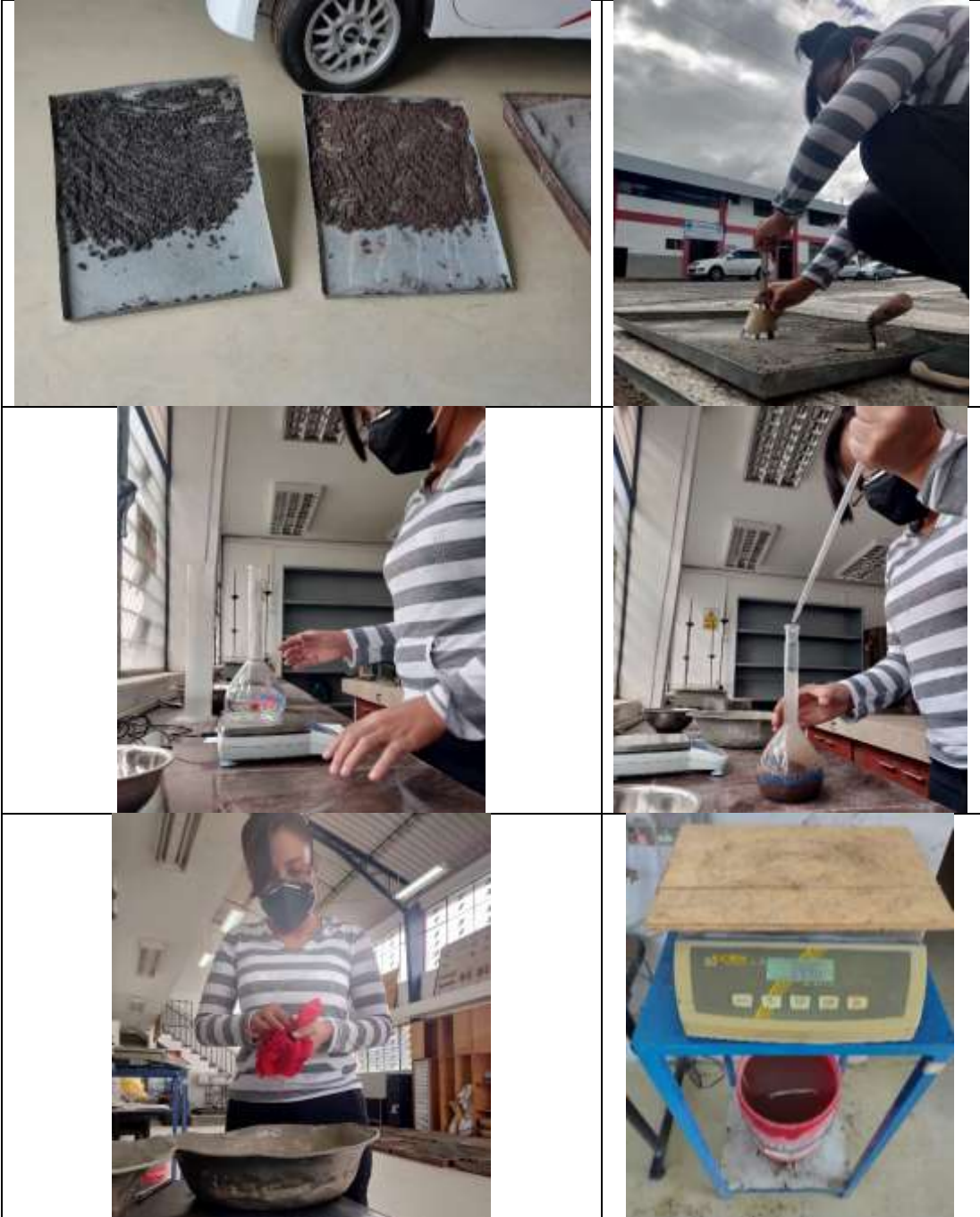
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO



GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS



DENSIDAD REAL DE LOS AGREGADOS



DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA



ENSAYOS REALIZADOS EN EL HORMIGÓN

