

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

**DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD  
REPRESENTATIVO PARA LA PROVINCIA DE PICHINCHA, EN MUESTRAS DE  
CILINDROS DE HORMIGÓN CON MATERIALES DE LA MINA DE SAN  
ANTONIO DE PICHINCHA.**

AUTORES:

ISRAEL JIMÉNEZ

ALEXIS VALLADARES

DIRECTOR: ING. ESTUARDO PÁEZ

QUITO-ECUADOR, 2019

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios y a la vida, por ponerme en el lugar en el que estoy y llenarme siempre de bendiciones a lo largo de mi vida universitaria, por estar conmigo siempre en las buenas y en las malas.

A mis padres, Gloria y Fabián, los cuales han sido un ejemplo a lo largo de toda mi vida y en quienes sé que voy a poder confiar siempre, quienes me han demostrado que con sacrificio cualquier cosa en el mundo es posible, son mi gran ejemplo a seguir ya que han sido constantes a lo largo de toda mi vida, gracias por su amor y paciencia.

A mis hermanos que han estado pendientes a lo largo de toda mi carrera universitaria y en especial en este último peldaño, mi trabajo de titulación.

A mis abuelos Marco y Ligia porque han sido un soporte desde el primer hasta el último día de toda mi carrera, quienes son un gran ejemplo para toda mi familia y pese a su desgaste diario nos siguen demostrando su amor a cada uno de nosotros.

A mis amigos en general por crear un grupo no solo de estudio, si no de convivir el día a día dentro de la universidad y crear lindos recuerdos los cuales no los olvidaré nunca.

Al Laboratorio de Materiales de Construcción de la PUCE por permitirnos realizar los ensayos necesarios para realizar a cabo esta investigación.

A los ingenieros Estuardo Páez, Patricio Castro y Mauricio Cely por sus conocimientos y tiempo impartidos a lo largo de la investigación.

Sebastián

## **DEDICATORIA**

A todas la personas que me acompañaron a lo largo de mi vida universitaria y en especial en este mi trabajo de titulación.

A quienes supieron entender lo difícil y extenso que fue realizar esta investigación, fueron días de mucho sacrificio los cuales no los podíamos posponer, nos teníamos que regir al cronograma el cual no lo podíamos reajustar.

Sebastián

## **AGRADECIMIENTO**

Son muchas personas a quien quiero agradecer por contribuir al proceso y culminación de este trabajo. En primer lugar, al Ing. Estuardo Páez director de la tesis, por guiarnos y apoyarnos en cada etapa del proyecto, a nuestros correctores Patricio Castro y Mauricio Cely, que han aportado sus conocimientos y los difundieron sobre nosotros. A la Universidad Católica y al Laboratorio de Materiales, Por apoyar en la investigación y forjarnos como profesionales correctos. A mi familia por ser el soporte y fuerza para luchar por mis sueños  
Gracias sinceras.

Israel

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis  
a mi familia y en especial a mi madre,  
a mi familia, porque siempre han estado  
a mi lado apoyando y velando por mi bienestar,  
por su confianza y amor que me transmiten,  
a mi madre, Martha Veloz que con su amor  
a guiado mi camino y ha sido apoyo incondicional  
para continuar en cada paso dado, por ser parte de mi vida,  
que tuvo momentos duros pero fuiste quien hizo  
parecerlo más fáciles y por aquellos  
momentos buenos que compartimos.  
Padre madre, hermanos y sobrinos los amo con mi vida.

Israel

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	- 1 -
JUSTIFICACIÓN .....	- 2 -
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	- 3 -
OBJETIVOS .....	- 4 -
Objetivo general.....	- 4 -
Objetivos Específicos.....	- 4 -
METODOLOGÍA.....	- 5 -
CAPÍTULO I .....	- 6 -
1.MARCO CONCEPTUAL .....	- 6 -
1.1.HORMIGÓN .....	- 6 -
1.1.1.Propiedades del hormigón.....	- 7 -
1.2.MATERIALES PÉTREOS.....	- 15 -
1.2.1.Propiedades de los Materiales.....	- 17 -
1.3.CEMENTO .....	- 20 -
1.3.1.Propiedades del cemento .....	- 20 -
1.3.2.Propiedades Físicas del Cemento.....	- 21 -
CAPÍTULO II .....	- 22 -
2.1. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS DE LA MINA FUCUSUCU III UBICADA EN LA PARROQUIA DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA SECTOR NORTE DE LA CAPITAL. ....	- 22 -
2.1.1 ORIGEN DE LOS MATERIALES .....	- 22 -
2.1.2. MINA FUCUSUCU III .....	- 23 -
2.2 ENSAYO DE LOS AGREGADOS.....	- 26 -
2.2.1. PESO UNITARIO .....	- 27 -
2.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA .....	- 27 -
2.2.3 CONTENIDO DE HUMEDAD .....	- 29 -
2.2.4 ABSORCIÓN .....	- 30 -
2.2.5 GRANULOMETRÍA.....	- 31 -
2.2.5.1. AGREGADO FINO. ....	- 31 -
2.2.5.2. AGREGADO GRUESO.....	- 32 -
2.2.6 ABRASIÓN.....	- 34 -
2.2.7. TERRONES DE ARCILLA. ....	- 35 -
2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO.....	- 36 -
2.3.1 Densidad del cemento. ....	- 36 -

CAPÍTULO III .....	- 37 -
3.1 Dosificación al Peso .....	- 37 -
3.1.1 Dosificación al peso método ACI.....	- 37 -
3.1.1.1 Selección del asentamiento. ....	- 37 -
3.1.1.2 Selección del tamaño máximo nominal del agregado. ....	- 38 -
3.1.1.3 Estimación de la cantidad agua de mezcla y contenido de aire.....	- 38 -
3.1.1.3 Relación agua cemento A/C. ....	- 39 -
3.1.1.4 Cantidad de cemento. ....	- 40 -
3.1.1.5 Cantidad de agregados grueso y fino. ....	- 40 -
3.1.1.6 Cantidad de agua de mezcla. ....	- 42 -
3.2 Ensayos en el hormigón Fresco .....	48
3.2.1 Aire contenido en el Hormigón .....	48
3.2.2 Asentamiento .....	48
3.2.3 Peso unitario .....	48
CAPÍTULO 4 .....	50
4.1 ROTURA DE CILINDROS .....	50
4.1.1 Preparación de la muestra: .....	50
4.1.2 Ensayo para la determinación del módulo de elasticidad según la norma ASTM C469/C469M-14. ....	52
4.2 Análisis de resultados.....	54
4.3 Determinación de la ecuación del Módulo de elasticidad .....	56
CAPÍTULO 5 .....	58
CONCLUSIONES .....	58
RECOMENDACIONES .....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXOS .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla. 1.1: Consistencia de Hormigón Fresco.
- Tabla 2.1: Ensayos de Laboratorio para Materiales Pétreos.
- Tabla 2.2: Peso Unitario de los Agregados.
- Tabla. 2.3: Gravedad Específica Y Absorción de los Agregados.
- Tabla. 2.4: Contenido de Humedad de los Agregados.
- Tabla. 2.5: Absorción de los Agregados.
- Tabla. 2.6: Granulometría de los Agregados.
- Tabla. 2.7: Abrasión de los Agregados.
- Tabla. 2.8: Terrones de Arcilla en los Agregados Naturales.
- Tabla. 2.9: Densidad del Cemento.
- Tabla 3.1: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.
- Tabla 3.2: Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado.
- Tabla 3.3: Relación A/C y Resistencia a la compresión del hormigón.
- Tabla 3.4: Relación Agua-Material Cementante y Resistencia a Compresión del Concreto.
- Tabla 3.5: Resumen de materiales para dosificación 210 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Tabla 3.6: Resumen de materiales para dosificación 240 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Tabla 3.7: Resumen de materiales para dosificación 280 Kg/cm<sup>2</sup>
- Tabla 3.8: Resultados cilindros prediseño. (Dos muestras para cada resistencia).
- Tabla 3.9: Promedio de la relación A/C cilindros de prueba.
- Tabla 3.10: Resumen de materiales para dosificación 210 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Tabla 3.11: Resumen de materiales para dosificación 240 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Tabla 4.1: Resumen de promedios corregidos estadísticamente.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribución Normalizada Campana de Gauss de los Ensayos de Cilindros de Hormigón.

Figura 1.2: Diagrama Deformación vs Tiempo.

Figura 1.3: Diagrama Esfuerzo vs Deformación del Hormigón.

Figura. 1.4: Límite de Sustancias Dañinas para Agregado Fino.

Figura. 1.5: Granulometría Bien Gradada.

Figura. 1.6: Límite de Sustancias Dañinas para Agregado Grueso.

Figura. 1.7: Granulometría para Gravas.

Figura. 1.8: Tamaño Máximo Del Agregado.

Figura. 1.9: Tipos De Cemento.

Figura. 2.1: Coordenadas Utm "FUCUSUCU III".

Figura. 2.2: Estratigrafía Cantera FUCUSUCU III.

Figura. 2.3: Limite Granulométrico Para Agregados Finos.

Grafica 2.1: Curva Granulométrica Agregado Fino Mina FUCUSUCU III

Figura. 2.4: Limite Granulométrico Para Agregados Gruesos.

Grafica 2.2: Curva Granulométrica Agregado Grueso Mina FUCUSUCU III.

Grafico 3.1: Resistencia Vs Relación Agua Cemento Cilindros De Prueba Muestras #1 (Edad 28 Días).

Grafico 3.2 Resistencia Vs Relación Agua Cemento Cilindros De Prueba Muestras #2 (Edad 28 Días).

Grafica 4.1: Diagrama De Desplazamientos.

Gráfica 4.2: Esquema de fallas típicas de muestras de hormigón.

Gráfica 4.3: Diagrama: Esfuerzo Vs Deformación Unitaria.

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Módulos de Elasticidad del Hormigón

Anexo B.1: Cantera FUCUSUCU III

Anexo B.2: Peso Unitario del Agregado

Anexo B.3: Gravedad Específica y absorción de los Agregados

Anexo B.4: Contenido de Humedad del Agregado

Anexo B.5: Absorción de los Agregados

Anexo B.6: Granulometría de los Agregados

Anexo B.7: Abrasión del Agregado Grueso

Anexo B.8: Terrones de Arcilla en Agregados

Anexo B.9: Densidad Absoluta del Cemento

Anexo C: Tabla de Cuantías de la Distribución t

Tabla D.1: Cilindros P1-P20 Resistencia 240 – 7 Días.

Tabla D.2: Cilindros P21-P40 Resistencia 240 – 14 Días.

Tabla D.3: Cilindros P41-P60 Resistencia 240 – 28 Días.

Tabla D.4: Cilindros S1-P20 Resistencia 240 – 7 Días.

Tabla D.5: Cilindros S21-P40 Resistencia 240 – 14 Días.

Tabla D.6: Cilindros S41-P60 Resistencia 240 – 28 Días.

Tabla D.7: Cilindros L1-L20 Resistencia 210 – 7 Días.

Tabla D.8: Cilindros L21-L40 Resistencia 210 – 14 Días.

Tabla D.9: Cilindros L41-L60 Resistencia 210 – 28 Días.

Tabla D.10: Cilindros X1-X20 Resistencia 210 – 7 Días.

Tabla D.11: Cilindros X21-X40 Resistencia 210 – 14 Días.

Tabla D.12: Cilindros X41-X60 Resistencia 210 – 28 Días.

Tabla D.13: Datos estadísticos para muestras P1-P20.

Tabla D.14: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.13 (Muestras P1-P20).

Tabla D.15: Datos Estadísticos Para Muestras P21-P40.

Tabla D.16: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.15 (Muestras P21-P40).

Tabla D.17: Datos Estadísticos Para Muestras P41-P60.

Tabla D.18: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.17 (Muestras P41-P60).

Tabla D.19: Datos Estadísticos Para Muestras S1-S20.

Tabla D.20: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.19 (Muestras S1-S20).

Tabla D.21: Datos Estadísticos Para Muestras S21-S40.

Tabla D.22: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.21 (Muestras S21-S40).

Tabla D.23: Datos Estadísticos Para Muestras S41-S60.

Tabla D.24: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.23 (Muestras S41-S60).

Tabla D.25: Datos Estadísticos Para Muestras L1-L20.

Tabla D.26: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.25 (Muestras L1-L20).

Tabla D.27: Datos Estadísticos Para Muestras L21-L40.

Tabla D.28: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.27 (Muestras L21-L40).

Tabla D.29: Datos Estadísticos Para Muestras L41-L60.

Tabla D.30: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.29 (Muestras L41-L60).

Tabla D.31: Datos Estadísticos Para Muestras X1-X20.

Tabla D.32: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumplen El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla 4.31 (Muestras X1-X20).

Tabla D.33: Datos Estadísticos Para Muestras X21-X40.

Tabla D.34: Datos Del Factor Del Módulo De Elasticidad Que Cumple El Rango Entre Los Límites Superior E Inferior De La Tabla D.33 (Muestras X21-X40).

Tabla D.35: Datos Estadísticos Para Muestras X41-X60.

Tabla D.36: Datos del factor del módulo de elasticidad que cumple el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.35 (Muestras X41-X60).

## INTRODUCCIÓN

Entre las principales propiedades mecánicas del hormigón se encuentra la elasticidad, aquella que permite que el hormigón después de haber sufrido deformaciones por acción de fuerzas externas que estén actuando sobre él regrese a su estado normal. Si la deformación sobrepasa el rango elástico esta deformación es permanente, y provocará cambios en sus propiedades. Si el esfuerzo al que está sometido el material es mayor que sus fuerzas internas este empieza a micro fisurarse hasta llegar a su falla. Esta relación entre esfuerzos y deformaciones en el rango elástico se los denominan Modulo de elasticidad, y es de vital importancia, ya que caracteriza el comportamiento del hormigón.

El módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo que se aplica, sobre la deformación unitaria, representando la rigidez del material ante la carga sometida, y está estrictamente aplicado al rango elástico del material.

El objetivo principal de la disertación es encontrar aquella ecuación que permita definir el valor adecuado del Módulo Elástico del hormigón utilizando material de la zona. Evitando errores comunes al realizar análisis y evaluación de estructuras con ecuaciones que no corresponden a nuestros materiales.

Con la intención de obtener una ecuación zonal para el norte del Distrito Metropolitano de Quito, se ha sometido a investigación al material pétreo distintivo del sector, utilizando los materiales provenientes de las minas de San Antonio de Pichincha.

Por tal motivo, se realizó la evaluación de las propiedades mecánicas del material grueso y fino, para posteriormente realizar la dosificación, y así, alcanzar dos tipos de resistencias comunes en la construcción de nuestro país que son; de 210 y 240 Kg/cm<sup>2</sup>, finalizando con los ensayo de Resistencia a la Compresión y Módulo de Elasticidad a 240 probetas de hormigón, obteniendo así una muestra representativa que nos permitan obtener un resultado satisfactorio.

## JUSTIFICACIÓN

El módulo de elasticidad del hormigón tiene gran importancia para el análisis y diseño de las estructuras de hormigón armado ya que es un parámetro fundamental para la modelación de las edificaciones, así también, para analizar su comportamiento frente a diferentes solicitaciones. Dicho módulo es una propiedad del hormigón basada en las características de los materiales pétreos con lo que se ha realizado el hormigón (lugar donde han sido extraídos) y del cemento utilizado en la formación del hormigón.

En la mayoría de los casos se modela y realiza un análisis de edificaciones con coeficientes de módulos de elasticidad que han sido obtenidos en libros o extraídos de normas que no corresponden a nuestro país y mucho menos al material pétreo disponible en nuestro medio. Por lo cual tener datos exactos del módulo son claves para una real y correcta evaluación de las estructuras en nuestro medio.

En la actualidad una de las minas que abastecen de material pétreo a la provincia de Pichincha son las minas de San Antonio de Pichincha y nuestros constructores poco o nada saben de las características del material dando como resultado hormigones ineficientes, por lo cual, es importante el análisis de los materiales de estos yacimientos y posteriormente mediante cilindros de hormigón simple el análisis de sus propiedades físico-mecánicas, para de esta forma fortalecer la información que dispone nuestro medio para el diseño y análisis de edificaciones.

Debido al origen de las rocas se ha descrito a las de San Antonio como una roca ígnea fracturada, a pesar de esto, el material es uno de los más usados dentro del mercado de la construcción en la provincia de Pichincha, sobre todo los sectores del norte de Quito, por tanto, el conocimiento de las propiedades de dicho material como son su Módulo de Elasticidad permitirá controlar y disminuir los errores constructivos.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Luego del desastre ocurrido el 16 de abril del 2016, en las estructuras de muchas ciudades costeras del país, a causa del terremoto cuyo epicentro se ubicó en la ciudad de Muisne (INTITUTO GEOFÍSICO, 2016), ha alarmado a las autoridades estatales por la vulnerabilidad de las estructuras a causa de los incumplimientos en las normativa de construcción, por tal motivo hay una gran importancia para plantear métodos y coeficientes adecuados a nuestra realidad

Debido al crecimiento poblacional con alrededor de 2'576.287 habitantes, Quito en las últimas décadas ha tenido un desarrollo considerablemente importante, con edificaciones y proyecto demandantes de una capital, y tomando en cuenta que Quito se encuentra en una zona sísmica vulnerable, por las fallas geológicas que la atraviesan, demuestra la necesidad de realizar un análisis de las propiedades de los agregados, es decir conocer el módulo de elasticidad con el cual han sido y serán elaboradas las edificaciones que albergan y dan servicio a los ciudadanos de la capital, por tal razón, es de vital importancia evitar dichas amenazas con controles normativos técnicamente adecuados a las edificaciones que atenderían la vida de los capitalinos.

Pera realizar un correcto análisis de las edificaciones, se debe tener toda la información de los materiales con los cuales han sido construidas las edificaciones, para así, dar una respuesta efectiva y real de la vulnerabilidad de las edificaciones.

Por tanto, tener coeficientes adecuados y reales de las propiedades de los materiales, principalmente del módulo de elasticidad, dentro del laboratorio, permitirán tener un control correcto en los cálculos de diseño y análisis de una obra civil. En relación a lo descrito anteriormente, se debe realizar investigaciones que determinen realistamente el módulo de elasticidad representativo del hormigón para cada una de las resistencias con las cuales se debe diseñar.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general.**

- Determinar la ecuación del Módulo de Elasticidad representativo del Hormigón Simple con materiales pétreos de las minas de San Antonio de Pichincha para zonificar el nororiente de la provincia de Pichincha con un coeficiente adecuado a la realidad constructiva del País.

### **Objetivos Específicos.**

- Obtener las propiedades físico-mecánicas de los materiales finos y gruesos de la mina FUCUSUCU III, ubicada en San Antonio de Pichincha.
- Analizar y comparar el coeficiente obtenido en este estudio para el módulo estático de elasticidad de la zona nororiente de Pichincha con los valores propuestos en por el ACI 318.

## METODOLOGÍA

Para la obtención del módulo de elasticidad del hormigón se realizaron cuatro grupos, en cada uno de estos se obtuvo 60 cilindros, por cada una de las resistencias respectivamente  $210 \frac{kg}{cm^2}$  y  $240 \frac{kg}{cm^2}$ , se dividió a cada parada en 3 grupos, de 20 cilindros cada una, teniendo en total 6 grupos por cada resistencia como nos indica la siguiente tabla:

RESISTENCIA	(N°) PARADA	EDAD	DENOMINACIÓN	CILINDROS
210 Kg/cm <sup>2</sup>	1 (L)	7 DÍAS	L1-L20	20
		14 DÍAS	L21-L40	20
		28 DÍAS	L41-L60	20
210 Kg/cm <sup>2</sup>	2 (X)	7 DÍAS	X1-X20	20
		14 DÍAS	X21-X40	20
		28 DÍAS	X41-X60	20
240 Kg/cm <sup>2</sup>	3 (P)	7 DÍAS	P1-P20	20
		14 DÍAS	P21-P40	20
		28 DÍAS	P41-P60	20
240 Kg/cm <sup>2</sup>	4 (S)	7 DÍAS	S1-S20	20
		14 DÍAS	S21-S40	20
		28 DÍAS	S41-S60	20
TOTAL				240

Este total de 240 cilindros fueron ensayados a sus edades respectivas obteniendo su respectivo módulo de elasticidad, el cual dependiendo de su resistencia y de su edad se tabuló y se obtuvo el factor por el cual hay que multiplicar a la raíz de su resistencia, como nos indica la ecuación propuesta por la ACI (American Concrete Institute).

$$E = factor * \sqrt{f'c} \Rightarrow factor = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO CONCEPTUAL.

### 1.1. HORMIGÓN

El hormigón es una piedra artificial, producto de la mezcla de materiales pétreos como son: agregados finos y agregado grueso, más la incorporación de aglomerante y agua en cantidades dosificadas para alcanzar una resistencia establecida. Este material de construcción se diseña y produce de acuerdo a especificaciones y normas que permitan obtener características de durabilidad, compresión, impermeabilidad, dureza, peso específico, entre otras. Y de requerimiento de obra como son velocidad de fraguado, asentamiento, economía, trabajabilidad, etc., de acuerdo a su uso y aplicación.

Como parte primordial de la mezcla del hormigón sobresalen los agregados finos y gruesos, por la cantidad que representan dentro de la mezcla y debido a que también incorporan y establecen las propiedades más importantes del hormigón que son bases para el diseño y análisis de estructuras.

Dentro de las propiedades del hormigón para el diseño y análisis están su Resistencia y Módulo de Elasticidad, que dependen principalmente del tamaño, peso unitario, resistencia a la abrasión, entre otros. El hormigón tiene alta resistencia a los esfuerzos de compresión frente a los esfuerzos de tracción, flexión y corte; por tanto, cuando proyectamos una edificación, es indispensable realizar el análisis de las propiedades de los materiales con los cuales fabricamos nuestro concreto.

El Cemento en mezcla con agua adquiere una resistencia a la compresión propia, que no es la misma que la del hormigón fabricado con dicho aglomerante, esto es porque al convertirlo en hormigón se le adiciona áridos y agua. Fundamentalmente la incorporación de agregados se da por dos razones, la primera es debido a que el árido tiene propiedades mecánicas que complementan a las características del hormigón. "Los agregados, en combinación con la pasta fraguada, también proporcionan parte de la resistencia mecánica característica a la compresión debido a que, estos tienen una resistencia propia que aporta al concreto como masa endurecida" (SANCHES, 2001, pág. 23). La segunda razón es debido a que estos agregados actúan como material de relleno haciendo económica la mezcla.

El aglomerante (cemento Portland), por sí solo no actúa, requiere de agua para que suceda una reacción química que una todos los materiales y fragüe en un tiempo determinado, esta relación Agua-Cemento es la fundamental para alcanzar una resistencia a la compresión. Cabe mencionar, que esta reacción química produce calor por lo que el hormigón necesita ser curado para que no se produzca fisuras, agrietamientos y alcance su resistencia preestablecida.

### **1.1.1. Propiedades del hormigón**

“Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla y de las condiciones de humedad y temperatura durante los procesos de fabricación, colocación y fraguado”. (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 6)

El concreto tiene dos estados fundamentales, el estado fresco y el estado fraguado y en cada uno de estos, sus propiedades son distintas, y dependen de su puesta en obra y uso respectivamente.

El estado fresco o plástico, se da cuando finaliza el proceso de mezcla de todos los componentes que integran el hormigón para ser puesto en obra, y admite ser manipulado, característica primordial para ser trabajado y moldearlo adquiriendo la forma o apariencia prevista, mientras que el estado fraguado o endurecido no puede ser manipulado adquiriendo resistencias y características impermeables que permiten hermetizar la estructura y soportar los esfuerzos internos y externos.

#### **1.1.1.1. Hormigón Fresco.**

El hormigón fresco es una masa plástica producto de la mezcla de los componentes que la integran. Desde el primer momento de amasado, se producen reacciones químicas que serán las que condicionan las características físicas y mecánicas del hormigón fresco y posteriormente del endurecido.

Las propiedades fundamentales en el estado fresco justo desde el instante en que finaliza el amasado son:

- Manejabilidad
- Consistencia
- Homogeneidad
- Segregación
- Exudación
- Densidad.

#### **MANEJABILIDAD.**

Es la facilidad con la que el hormigón permite ser trabajado, es decir, puesto en obra o destino con las herramientas de compactación que se disponga y terminado sin que pierda homogeneidad

El método indirecto que usualmente se usa para determinar el grado de manejabilidad es el ensayo de Asentamiento del Cono de Abrams. (Norma ASTM C-143), tomando la medida de descenso que se ha producido en la masa, podemos decir que mientras menor sea el asentamiento mayor será el trabajo requerido para ponerlo en obra. Según afirman los autores: “Los asentamientos menores a 2 pulg. (5 cm.), corresponden a hormigones poco trabajables; así: asentamientos entre 3 pulg. (7.5 cm.) Y 5 pulg. (12.5 cm.) Corresponden a hormigones trabajables y, asentamientos superiores a 6 pulg. (15 cm.) Son característicos de hormigones muy trabajables” (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 8).

## CONSISTENCIA.

Es la propiedad del hormigón fresco que denota la capacidad para deformarse y en efecto ocupar todos los espacios del molde donde será vertido.

Una consistencia inadecuada puesta en obra, puede provocar la aparición de oquedades, zonas sin rellenar, porosidad, armadura sin cubrir, segregaciones, etc. La consistencia del hormigón fresco depende de: La cantidad de agua de amasado empleada, la cantidad y grado de finura del cemento, La granulometría y forma de los áridos: o Una granulometría continua y ajustada a la curva “IDEAL” de Fuller o Bolomey. o La forma redonda de los áridos, mejoran la capacidad de deformación del hormigón fresco, y puesta en obra, será fácil su manejo. (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012)

La consistencia se mide con el ensayo de Asentamiento del cono de abrams. (Norma ASTM C-143), y es el valor del descenso de la masa respecto a la superficie del cono.

Tabla. N° 1.1: CONSISTENCIA DE HORMIGÓN FRESCO.

TIPO DE CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	TOLERANCIA
SECA	0-2	0
PLÁSTICA	3-5	±1
BLANDA	6-9	±1
FLUIDA	10-15	±2
LIQUIDA	16-20	±2

En: Modulo Estático de Elasticidad del Hormigón. (Tabla 2.1. Pag. 10). (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012)

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/245/1/T-UCE-0011-8.pdf>

## HOMOGENEIDAD.

(Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012) Afirman.

Es la propiedad que tiene un hormigón para que sus componentes se distribuyan regularmente en la masa (En una sola amasada).

Depende:

- Buen amasado. (Uniforme)
- Buen transporte. (En el tiempo previsto)
- Buena puesta en obra. (Condiciones adecuadas para colocar el hormigón en sitio)

Se pierde la homogeneidad por tres causas:

- Irregularidad en el amasado.
- Exceso de agua.

## **SEGREGACIÓN.**

“La segregación está definida como la descomposición mecánica del hormigón fresco en sus partes constituyentes” (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 13). Lo que produce una separación del agregado grueso con el mortero, resultando en un hormigón no homogéneo de baja resistencia.

## **EXUDACIÓN.**

Es producto de la a floración de lechada en la superficie de la mezcla debido a que el material tiende a sedimentarse y por peso la lechada asciende.

Cuando la exudación es excesiva, debe prestarse mayor atención a la granulometría y a la forma del agregado fino. Una forma de controlar la exudación es el empleo de agregado fino, adecuadamente graduado, con presencia de los tamaños menores en las proporciones adecuadas; y, un control más cuidadoso son factores que contribuyen a la reducción de la exudación. (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 12)

## **DENSIDAD.**

Es la relación entre la masa de la mezcla y su volumen. (García, 2013, pág. 10) Afirma: “Es un índice que permite determinar si el hormigón está dosificado según las proporciones previstas, si se ha producido falta de homogeneidad en la masa separándose o acumulándose los agregados, o si la masa acumula excesivo aire ocluido en el proceso de amasado y colocación en obra”.

### ***1.1.1.2. Hormigón Endurecido.***

El hormigón endurecido es el producto de un proceso químico que se da a lo largo del fraguado de la masa, en el cual la mezcla adquiere resistencia para soportar esfuerzos. “El hormigón experimenta un proceso de endurecimiento progresivo que lo transforma de material plástico en sólido, producido por un proceso físico - químico complejo de larga duración” (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 15).

La resistencia que adquiera el hormigón endurecido dependerá de su edad, del curado, de la temperatura a la que se expone y por supuesto de la naturaleza de sus elementos que lo conforman.

Las propiedades del hormigón endurecido se las divide en Físicas, Químicas y Mecánicas.

Propiedades Físicas.

- Densidad
- Retracción
- Permeabilidad

Propiedades Mecánicas

- Resistencia a la Compresión
- Resistencia a la Tracción
- Resistencia a la Flexión
- Deformabilidad
- Módulo de Elasticidad
- Resistencia al Desgaste

#### Propiedades Químicas

- Durabilidad.

### **Densidad.**

La densidad o Peso Unitario del Hormigón, es la relación que existe entre el peso del hormigón endurecido y la de volumen absoluto

Para los hormigones convencionales formados por materiales granulares provenientes de rocas no mineralizadas de la corteza terrestre su valor oscila entre 2,20 T/m<sup>3</sup> y 2,70 T/m<sup>3</sup>. También, el peso unitario experimenta ligeras variaciones con el tiempo, provenientes de la evaporación del agua de amasado y pueden significar una variación de hasta alrededor de un 7% de su valor inicial. (García, 2013, pág. 18)

Podemos clasificar a los hormigones de acuerdo a su densidad por:

Hormigón peso ligero: menores a 2 ton/m<sup>3</sup>

Hormigón pesado: superiores a 2.6 ton/m<sup>3</sup>

Hormigón de peso normal: entre 2 – 2.6 ton/m<sup>3</sup>

### **Retracción.**

Los hormigones presentan continuamente cambio de volumen producto de las variaciones de temperatura que hacen que se contraiga o se dilate el hormigón, este se da debido a que el hormigón internamente presenta más o menos vacíos o poros dentro de su estructura. Si el porcentaje de poros es mínimo este hormigón será más compacto y por tanto se contraerá o dilatara mínimamente, y al contrario si el grado de porosidad es mayor.

El hormigón que se mantiene continuamente húmedo se dilatará ligeramente, pero cuando se permite que se seque, el hormigón se contrae bruscamente. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por el secado, aumenta directamente con los incrementos de este contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de otros factores como: la cantidad de agregado empleado: las propiedades del agregado; tamaño y forma de la masa de hormigón; temperatura y humedad relativa del medio ambiente; método de curado, grado de hidratación y tiempo. (García, 2013, pág. 17)

## Permeabilidad.

La permeabilidad es la capacidad de permitir el paso de un fluido a través de los espacios vacíos que tenga la estructura de hormigón.

La hermeticidad, se define a menudo como la capacidad del hormigón de refrenar o retener el agua sin escapes visibles. La permeabilidad, se refiere a la cantidad de migración de agua a través del hormigón cuando el agua se encuentra a presión; o, a la capacidad del hormigón de resistir la penetración de agua u otras sustancias (líquido, gas, iones, etc.). Generalmente las mismas propiedades que convierten al hormigón menos permeable también lo vuelven más hermético. (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 16)

## Resistencia a la Compresión.

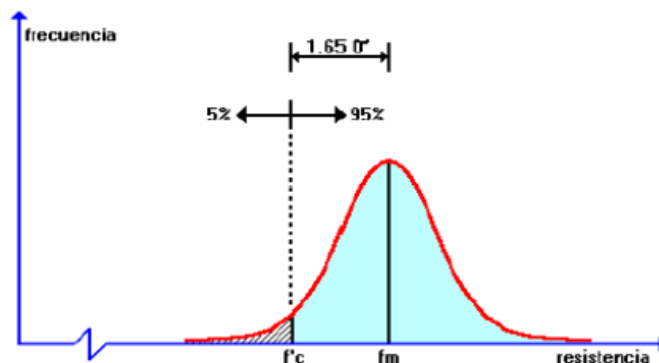
La resistencia a la compresión es la medida más habitual de desempeño que utilizan los arquitectos e ingenieros para el diseño de estructuras.

(García, 2013, pág. 21) Afirma: "La resistencia a la compresión se puede definir, como la máxima resistencia medida de un espécimen de hormigón o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en MPa y también en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>) a una edad de 28 días, se le designa con el símbolo  $f'_c$ ". También se puede realizar ensayos de resistencia a la compresión en probetas a 7 y 14 días de curado, cuando se requiere una estimación rápida de la resistencia máxima a la que llegará el hormigón.

La norma ASTM C31 especifica que los especímenes deben ser cilindros de concreto vaciado y fraguado en posición vertical, de altura igual a dos veces el diámetro, siendo el espécimen estándar de 6×12 pulgadas, ó de 4×8 pulgadas, para agragado que no exceda de 2 pulgadas su tamaño, es decir, en nuestras medidas especímenes de 15x30 cm o 10x20cm.

La resistencia a la compresión de un hormigón, utilizada en el diseño estructural,  $f'_c$  se mide en términos probabilísticos, definiéndose de esta manera que solamente un pequeño porcentaje de las muestras (5%), puedan tener resistencias inferiores a las especificadas, lo que da a lugar a la resistencia media de la muestra que siempre sea mayor que la resistencia característica. (Romo, 2008, pág. 13)

Figura N° 1.1. DISTRIBUCIÓN NORMALIZADA CAMPANA DE GAUSS DE LOS ENSAYO DE CILINDROS DE HORMIGÓN.



En: Temas de Hormigón Armado. (Romo, 2008, pág. 14)

La resistencia a la compresión está ligado a la relación agua - cemento (A/C) de la mezcla, a mayor relación A/C menor resistencia y a menor relación A/C mayor resistencia. La resistencia generalmente del hormigón esta entre los 210 Kg/cm<sup>2</sup> a 350 Kg/cm<sup>2</sup>, y hormigones de alta resistencia sobrepasa los 450 Kg/cm<sup>2</sup> y son usados generalmente en estructuras hidráulicas.

### **Resistencia a la Tracción.**

El hormigón tiene características buenas frente a esfuerzos de compresión, y una capacidad pobre o ineficiente para resistir esfuerzos de tracción, equivalentes a un 10 por ciento de su resistencia a la compresión, es por ello, que al hormigón se le coloca armadura de tracción para que le ayude a mejorar su comportamiento, utilizando generalmente barras de acero corrugadas embebidas dentro del hormigón para que trabajen conjuntamente y soporten las solicitaciones.

Para determinar la resistencia a la tracción se realiza generalmente el ensayo Brasileño (ASTM C 496) este ensayo se lo realiza en probetas de hormigón iguales a las del ensayo al a compresión, colocando los esfuerzo en todo lo largo del espécimen haciéndolo que falle a tracción.

$$f_{ti} = \frac{P}{\pi * l * d}$$

Donde:

$f_{ti}$ = Resistencia a la Tracción

P= Carga de Rotura

l= Altura del cilindro

d= Diámetro del cilindro

### **Resistencia a la Flexión.**

La resistencia a la flexión del hormigón, se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión, puede servir como índice comparativo de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión.

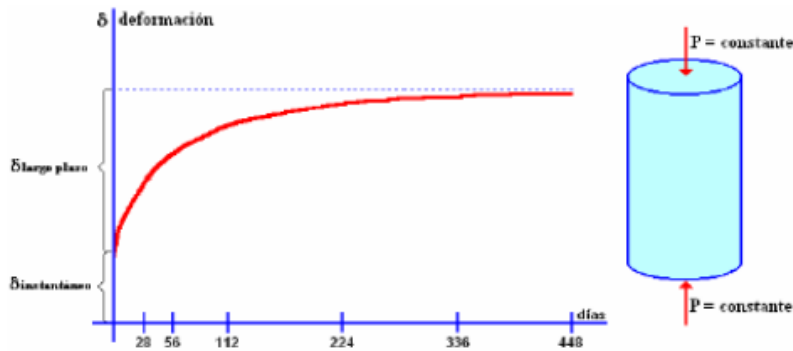
La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para un hormigón de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. (García, 2013, pág. 23)

### **Deformabilidad.**

Cuando el hormigón se somete a cargas de larga duración, el material tiene una deformación instantánea en el momento inicial de la carga, y una deformación

adicional a largo plazo como producto del flujo plástico del hormigón. La deformación a largo plazo depende de la resistencia del hormigón, y es comparativamente mayor cuando se utilizan hormigones de menor resistencia. (Romo, 2008, pág. 22)

Figura N° 1.2. DIAGRAMA DEFORMACIÓN VS TIEMPO.



En: Temas de Hormigón Armado. (Romo, 2008, pág. 22.)

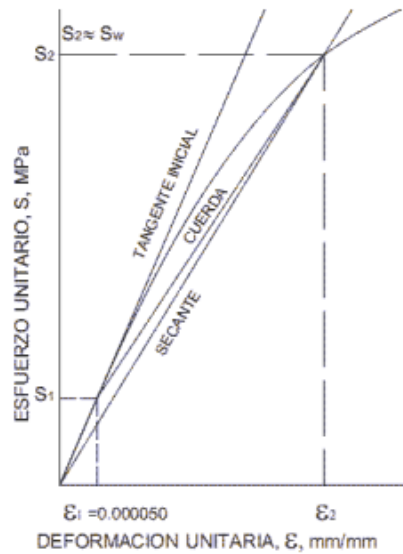
### Módulo de Elasticidad.

“El Módulo Estático de Elasticidad ( $E_c$ ), se define como una medida de rigidez que se obtiene de la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria correspondiente; el cual se encuentra por debajo del límite de elasticidad del material” (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 19).

El hormigón no es un material verdaderamente elástico, pero el hormigón que ha endurecido por completo y se ha cargado en forma moderada tiene una curva de esfuerzo de compresión-deformación que, en esencia, es una recta dentro del rango de los esfuerzos usuales de trabajo. (García, 2013, pág. 25)

Existen dos formas de encontrar en módulo de elasticidad del hormigón, una es trazando tangentes en un punto de la curva del diagrama esfuerzo vs deformación (modulo Tangente), o trazando cuerdas o secantes (modulo Secante). (Ver anexo A.1)

**Figura N° 1.3. DIAGRAMA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DEL HORMIGÓN.**



En: Módulo estático de elasticidad del hormigón, en base a su resistencia a la compresión:  $f'c = 21$  y  $28$  MPa. (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 20) <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/245/1/T-UC-0011-8.pdf>

La pendiente en el rango lineal de grafica toma el nombre de Módulo de Young o Modulo de Elasticidad del material simbolizándolo como E.

El Módulo Estático de Elasticidad es un parámetro que influye directamente en el cálculo y control de las deflexiones producidas en el hormigón, presentándose de esta manera, deflexiones instantáneamente y a lo largo del tiempo. Por lo anterior, el estudio y determinación de  $E_c$  propio de cada material y zona, colabora en la elaboración de proyectos civiles más seguros, eficientes y económicos. El Módulo de Elasticidad es diferente para distintas resistencias a la compresión del hormigón, y su valor se ve incrementado cuando la resistencia del hormigón es mayor. (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 20)

### **Modulo Tangente.**

“Es la relación esfuerzo vs Deformación de cada punto del rango elástico del hormigón, es decir, Su valor es variable en cada punto y viene medido por la inclinación de la tangente a la curva en dicho punto” (García, 2013, pág. 27).

$$E = \frac{\delta\sigma}{\delta s}$$

### **Módulo Secante.**

“Su valor es variable en cada punto y es medido por la inclinación de la recta que une el origen con dicho punto” (García, 2013, pág. 27).

Para la disertación se utiliza el modulo secante de elasticidad del hormigón ya que la recta comprendida entre el punto de origen y el 40% de la carga máxima forma parte del interior de la curva comprendida entre la esfuerzo y la deformación unitaria.

$$E = \frac{\sigma}{s}$$

Para hormigones de peso normal el ACI estiman el modulo  $E_c$ .

$$E_c = 0.14 * (\gamma)^{1.5} \sqrt{f'c} \quad (\text{Kg/cm}^2) \quad \text{ACI-02 8.5.1}$$

Donde  $\gamma$  es el peso específico del hormigona en  $\text{Kg/m}^3$

### ***Resistencia al desgaste***

Todas las estructuras por su uso lógicamente tienden a desgastarse en el transcurso del tiempo.

Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste está estrechamente relacionada con la resistencia y la compresión del hormigón. Un hormigón de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un hormigón de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación agua-cemento baja, así también un curado adecuado, son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado, también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando y esponjoso, con una superficie que ha sido tratada con liana de metal, es más resistente al desgaste que una que no lo ha sido (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012).

La norma ASTM C 418 es el método de prueba para evaluar la resistencia a la abrasión de las superficies del hormigón, simulando la acción abrasiva del agua o de tráfico. Pretendiendo desgastar los componentes menor resistentes del hormigón.

### **Durabilidad**

“La durabilidad del hormigón de cemento hidráulico; se define como su capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Un hormigón durable conservará su forma, calidad y funcionalidad originales al estar expuesto a su ambiente”. (Morales, Ojeda, Rodríguez, & Rosero, 2012, pág. 25)

Los materiales pétreos, así como el suelo donde está expuesto el hormigón o el agua que pueda circula cerca del mismo pueden contener minerales agresivos que ataquen las propiedades del hormigón y aumenten su potencial deterioro. Por tanto se debe comprobar dichas amenazas en el concreto para su satisfactorio uso.

### **1.2. MATERIALES PÉTREOS**

También llamados áridos naturales, gravas y arenas, son el principal elemento del hormigón ya que dependiendo de las características del mismo, aportan a la calidad del hormigón y a la economía. “La importancia de utilizar el tipo y la calidad adecuados de agregados, no debe

ser subestimada pues los agregados finos y gruesos ocupan de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% de Peso) " (imcyc, 2004, pág. 2).

Las gravas y arenas se obtienen de la trituración y tamización de la roca extraída de las canteras o ríos y que reúnan características óptimas para su disposición. "Los áridos que se emplean en concretos se obtienen mezclando tres o cuatro grupos de distintos tamaños para alcanzar una granulometría óptima" (Jiménez, García, & Morán, 2000, pág. 35).

Un hormigón de gran calidad tiene la menor cantidad de espacios vacíos en su estructura, por ello los áridos deben ocupar los espacios vacíos, y es recomendable tener una granulometría bien gradada, es decir, que tengan todos los tamaños posibles en porcentajes iguales

"Se denomina grava o árido grueso la fracción mayor de 4mm y arena o árido fino a la menor de 4mm." (Jiménez, García, & Morán, 2000) El tamaño del agregado cobra relevancia en su resistencia ya que con mayores tamaños de agregado se requerirá menor cantidad de agua y mayor cantidad de cemento para rellenar los espacio, el problema es compactar el agregado, pero si logramos obtener los medios para este fin obtendremos altas resistencias, siempre y cuando el agregado cumpla con las características acorde para ser utilizado.

Los agregados tienen diferente procedencia unos obtenidos en los ríos y otros obtenidos en canteras. A los materiales de río se los denomina cantos rodados y son por su formación más duros, compactos y limpios pero pueden estar contaminados de arcillas, por lo que, sería imprescindible lavarlos. Los materiales de canteras tiene diferente resistencia y características, esto depende de su formación geológica y edad, por su forma de obtención, esta tiene mayor acritud y su puesta en obra es más dificultosa, pero aportan una mejor trabazón.

El árido proveniente de la trituración de la roca, tiene una probabilidad mayor de fisuras por ser pre esforzado mediante su proceso de obtención, y por ende, estarán revestidos de finos, es decir, requerirán mayor cantidad de agua, equivalente a menor resistencia. Por lo tanto un equilibrada dosificación entre agregado grueso y fino mejorara la consistencia del hormigón y producirá mejores resultados.

### **Arenas.**

Las arenas son conjuntos de fragmentos de roca de tamaños que pasan el tamiz N4, ocupan el mayor peso dentro de la mezcla de concreto.

Es el árido de mayor responsabilidad. A diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento, puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río, ya que salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que hay q preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad.

La arena de mina suele tener arcillas en exceso, por lo que generalmente es preciso lavarlas. Las arenas de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón armado, previo lavado con agua dulce. Las arenas que provienen del machaqueo de granitos, basaltos y roca análogos son también excelentes, con tal de que se trate de rocas sanas que no acuse un principio de descomposición. Deben rechazarse de forma absoluta

las arenas de naturaleza granítica alterada (caolinización de los feldespatos) (Jiménez, García, & Morán, 2000, pág. 31).

## La Grava

La resistencia de la grava viene ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad. Se aprecia en la limpieza y agudeza de los cantos vivos, resultantes del machaqueo. Las buenas calizas nos son rayadas por la navaja, lo cual deja tan solo un ligero trazo sobre su superficie (densidad mayor de 2.6 y resistencia mayor de 100 N/mm<sup>3</sup>). Las que son rayadas por el latón (densidad menor de 2.3 y resistencia mayor de 500 N/mm<sup>3</sup>) caen fuera de lo admisible. Entre ambas se colocan las que no son rayadas por el bronce. En todos los casos debe realizarse la prueba sobre una superficie plana y con el material totalmente seco. Una característica importante de la grava es su coeficiente de forma (Jiménez, García, & Morán, 2000, pág. 33).

### 1.2.1. Propiedades de los Materiales

#### 1.2.1.1. Agregado fino.

- Composición

Los materiales finos están compuestos de arena natural o artificial proveniente de minas y de su explotación y trituración. La forma de sus partículas son redondeadas o cúbicas y la arena natural está constituida de fragmentos de roca compactos (Lambe & Whitman, 1997).

- Calidad

“El agregado fino debe cumplir con características de granulométricas especificadas en las normas de cada país y no debe contener sustancias perjudiciales que afecte sus características físico mecánicas para requisitos de uso” (INEN 872, 2011).

El máximo porcentaje en peso de sustancias dañinas no deberá exceder de los valores siguientes, expresados en porcentaje del peso:

Fig. N° 1.4. Límites de Sustancias Dañinas

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz n.º 200	(ASTM C 117)	3 %
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	1 %
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	3 %
Total de otras sustancias dañinas (como álcalis, mica, limo)	-	2 %
Pérdida por meteorización	(ASTM C 88, método Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	10 %

Fuente: (Lambe & Whitman, 1997)

- Granulometría

El agregado fino debe cumplir con las especificaciones granulométricas siguientes:

Fig. N° 1.5: Granulometría Bien Gradada

Tamiz U.S. Standard	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que pasa
N.º 3/8"	9,52	100
N.º 4	4,75	95 - 100
N.º 8	2,36	80 - 100
N.º 16	1,18	50 - 85
N.º 30	0,60	25 - 60
N.º 50	0,30	10 - 30
N.º 100	0,15	2 - 10

Fuente: (Lambe & Whitman , 1997)

- Módulo de finura.

Además de los límites granulométricos indicados arriba, el agregado fino deberá tener un módulo de finura que no sea menor de 2,3 ni mayor de 3.1.3 Se utilizan cernidores calibrados para medir el grado de granulometría. En términos de mecánica de suelos, ambas palabras son sinónimas para indicar este valor (INEN 872, 2011).

#### 1.2.1.2. Agregado Grueso.

- Composición

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,8 mm. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como por ejemplo el lavado. La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños (Lambe & Whitman , 1997)

- Calidad

El agregado grueso debe cumplir las normas de ASTM C33 e INEN 872, en la cual los porcentajes de compuestos ácidos y sustancias perjudiciales a afecten su calidad

Fig. N° 1.6: Limite de sustancias Dañinas

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	(ASTM C 117)	máx. 0.5
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	máx. 1
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	máx. 0.5
Otras sustancias dañinas	-	máx. 1
Pérdida por intemperismo	(ASTM C 88, método Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	máx. 12
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles	ASTM C 131 y C 535	máx. 40

Fuente: (Lambe & Whitman , 1997)

- Granulometría

El agregado grueso debe estar bien gradado entre los límites fino y grueso y debe llegar a la planta de concreto separado en tamaños normales cuyas granulometrías se indican a continuación:

Fig. N° 1.7: Granulometría Para Gravas

Tamiz U.S. Standard	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que pasa por los tamices individuales	
-	-	25 mm	38 mm
2"	50	-	100
1½"	38	-	95-100
1"	25	100	-
¾"	19	90-100	35-70
½"	13	-	-
3/8"	10	20-55	10-30
N° 4	4.8	0-10	0-5
N° 8	2.4	0-5	-

Fuente: (Lambe & Whitman , 1997)

- Tamaño máximo.

A menos que específicamente se indique lo contrario, el tamaño máximo del agregado que deberá usarse en las diferentes partes de la obra será

Fig. N° 1.8: Tamaño Máximo del Agregado

Tamaño máximo	Uso general
51 mm (2")	Estructuras de concreto en masa: muros, losas y pilares de más de 1 m de espesor.
38 mm (1½")	Muros, losas, vigas, pilares, etc., de 30 cm a 1 m de espesor.
19 mm (¾")	Muros delgados, losas, alcantarillas, etc., de menos de 30 cm de espesor.

Fuente: (Lambe & Whitman , 1997)

### 1.3.CEMENTO

El cemento Portland es llamado así, por su semejanza a una piedra que existe en abundancia en la localidad de Portland Inglaterra, patentado por J. Aspdin. En 1824. Y es producto de calentar minerales (presentes en las calizas y arcillas) en hornos a altas temperaturas, aproximadamente 1300°C. Obteniendo un material llamado (Criquet), que luego se lo tritura y adiciona yeso evitando que fragüe instantáneamente

“Al cemento se define como un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, los mismos que permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas”. (García, 2013, pág. 33).

Dentro de la mezcla de hormigón el cemento es el material más costoso y su relación con el agua determinara la resistencia del hormigón. Para su uso en las mezclas dependerá del uso para optar por una u otro opción de cemento.

Dentro del mercado existen 5 tipos de cementos Portland que para nuestro caso de estudio usamos el cemento Holcim Tipo I, por ser de uso general.

- Tipo I. Uso General.
- Tipo II. Alta Resistencia Temprana.
- Tipo III. Alta Resistencia a los sulfatos.
- Tipo IV. Mediano calor de hidratación.
- Tipo V. Bajo calor de hidratación.

Fig. Nº 1.9: TIPOS DE CEMENTO.

Cementos Hidráulicos por Desempeño	Cementos Hidráulicos Compuestos	Cementos Portland
GU	IP	Tipo I
HE		Tipo III
HS		Tipo V
MS	IP (MS)	Tipo II
MH	IP (MH)	Tipo IV
LH		

En: Cementos Holcim por desempeño (Holcim Ecuador, 2012)

Fuente: <https://studylib.es/doc/6484474/tipos-de-cementos-y-normativa>

#### 1.3.1. Propiedades del cemento

- Resistencia buena a gases químicos.
- Buena resistencia refractaria.
- Resistencia inicial y que aumente con el tiempo.
- Se ha de evitar el uso de armaduras. Con el tiempo aumenta la porosidad.
- Resistencia a temperaturas altas y bajas.

### **1.3.2. Propiedades Físicas del Cemento**

- Fraguado.
- Resistencia del 70% a los 7 días de fraguado.
- Estabilidad volumétrica
- Exotérmico.
- Resistencia a los sulfatos
- Durabilidad
- Resistencia a compuestos ácidos
- Buena resistencia a altas temperaturas sin cambiar drásticamente sus propiedades mecánicas.

## **CAPÍTULO II**

### **2.1. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS DE LA MINA FUCUSUCU III UBICADA EN LA PARROQUIA DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA SECTOR NORTE DE LA CAPITAL.**

En este capítulo se estudian los materiales pétreos de la cantera FUCUSUCU III, ubicada en San Antonio de Pichincha, que es la que suministra del material para la realización de las probetas de hormigón, por lo cual, se recopila una serie de ensayos iniciales los cuales definen las características físico-mecánicas de los materiales pétreos de la mina FUCUSUCU III de San Antonio de Pichincha, con los cuales se realizará una dosificación que nos permita llegar a las resistencias preestablecidas.

Hay que tomar en cuenta establecer condiciones de almacenaje adecuadas y controladas de humedad y temperatura, lo más similares a las naturales en las cuales se extrajo el material, y mantenerlos en las mismas condiciones posibles durante el tiempo que los materiales permanezcan en laboratorio siendo ensayados; por tanto, el material fue almacenado en sacos y ubicados en la bodega de suelos de la Pontificia Universidad Católica manteniendo así las condiciones antes mencionadas.

#### **2.1.1 ORIGEN DE LOS MATERIALES**

Para la obtención de los materiales se procedió a buscar canteras que se encuentran en la zona minera de San Antonio de Pichincha, una vez localizadas se examinó cuál de ellas es la representativa de la zona, siendo esta la de la empresa COAGREGADOS. CIA. LTDA. Dueña de la cantera FUCUSUCU III. (Ver anexo B.1)

La MINA FUCUSUCU III, además de ser una de las más comerciales en el mercado de la construcción, es una de las canteras más grandes del conjunto de canteras explotadas en el sector de San Antonio, y por tanto, así obtuvimos un material representativo del sector, para poder realizar los diseños de hormigones que nos permitirán analizar el módulo de elasticidad, en base a la resistencia a la compresión.

Los agregados tanto gruesos como finos de la mina FUCUSUCU III. Se extraen directamente de la montaña y se los procesa en el mismo lugar, triturando el material, cribándolo, depositándolos y separándolos por tamaños de agregado.

El material fino además de ser obtenido mediante procesos mecánicos también se encuentra como arena natural del sector y es extraído y almacenado directamente.

Para la elección del material a usarse, se escogió una mezcla de todos los tamaños de material.

**AGREGADO FINO.** Se escogió de los depósitos con arena natural y la triturada de tamaño menor 4.76mm, ya que los límites de la Norma ASTM C 33 respecto a cribas denotan al agregado fino aquel material que pasa el tamiz No. 4, es decir criba de 4.76mm

**AGREGADO GRUESO.** De igual manera tomando en cuenta los límites de la Norma ASTM C-33 para agregados grueso a todos aquellos materiales mayores al tamiz No. 4, se seleccionó de todos los depósitos de la mina FUCUSUCU III el agregado de tamaños mayores a 4.76mm. Cabe recalcar que en la mina FUCUSUCU III el tamaño máximo del agregado es 2 ½ pulg, equivalente a 63.5mm.

Partiendo de la premisa de mantener el material en condiciones controladas y lo más homogéneo posible con respecto a sus características físico mecánicas, se procedió a obtener el material en su totalidad para la realización de los 240 cilindros de hormigón, obteniendo así, una sola muestra de material, en una solo época del año, ya que, de esto depende la humedad del material y la estratigrafía la cual va cambiando de acuerdo a la profundidad explotada, pretendiendo simular las características de compra de cualquier usuario y evitando que el material pueda contener características de diferentes estratos, simulando a la realidad comercial.

Para saber la cantidad de material necesario a utilizarse en la investigación se calculó de acuerdo al peso unitario que es una característica primordial del material, y el volumen de cada cilindro, junto con la estimación proporcional a las resistencias a ensayarse, teniendo en cuenta la dosificación a emplearse.

### **2.1.2. MINA FUCUSUCU III**

- Canton: Quito
- Ubicación: San antonio de Pichincha
- Sector: Rumichuco
- Concesion Minera. Fucusuci III codigo 4214
- Área: 25 ha
- Cota Máxima: 3356 msnm
- Cota Mínima: 1400 msnm
- Clima: Seco – templado (12 a 18° C )
- Coordenadas: longitud 786000; latitud 10004300. (Fig N° 13)

Fig. N° 2.1. COORDENADAS UTM "FUCUSUCU III".

PUNTOS	LONGITUD	LATITUD
PP	786000	10004300
1	786500	10004300
2	786000	10003800
3	786500	10003800

En: CARACTERIZACIÓN GEO MECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL PLAN DE CIERRE Y LIQUIDACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LAS PARROQUIAS DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA ("FUCUSUCU III") Y DE PÍNTAG ("ESPERANZA") (Caizaluisa Jácome & Criollo Andagoya , 2015, pág.

4)

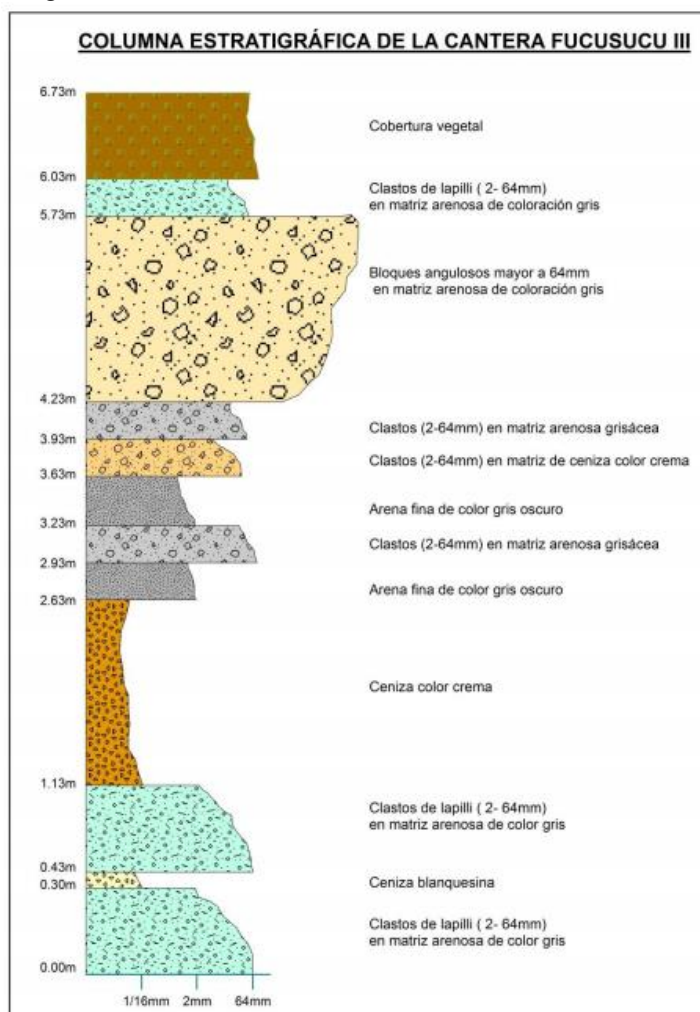
Fuente: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5194/1/T-UCE-0012-322.pdf>

- Geología Regional.

La concesión minera Fucusucu III se ubica regionalmente en el Valle Interandino (IAV), que constituye una depresión tectónica - geomorfológica, orientada en sentido N-S a NNE-SSW, situándose entre los 2°30'S y 0°45'N; limitando al Este con la Cordillera Real y Oeste con la Cordillera Occidental del Ecuador. De Norte a Sur dividida en cuatro subcuencas (Ver Fig 2.2): Cuenca Chota, Cuenca Quito - San Antonio - Guayllabamba, Cuenca Ambato - Latacunga y Cuenca Riobamba - Alausí; mismas que han evolucionado individualmente (Winkler et al, 2002).

- Estratigrafía: Presenta una alternancia de estratos de arenas, clastos y cenizas

Fig. N° 2.2: ESTRATIGRAFÍA CANTERA FUCUSUCU III



En: "CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL PLAN DE CIERRE Y LIQUIDACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LAS PARROQUIAS DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA ("FUCUSUCU III") Y DE PÍNTAG ("ESPERANZA") (Caizaluisa Jácome & Criollo Andagoya , 2015)

Fuente: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5194/1/T-UC-0012-322.pdf>

## 2.2 ENSAYO DE LOS AGREGADOS

Para determinar las propiedades de los materiales de la Mina FUCUSUCU III Se realizó los ensayos presentados en la tabla No. 2.

Para mejorar la precisión de los resultados se procedió a realizar dos ensayos por cada ítem tomando como respuesta el promedio.

**Tabla. Nº 2.1: Ensayo de Laboratorio para Materiales Pétreos.**

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Peso unitario de agregados (VER ANEXO B.2)	NTE INEN 858 ASTM C-29 AASHTO T-19
Gravedad Especifica (VER ANEXO B.3)	NTE INEN 0856:83 y 0857:83 ASTM C-127 y C-128 AASHTO T-84 y T-85
Contenido de Humedad (VER ANEXO B.4)	NTE INEN 0862:83 ASTM C-566
Absorción (VER ANEXO B.5)	NTE INEN 056:83 y 0857:83 ASTM C – 70
Granulometría (VER ANEXO B.6)	NTE INEN 0696:83 ASTM C -136
Abrasión (VER ANEXO B.7)	NTE INEN 0861:83 ASTM C 131
TERRONES DE ARCILLA EN LOS AGREGADOS NATURALES (VER ANEXO B.8)	NTE INEN 698 ASTM C-142 AASHTO: T-112

Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

### 2.2.1. PESO UNITARIO

Según el autor: (Raul, 2016). "El peso específico unitario es la relación de la masa del agregado que ocupa un volumen patrón unitario entre la magnitud de este, incluyendo el volumen de vacíos propio del agregado, que ha de ir ocupando parte de este volumen unitario patrón".

Existen dos valores que se determinan del peso unitario y estos dependen de la forma de acomodo del material, una puede ser suelto y la segunda compactado.

Entonces, si se dice que, el Peso Unitario es la relación entre el número de partículas en un volumen dado, la Densidad aparente suelta será de menor proporción a la Densidad Compactada, debido a que el número de partículas sueltas dentro de un determinado volumen tiene mayor relación de vacíos, provocando un peso menor, en la masa que ocupará el volumen del recipiente. Mientras que para la Densidad Compactada del mismo material, el peso será mayor, ya que al momento de su compactación, se reduce considerablemente la relación de vacíos que existe en el mismo volumen y por lo tanto su densidad aumentará. (García, 2013, pág. 65).

La tabla No. 3 presenta los valores correspondientes al Peso Unitario del material de la mina FUCUSUCU III.

Tabla. Nº 2.2: PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS.

PESO UNITARIO MATERIAL PÉTREO FUCUSUCU III				
ENSAYO No.		1	2	PROMEDIO
UNIDADES.		Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	1.33	1.33	<b>1.33</b>
	<b>PESO UNITARIO COMPACTO</b>	1.43	1.46	<b>1.44</b>
<b>AGREGADO FINO</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	1.62	1.62	<b>1.62</b>
	<b>PESO UNITARIO COMPACTO</b>	1.78	1.76	<b>1.77</b>

Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

### 2.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA

"Es la relación entre la masa (o peso en el aire) de una unidad de volumen de un material para la masa del mismo volumen de agua a una temperatura indicada. Los valores son adimensionales" (ASTM, Metodo Estandar para la Determinacion de la Gravedad Específica y Absorción de Agregados, 2001).

Sin embargo, es importante recordar dependiendo del procedimiento utilizado, tanto la densidad (kg/m<sup>3</sup> o lb/pie<sup>3</sup>) como la densidad relativa o gravedad específica (adimensionales), son expresadas como secadas al horno (SH) o saturadas superficialmente secas (SSS). La densidad SH y la densidad relativa SH, son

determinadas después de secar el agregado en horno. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción son determinadas después de saturar el agregado en agua para un tiempo prescrito. (UCA, Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) , Y Absorción del Agregado).

La Gravedad Específica puede ser expresada como Gravedad Específica aparente, Gravedad Específica Bulk, Gravedad Específica Bulk (SSD en inglés o SSS en español).

Gravedad Específica Aparente según: (ASTM, Metodo Estandar para la Determinación de la Gravedad Específica y Absorción de Agregados, 2001). "Es la relación del peso en el aire de una unidad de volumen de la porción impermeable del agregado a la temperatura establecida para el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada a la temperatura establecida"

Gravedad Específica Bulk según: (ASTM, Metodo Estandar para la Determinación de la Gravedad Específica y Absorción de Agregados, 2001). "Es la relación del peso en el aire de una unidad de volumen de agregado (incluido las permeables e impermeables vacíos en las partículas, pero no incluidos los vacíos entre las partículas) a una temperatura establecida para el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada a una temperatura establecida"

Gravedad Específica Bulk (SSD) según: (ASTM, Metodo Estandar para la Determinación de la Gravedad Específica y Absorción de Agregados, 2001). "Es la relación entre el peso en el aire de una unidad de volumen de material, incluido el peso del agua de los huecos rellenos en la medida en que se sumerge en agua aproximadamente 24h (peso sin incluir los vacíos entre las partículas) a una temperatura establecida, comparado para el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada a la temperatura establecida".

**Tabla. N° 2.3: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.**

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN MATERIAL PÉTREO MINA FUCUSUCU III (Ver anexo 5)</b>				
ENSAYO No.		1	2	PROMEDIO
UNIDADES.		Adim.	Adim.	Adim.
<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>Ge</b>	2.43	2.44	<b>2.44</b>
	<b>Ges</b>	2.53	2.53	<b>2.53</b>
	<b>Gea</b>	2.71	2.68	<b>2.70</b>
	<b>Ab</b>	4.17%	3.62%	<b>3.90</b>
<b>AGREGADO FINO</b>	<b>Ge</b>	2.44	2.45	<b>2.45</b>
	<b>Ges</b>	2.56	2.56	<b>2.56</b>
	<b>Gea</b>	2.76	2.75	<b>2.76</b>
	<b>ab</b>	4.69%	4.59%	<b>4.64</b>

Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

### 2.2.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad es fundamental, ya que, el agua que existe en el material debe ser cuantificada para la relación agua-cemento y poder obtener un hormigón de resistencia adecuada.

El contenido de humedad es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada en el horno a una temperatura entre los 105°-110° C. Se expresa de forma de porcentaje, puede variar desde cero cuando está perfectamente seco hasta un máximo determinado que no necesariamente es el 100%. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este, por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica (Caballero, 2013).

**Tabla. N° 2.4: CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.**

ENSAYO No.	1	2	<b>PROMEDIO</b>
UNIDADES.	%	%	<b>%</b>
<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO</b>	0.22	0.19	<b>0.20</b>
<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD AGREGADO FINO</b>	0.06	0.05	<b>0.06</b>

Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

## 2.2.4 ABSORCIÓN

La absorción es el incremento de peso del agregado por agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de peso seco. El agregado es considerado seco cuando este ha sido mantenido a una temperatura  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante el suficiente tiempo para eliminar toda el agua sin combinar. (ASTM, Metodo Estandar para la Determinacion de la Gravedad Específica y Absorción de Agregados, 2001)

La absorción nos da un indicativo de qué porcentaje de agua el material tomara de la mezcla de hormigón para rellenar sus poros, por tanto, si el material es muy seco la relación agua cemento A/C será mayor, de ser el caso contrario, la relación agua cemento A/C será menor.

En las normas ASTM e INEN, el ensayo de absorción está integrado en el ensayo de Gravedad Específica ya que es requerido en el procedimiento para realizar dicho ensayo.

Tabla. N° 2.5: ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

ENSAYO No.	1	2	PROMEDIO
UNIDADES.	%	%	%
<b>ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO</b>	4.17	3.62	<b>3.90</b>
<b>ABSORCIÓN AGREGADO FINO</b>	4.69	4.59	<b>4.64</b>

Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

## 2.2.5 GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico de un suelo consiste en determinar los diferentes tamaños de las partículas y los porcentajes en que esos tamaños intervienen en su universo que lo componen. Es un indicativo para determinar ciertas propiedades de los diferentes suelos y para proceder a su clasificación. El análisis granulométrico por tamizado se realiza hasta las partículas de suelo retenidas en el tamiz N° 200 (0.074), y consiste en hacer pasar el suelo a través de un juego de tamices de aberturas conocidas. Por lo tanto, el tamaño o diámetro de las partículas está definido por la dimensión lateral o lado de la abertura cuadrada del tamiz. (Caballero, 2013)

La granulometría nos permite determinar la gradación de los materiales. En la elaboración de hormigones, es necesario tener una gradación adecuada, es decir, contar con porcentajes retenidos acumulados dentro de la serie de tamices que cumplan con las especificaciones para realizar una estructura en específico, ya que así, pueden acomodarse de una mejor manera los agregados y ocupar todos los espacios dentro de la estructura, obteniendo un hormigón consistente.

“Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partícula con los requisitos de especificación aplicables y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de diversos productos agregados y mezclas que contienen agregados” (ASTM, Metodo de Prueba para Analizar el Tamiz de los Agregados Finos y Gruesos, 2017)

### 2.2.5.1. AGREGADO FINO.

Es arena natural, arena elaborada o una combinación entre ellas.

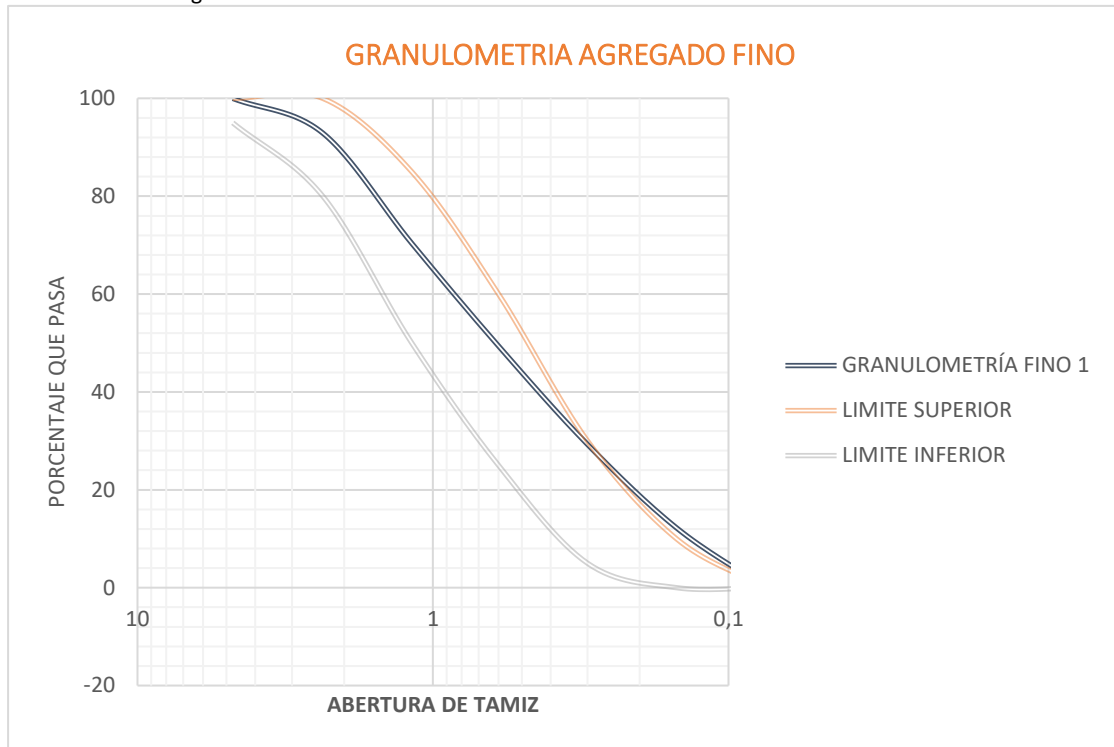
El análisis granulométrico debe ser gradado dentro de los siguientes límites como requisito para realizar hormigones.

Fig. N° 2.3: LIMITE GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADOS FINOS.

TAMIZ INEN	PORCENTAJE QUE PASA
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 µm	25 a 60
300 µm	10 a 30
150 µm	2 a 10

En: Norma ecuatoriana de Normalización (NTE INEN. 872, 2011).

Fig. Nº 2.4: CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO MINA FUCUSUCU III



Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

### 2.2.5.2. AGREGADO GRUESO.

“El árido Grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de altos hornos enfriada al aire u hormigón de cemento hidráulico triturado o una combinación de estos conforme con los requisitos de la norma” (INEN 872, 2011)

El árido grueso debe cumplir con los requisitos de gradación siguientes:

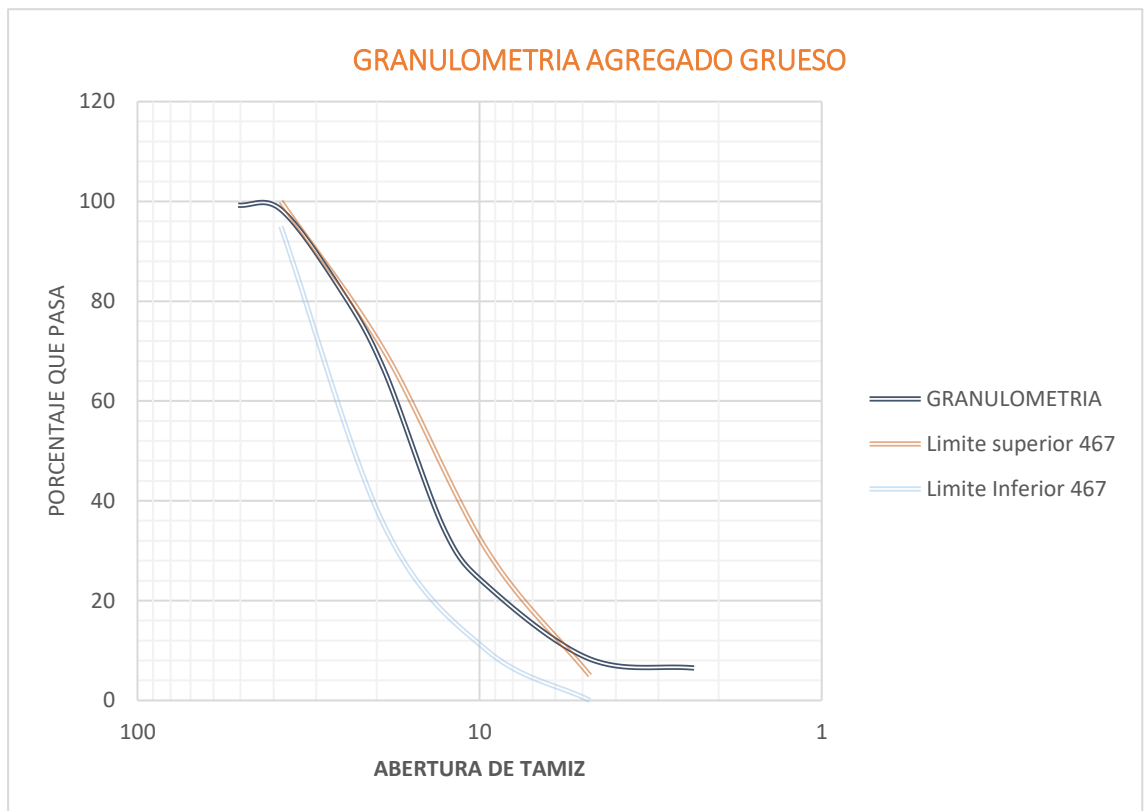
Fig. N° 2.5: LIMITE GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADOS GRUESOS.

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	
9 <sup>A</sup>	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	

<sup>A</sup> 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.

En: Norma ecuatoriana de Normalización (NTE INEN. 872, 2011). Tabla 3. Requisitos de Gradación para agregado grueso

Fig. N° 2.6: CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO MINA FUCUSUCU III



Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

La tabla No. 7 muestra el resultado del análisis granulométrico del Agregado Grueso y Agregado Fino de la mina FUCUSUCU III

**Tabla. N° 2.6: GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.**

<b>GRANULOMETRÍA MATERIAL PÉTRICO FUCUSUCU III</b>			
ENSAYO No.		1	2
UNIDADES.			
<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>TAMAÑO MÁXIMO</b>	2 Pulg.	2 Pulg.
	<b>NÚMERO DE TAMAÑO INEN 872</b>	# 467	# 467
	<b>LIMITES GRANULOMÉTRICOS</b>	<b>NO CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>
<b>AGREGADO FINO</b>	<b>MODULO DE FINURA</b>	2.46	2.46
	<b>LIMITES GRANULOMÉTRICOS</b>	<b>NO CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>

Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

### 2.2.6 ABRASIÓN.

El ensayo de abrasión suministra datos de características físicas de desgaste del agregado, la cual corresponde en el hormigón su resistencia y la durabilidad.

El ensayo de abrasión consiste en determinar el desgaste de los agregados gruesos, empleados para el diseño de mezclas; este ensayo utiliza la Máquina de los Ángeles, la cual consta de un tambor de acero de forma cilíndrica y hueca, el movimiento rotacional es ocasionado por un motor que está conectado al eje del tambor de acero. Este movimiento junto a unas esferas sólidas de acero que van dentro del tambor cilíndrico, genera una fuerza abrasiva que desgasta los agregados, este resultado se expresa con un coeficiente de uniformidad que a la vez es tomado de acuerdo al porcentaje de pérdidas con respecto a la masa inicial que se generan las 500 revoluciones. (García, 2013, pág. 41)

**Tabla. N° 2.7: ABRASIÓN DE LOS AGREGADOS.**

ENSAYO No.	1	2	<b>PROMEDIO</b>
UNIDADES.	%	%	<b>%</b>
<b>% ABRASIÓN AGREGADO GRUESO</b>	54.90	55.20	<b>55.05</b>
<b>CUMPLE NORMA INEN 872</b>			<b>NO CUMPLE</b>

Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

## 2.2.7. TERRONES DE ARCILLA.

El ensayo nos permite determinar la cantidad aproximada de arcilla, la cual es perjudicial dentro de los agregados para la realización de hormigones y morteros.

Algunos contaminantes perjudican las características físicas y mecánicas del hormigón, uno de estos y muy bien estudiado son las arcillas.

Es bien sabido que la arcilla entre los problemas más graves que provocan se encuentra el aumento en el consumo de agua necesaria para obtener una trabajabilidad dada, con la consecuente disminución de la resistencia a compresión (así como tensión y flexión) y el aumento de los cambios volumétricos (entre ellos la contracción por secado). Debido a esto la calidad y durabilidad del concreto se compromete de manera significativa. (De la Rosa Serrano, 2014)

Como la arcilla puede absorber una gran cantidad de agua, provoca cambios de volumen en el hormigón y por tanto, requerirá de la aplicación constante de agua a la superficie del hormigón en el tiempo de fraguado, ya que, pueden provocarse fisuras cuando el hormigón endurezca.

Las partículas de arcilla presentan cargas negativas residuales superficiales, y una vez que el agua ingresa al espacio disponible entre las moléculas de arcilla, sus cargas bipolares generan fuerzas de atracción molecular que mantienen al agua y a la arcilla formando bicapas. Como las partículas de arcilla se acomodan en estructuras multicapa, cuando se combinan con el agua suceden los cambios de volumen, debido principalmente a la presencia de cationes libres y a la distancia entre capas. No obstante, es importante mencionar que, dependiendo del mineral arcilloso del que se trate, el cambio de volumen puede presentarse en mayor o menor grado. Si la distancia entre capas es pequeña, las fuerzas de atracción serán muy fuertes y los cambios volumétricos serán pequeños (o no ocurren). Por el contrario, si la distancia es grande, las fuerzas de atracción son más débiles y la absorción de agua ocurre con mayor facilidad, incrementando con esto el cambio de volumen que tanto daño genera en estructuras en las que deseamos estabilidad. (De la Rosa Serrano, 2014).

**Tabla. N° 2.8: TERRONES DE ARCILLA EN LOS AGREGADOS NATURALES.**

ENSAYO No.	1	2	<b>PROMEDIO</b>
UNIDADES.	%	%	<b>%</b>
<b>% TERRONES DE ARCILLA</b>	0.00	0.00	<b>0.00</b>
<b>CUMPLE NORMA INEN 861</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

## 2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO

### 2.3.1 Densidad del cemento.

Para poder realizar los ensayos es necesario tener el conocimiento del concepto general de la densidad.

El peso específico relativo es la relación entre el peso de un volumen dado de material a cierta temperatura, al peso de un volumen igual de agua a esa misma temperatura. En este caso, la temperatura a la cual se haga la prueba no ocasiona mucha diferencia en los resultados; pero es importante que la temperatura del frasco, del líquido y del cemento se mantenga constante durante toda la práctica. (UCA, DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO, 2016)

La importancia de realizar este laboratorio es identificar que el cemento se encuentre en los rangos de densidad establecidas por las normas técnicas, con el fin de mantener la resistencias del hormigón

La densidad del cemento por experiencia del Laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador varía entre los 2.8 a 3.15 gr/cm<sup>3</sup>, dicho de otra manera, en un 1m<sup>3</sup> hay capacidad para 2900 Kg de cemento, mayor que la de los agregados, ya que es un material muy fino, es decir, existen pocos vacíos dentro de un volumen de material. Este valor dependerá de la calidad de producción y material utilizado (Ver anexo B.).

**Tabla. Nº 2.9: DENSIDAD DEL CEMENTO.**

ENSAYO No.	1	2	PROMEDIO
UNIDADES.	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	%
<b>DENSIDAD DEL CEMENTO</b>	2.997	3.006	<b>3.00</b>

Fuente: (Jiménez Veloz & Valladares Cartagena, 2018).

## CAPÍTULO III

### 3.1 Dosificación al Peso

Conocidas las características de los agregados tanto fino como grueso, con las cuales se va a realizar el total de los 240 cilindros se procede a realizar la dosificación al peso, ya que si bien es cierto no es la más utilizada comúnmente dentro de las distintas obras civiles en el país, se analiza este procedimiento para tener una mayor precisión en cuanto a la cantidad y porcentajes de los materiales que constituyen una mezcla de hormigón.

#### 3.1.1 Dosificación al peso método ACI.

El método de dosificación al peso del American Concrete Institute (ACI), se basa en un método repetitivo de ensayos los cuales ya nos dan una tendencia en cuanto a los valores a utilizarse mediante el uso de tablas que nos permiten tener una idea en cuanto a datos a considerarse para la partida de la dosificación.

##### 3.1.1.1 Selección del asentamiento.

El asentamiento cuando no es un dato proporcionado, se lo maneja de acuerdo a la siguiente tabla la cual se emplea cuando la vibración es usada para ayudar a la consolidación de la mezcla, en nuestro caso se optó por la utilización de un vibrador eléctrico el cual por facilidad, se lo uso en los 240 cilindros.

Tabla (3.1) Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción (Adaptada de ACI 211.1)

Construcción de Concreto	Revenimiento, mm (in)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Hormigón en masa	75 (3)	25 (1)

\*puede incrementarse 2.5 cm para métodos de consolidación distintos a la vibración.

Fuente: (PCA, Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

En nuestro caso se optó por un asentamiento de **8 cm**, ya que tiene una consistencia blanda y nos proporciona una mayor facilidad de trabajo.

### 3.1.1.2 Selección del tamaño máximo nominal del agregado.

Según (ACI 318): El tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe exceder al menor de (i), (ii), y (iii):

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado
- 1/3 del espesor de las losas.
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre especificado entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, refuerzo preesforzado, tendones individuales, paquetes de tendones, o ductos.

En nuestro caso no se toman las consideraciones propuestas por la ACI ya que nuestro tamaño máximo nominal está regido a la abertura máxima de la malla por la cual el material grueso fue tamizado en la cantera, la cual nos ayudó con el agregado grueso, siendo este **25mm**.

### 3.1.1.3 Estimación de la cantidad agua de mezcla y contenido de aire.

El valor de la estimación del agua de mezcla se lo lee en la siguiente tabla propuesta por el ACI de la cual depende el valor del asentamiento y el valor del tamaño máximo nominal del agregado grueso.



Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

\* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.

\*\* El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

† Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

Tabla 3.2 Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado (Adaptada ACI 211)

Fuente: (PCA, Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Al ser nuestro concreto sin aire incluido se toma el valor de **169 Kg de agua por cada metro cubico**, ya que es el valor que corresponde al asentamiento y al tamaño máximo nominal del agregado.

### 3.1.1.3 Relación agua cemento A/C.

La ACI propone una tabla empírica de una estimación de la relación A/C en base a su resistencia siendo la siguiente:

**Table 9-3 (Métrica) Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto**

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

Tabla 3.3 Relación A/C y Resistencia a la compresión del hormigón.

Fuente: (PCA, Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

De acuerdo a la experiencia del ING. Lauro Lara docente de la materia Laboratorio de Hormigones en la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, nos ha impartido la siguiente tabla de la cual se toma el valor estimado de la relación A/C para de acuerdo con este valor realizar una interpolación lineal para nuestra resistencia requerida.

Resistencia compresión 28 días kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Cemento Portland (ACI 211.1)	Cemento Modificado IP, P,(Ing. Lauro Lara)
400 (40)	0.42	0.33
350 (35)	0.47	0.38
300 (30)	0.54	0.43
250 (25)	0.61	0.50
200 (20)	0.69	0.58
150 (15)	0.79	0.67

Tabla 3.4 Relación Agua-Material Cementante y Resistencia a Compresión del Concreto. Adaptada del ACI 211.1 y ACI 211.3.

Fuente: Ing. Lauro Lara

Para la interpolación detallada anteriormente, se la calcula a partir de la resistencia de diseño la cual tiene un factor de seguridad el cual en nuestro caso se tomó un factor de seguridad del 3%, se calcula a partir de la siguiente formula:

$$f'c \text{ diseño} = f'c \text{ requerida} * \left( 1 + \frac{\% \text{ factor de seguridad}}{100} \right)$$

#### 3.1.1.4 Cantidad de cemento.

Una vez definida la cantidad de agua y la relación A/C, se despeja la cantidad de cemento teniendo en cuenta que esta cantidad es por cada metro cúbico, de la siguiente fórmula:

$$\text{cantidad de cemento} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{cantidad de agua de mezcla}}{A/C}$$

#### 3.1.1.5 Cantidad de agregados grueso y fino.

La cantidad de agregados se la obtiene en base a la diferencia del total menos las cantidades de agua y cemento ya conocidas. Para lo cual primero debemos saber el peso unitario del hormigón.

### 3.1.1.5.1 Peso unitario del hormigón (UM).

$$Um = 10 Ga(100 - A) + Cm \left(1 - \frac{Ga}{Gc}\right) - Wm (Ga - 1)$$

$$Ga = \frac{G_{SSS} \text{ fino} + G_{SSS} \text{ grueso}}{2}$$

Ga: gravedad específica saturada con superficie seca (sss) (se trabaja con la promedio).

A: porcentaje de aire contenido.

Cm: contenido de cemento.

Gc: gravedad específica del cemento.

### 3.1.1.5.2 Cantidad de agregados en estado saturado con superficie seca (SSS).

$$\text{cantidad de agregados en estado (SSS)} = Um - Wm - Cm$$

Se establece la proporción de agregado grueso y del agregado fino en relación a la cantidad de agregados en estado (SSS) siendo esta última el 100%, y se obtiene la cantidad de agregado grueso y fino respectivamente.

Agregado fino: 52%

Agregado grueso: 48 %

$$\text{cantidad agregado fino estado (SSS)} = 52 \% * \frac{\% \text{ Abs. fino}}{100}$$

$$\text{cantidad agregado grueso estado (SSS)} = 48 \% * \frac{\% \text{ Abs. grueso}}{100}$$

### 3.1.1.5.3 Agregados en estado natural.

Se calcula el peso de los agregados que se necesita para la mezcla teniendo en cuenta los datos de absorción y humedad respectivamente para cada uno de los agregados, ya que al rato de realizar la mezcla los agregados van a estar en un estado natural.

$$\text{masa seca agregados} = \frac{\text{Masa (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Abs}}{100}}$$

$$\text{masa natural agregados} = \text{masa seca agregados} * \left(1 + \frac{\% \text{ humedad}}{100}\right)$$

### 3.1.1.6 Cantidad de agua de mezcla.

$$\text{cant. agua de mezcla} = \text{agua neta} + M.\text{seca fin.} * \frac{\%Abs - \%hum}{100} + M.\text{seca grue.} * \frac{\%Abs - \%hum}{100}$$

Una vez detallado el proceso de dosificación al peso se procede a realizar cilindros de prueba del diseño, para en base a los resultados realizar posibles correcciones, se realiza dosificaciones a 3 distintas resistencias y en base a las gráficas (3.1 y 3.2) se estima la relación agua cemento para las resistencias a analizar (210 y 240 kg/cm<sup>2</sup>).

Se maneja 2 muestras por cada resistencia para obtener dos graficas de prediseño y en base a esto, trabajar con el promedio del resultado en cuanto a la relación de agua cemento.

Resumiendo:

**Prediseño:**

Tabla 3.5 Resumen de materiales para dosificación 210 Kg/cm<sup>2</sup>

RESUMEN DE MATERIALES	Kg/m <sup>3</sup>	GRAMOS PARA 0,03 M3 (V.CONCRETERA LABORATORIO)
Agua mez.	273	7370
Cemento	384	11513
Arena nat.	790	23686
Ripio nat.	733	21986

Relación A/C : 0,64

Tabla 3.6 Resumen de materiales para dosificación 240 Kg/cm<sup>2</sup>

RESUMEN DE MATERIALES	Kg/m <sup>3</sup>	GRAMOS PARA 0,03 M3 (V.CONCRETERA LABORATORIO)
Agua mez.	272	7336
Cemento	422	12671
Arena nat.	774	23215
Ripio nat.	718	21548

Relación A/C : 0,58

Tabla 3.7 Resumen de materiales para dosificación 280 Kg/cm<sup>2</sup>

RESUMEN DE MATERIALES	Kg/m <sup>3</sup>	GRAMOS PARA 0,03 M <sup>3</sup> (V.CONCRETERA LABORATORIO)
Agua mez.	270	7686.4
Cemento	479	14370
Arena nat.	751	22524
Ripio nat.	697	20907

Relación A/C : 0,53

Tabla 3.8 Resultados cilindros Prediseño. (Dos muestras para cada resistencia).

MUESTRA	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	MASA	CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(kg)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)		
1	210	149,88	17642,02	301,72	11,91	459,50	46841,43	265,51	126,43	5 (ver gráfica 4.2)
2	210	153,21	18434,69	305,82	12,58	426,00	43426,44	235,57	112,18	5 (ver gráfica 4.2)
1	240	150,90	17882,97	302,49	12,05	561,60	57249,50	320,13	133,39	5 (ver gráfica 4.2)
2	240	153,87	18593,86	307,63	12,59	569,10	58014,05	312,01	130,00	4 (ver gráfica 4.2)
1	280	151,99	18143,45	302,75	12,19	606,20	61796,03	340,60	121,64	4 (ver gráfica 4.2)
2	280	150,84	17868,75	300,65	12,01	607,80	61959,13	346,75	123,84	4 (ver gráfica 4.2)

Grafico 3.1 Resistencia vs relación agua cemento cilindros de prueba muestras #1 (Edad 28 días).

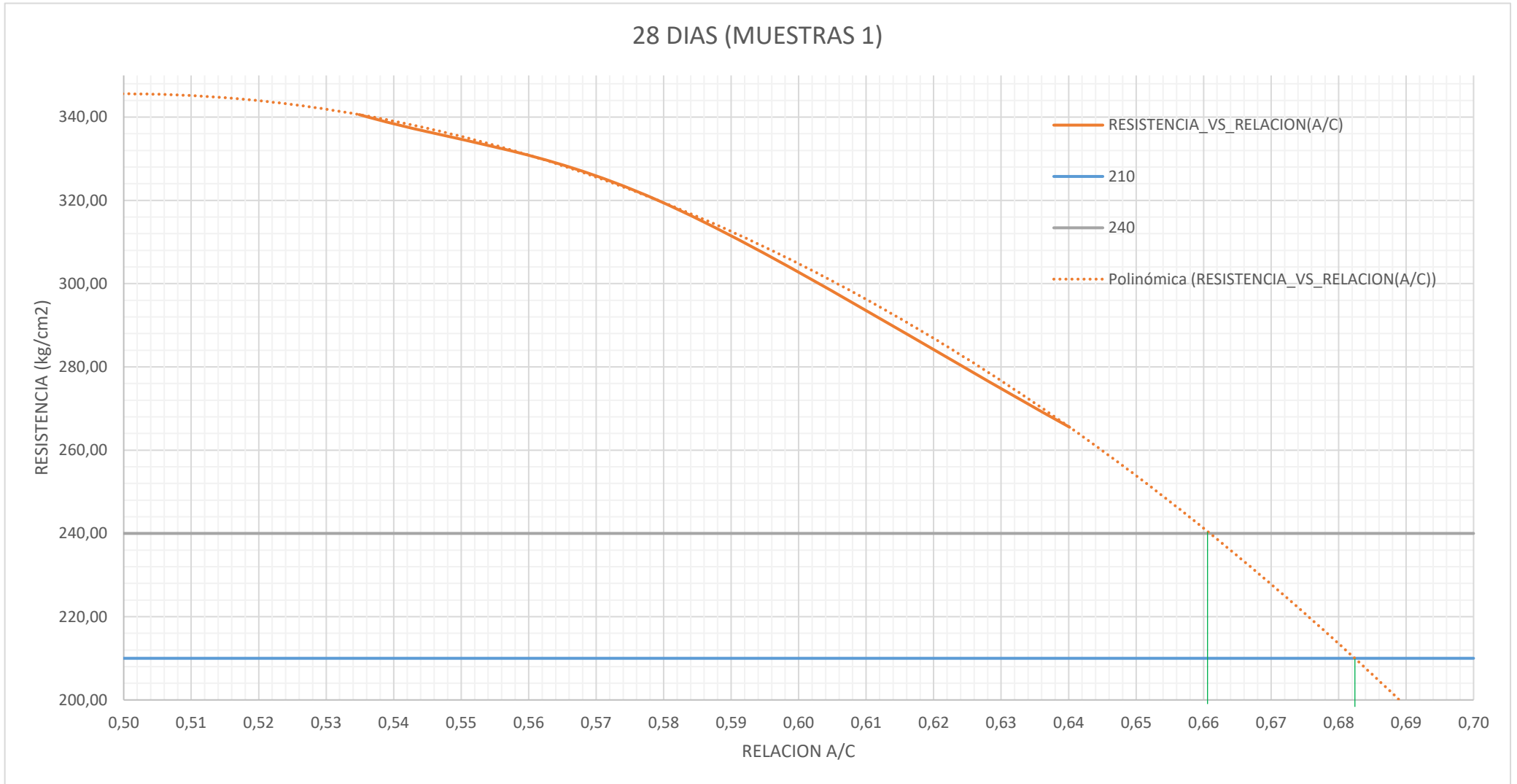
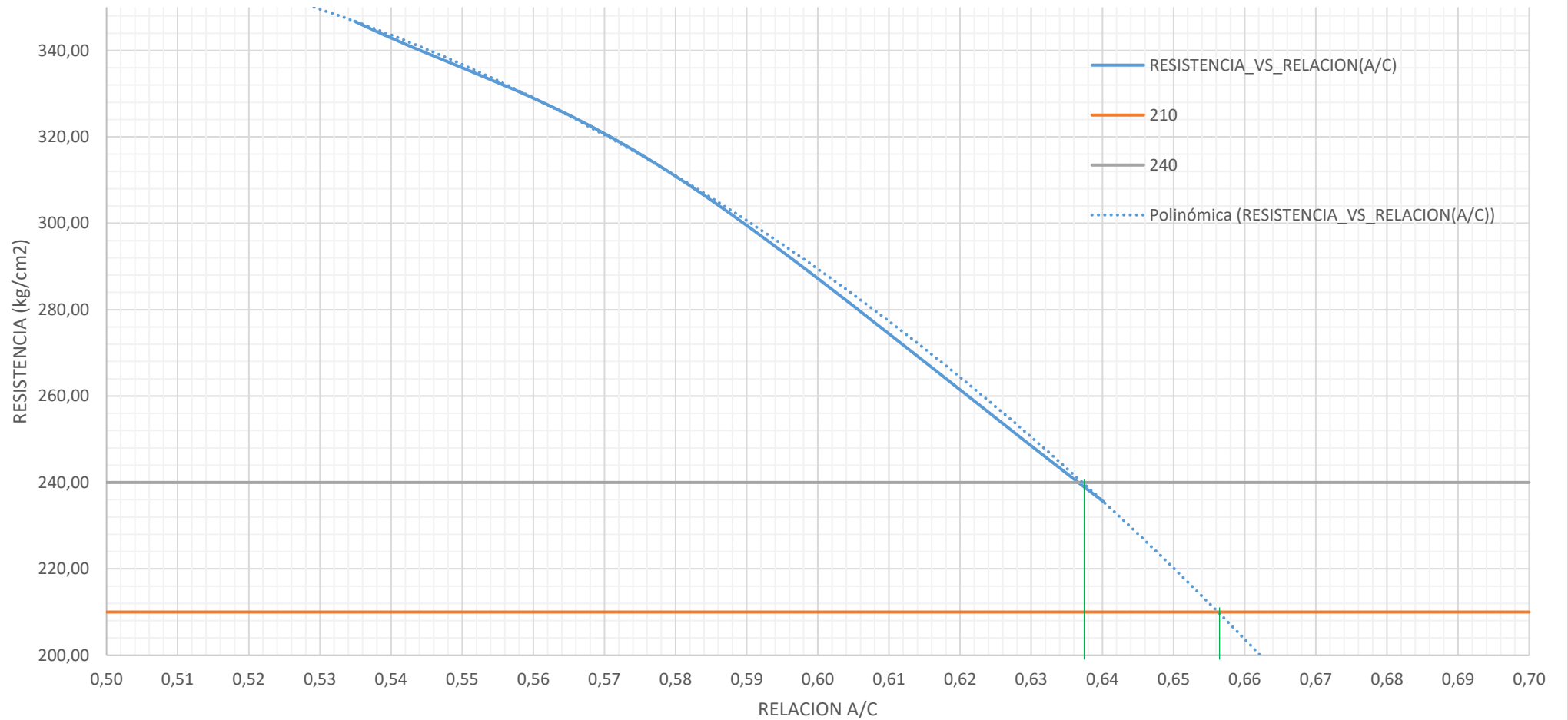


Grafico 3.2 Resistencia vs relación agua cemento cilindros de prueba muestras #2 (Edad 28 días).

### 28 DIAS (MUESTRAS 2)



De las gráficas 3.1 y 3.2 se obtiene la relación agua cemento para realizar los 120 cilindros a 210 Kg/cm<sup>2</sup> y los 120 cilindros para realizar los cilindros a 240 Kg/cm<sup>2</sup>, se trabaja con el promedio.

Tabla 3.9 Promedio de la relación A/C cilindros de prueba

RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	A/C DISEÑO FINAL		PROM
	#1	#2	
210	0,68	0,66	0,67
240	0,66	0,64	0,65

Una vez determinada la relación agua cemento se procede a calcular todos los valores detallados en 3.1 teniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.10 Resumen de materiales para dosificación 210 Kg/cm<sup>2</sup>

RESUMEN DE MATERIALES	Kg/m <sup>3</sup>	KILOGRAMOS PARA 0,26 M <sup>3</sup> (V.CONCRETERA 2 SACOS)
Agua mez.	261	67,79
Cemento	288	74,90
Arena nat.	849	220,79
Ripio nat.	788	204,94

Tabla 3.11 Resumen de materiales para dosificación 240 Kg/cm<sup>2</sup>

RESUMEN DE MATERIALES	Kg/m <sup>3</sup>	KILOGRAMOS PARA 0,252 M <sup>3</sup> (V.CONCRETERA 2 SACOS)
Agua mez.	263	66,25
Cemento	297	74,82
Arena nat.	877	220,92
Ripio nat.	814	205,06

## 3.2 Ensayos en el hormigón Fresco

Es de suma importancia saber el estado en el cual se encuentra el hormigón fresco, es decir su consistencia para los cual se realizan los siguientes ensayos:

### 3.2.1 Aire contenido en el Hormigón

El aire contenido en el hormigón fresco va a depender de la energía de compactación de la muestra, de la cantidad de burbujas de aire atrapadas dentro del recipiente y cuan uniformes y estables sean estas, se realizó este procedimiento para cada una de las paradas realizadas en la investigación, y variando así el resultado tomando en cuenta los factores detallados anteriormente y teniendo presente que se manejan dos resistencias. (Ver Anexo C.1)

Se tuvo como resultados los siguientes:

240 Kg/cm<sup>2</sup> (resistencia) = 2,25 % (contenido de aire)

210 Kg/cm<sup>2</sup> (resistencia) = 2,20% (contenido de aire)

### 3.2.2 Asentamiento

Es una medida de referencia que se tiene en cuanto a la consistencia del hormigón fresco, es decir cuan trabajable es el hormigón, entre más alta sea esta medida quiere decir que el trabajo para los operadores es más fácil de realizar, ya que el hormigón va a ser más moldeable y con un mejor acomodo dentro de cualquier tipo de encofrado que se tenga a disposición. Al igual que las maquinas que ayudan al transporte del material ya en obra.

La toma de esta medida se la realiza con la ayuda del Cono de Abrams, y un flexómetro como podemos (ver anexo C.2)

Asentamiento para todas las paradas de hormigón en sus dos resistencias = 8cm

### 3.2.3 Peso unitario

El peso unitario del hormigón fresco es en si la densidad no solo de la mezcla, sino más bien de cada uno de sus componentes, y tiene que ver mucho en cuanto a su dosificación ya que no todos los materiales utilizados en una mezcla de hormigón tienen una misma densidad, y estos varían en cuanto a su porcentaje, por otro lado también dependerá del tamaño máximo nominal del agregado grueso ya que al ser este mayor o menor el peso unitario será mayor o menor respectivamente. Al igual que su contenido de aire ya que el aire atrapado dentro del hormigón tiene un peso que estará contribuyendo al peso unitario de la mezcla.

Es un dato de mucha importancia, ya que se lo necesita para el transporte y para la colocación en obra, se lo calcula con la ayuda de un molde normado en el cual se procede a realizar las 3 capas compactadas a 25 golpes cada una, lo cual es de suma importancia ya que al no considerar la compactación estaríamos tomando el dato de un hormigón suelto del cual no se tiene referencia alguna.

Se realizaron tomas de estas medidas para cada una de las paradas con su respectiva resistencia teniendo los siguientes resultados: (Ver Anexo C.3)

240 Kg/cm<sup>2</sup> (resistencia) = 2,31 gr/cm<sup>3</sup> (peso unitario)

210 Kg/cm<sup>2</sup> (resistencia) = 2,30 gr/cm<sup>3</sup> (peso unitario)

## CAPÍTULO 4

### 4.1 ROTURA DE CILINDROS

A los 240 cilindros se los ensayó de acuerdo a la NORMA ASTM C469/C469M – 14, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, la cual no solo nos indica el procedimiento para ensayar cilindros y determinar su módulo de elasticidad estático, si no también nos indica cómo obtener el coeficiente de Poisson, ambos valores indispensables dentro de las características fundamentales de un material.

Se procedió a romper los cilindros de acuerdo con la tabla 1.1 en la cual nos podemos dar cuenta que se denominan por grupos al total de 240 cilindros, se inició la rotura de los cilindros correspondientemente a sus edad es decir, primero los cilindros de 7 días , después los de 14 días y por último los de 28 días, siendo el procedimiento de rotura y de obtención del módulo de elasticidad el siguiente teniendo en cuenta los parámetros que nos indica la norma ASTM.

#### 4.1.1 Preparación de la muestra:

##### *4.1.1.1 Medición de 2 diámetros.*

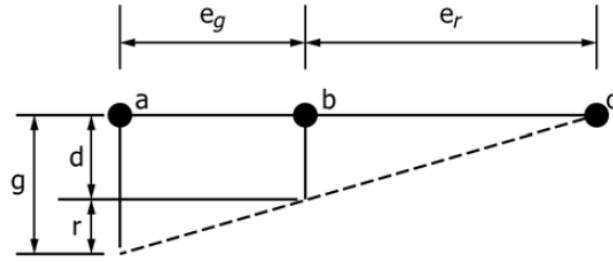
Se trabaja con el promedio de las 2 mediciones realizadas para calcular su área y en base a esta poder calcular el esfuerzo a cuál va a estar sometido el cilindro de hormigón.

##### *4.1.1.2 Medición de 3 alturas.*

Se trabaja con el promedio de las 3 mediciones realizadas para calcular la distancia a la cual debe ir colocada el compresómetro, este debe ir centrado entre la altura promedio del cilindro, estando este a una misma distancia desde el extremo superior al eje superior del compresómetro y de igual manera en el extremo inferior.

##### *4.1.1.3 Medición del valor EG y ER.*

Son valores de distancia los cuales se obtienen desde el centro geométrico del área del cilindro, hasta el eje EG y eje ER del compresómetro respectivamente, como nos indica la norma ASTM C469/C469M-14, valores con los cuales se calcula el factor K, el cual es un factor de corrección de la medida de deformación leída en el deformímetro del compresómetro, individual para cada cilindro para el cual se realiza el siguiente calculo detallado en la norma.



d = displacement due to specimen deformation  
 r = displacement due to rotation of the yoke about the pivot rod  
 a = location of gauge  
 b = support point of the rotating yoke  
 c = location of pivot rod  
 g = gauge reading

FIG. 2 Diagram of Displacements

Grafica 4.1 Diagrama de desplazamientos

Fuente: (ASTM C469/C469M-14)

#### Factor de corrección K

$$K = \frac{ER}{ER + EG}$$

$$d = K * g$$

Donde:

d: medida real de la deformación de la muestra.

K: factor de corrección.

g: medida leída en el deformímetro.

#### 4.1.1.4 Medición de la altura del compresómetro (constante para todos los cilindros).

Es una medida de longitud, es la altura del compresómetro constante para todos los ensayos, es el valor con el cual se calcula la deformación unitaria del hormigón ya que para determinar este valor se necesita una longitud inicial y una final para celular su deformación lineal, siendo la altura del compresómetro su longitud inicial.

#### 4.1.1.5 Toma del peso del cilindro.

Es una medida individual para cada cilindro, la cual se la obtiene para calcular su densidad una vez que el hormigón ya está fraguado.

## 4.1.2 Ensayo para la determinación del módulo de elasticidad según la norma ASTM C469/C469M-14.

### 4.1.2.1 Dato carga máxima.

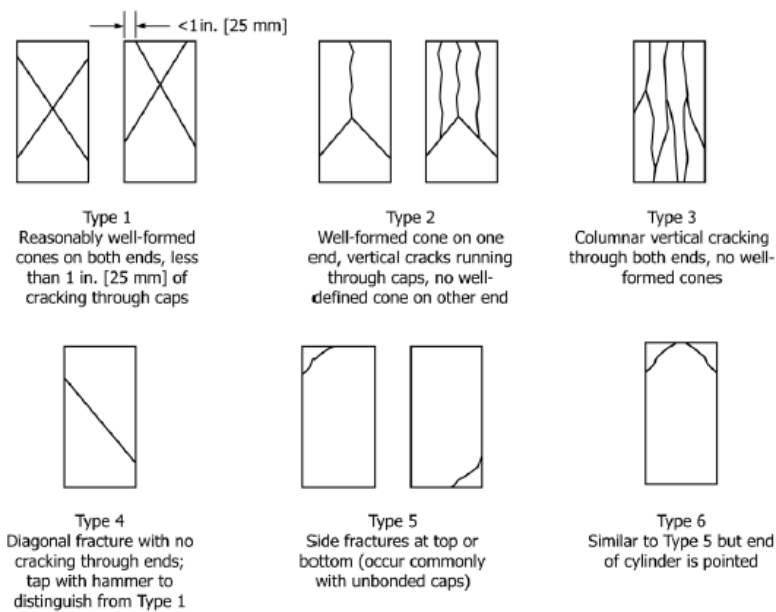
Es una medida de fuerza en Newtons la cual nos indica la carga máxima a la cual la muestra de hormigón falla.

### 4.1.2.2 Deformación lineal obtenida del compresómetro.

Es una medida de longitud lineal, la cual se lee cada 25000 Newtons, nos permite calcular la deformación unitaria del hormigón, sabiendo su longitud inicial.

### 4.1.2.3 Tipo de falla del hormigón.

Se evalúa la falla que tuvo cada cilindro del hormigón de acuerdo al siguiente gráfico:



Gráfica 4.2 Esquema de fallas típicas de muestras de hormigón.

Fuente: ASTM C39/C39M – 17b

### 4.1.2.4 Obtención del módulo de elasticidad.

Mediante el uso de la norma ASTM se pudo saber, no solo el valor de la carga máxima, sino también la deformación lineal a la cual está sometida la probeta de hormigón de acuerdo a la carga correspondiente, es así, que mediante la correlación de estos dos valores, el primero, la carga (Néwtones) acompañada del área en la cual se aplica esta

(mm<sup>2</sup>), y el segundo, su deformación unitaria (mm/mm), se puede obtener el valor del módulo de elasticidad correspondiente a una probeta de hormigón en las unidades más usadas comúnmente, (MPa) y (Kg/cm<sup>2</sup>).

Una vez que el hormigón alcanza su carga máxima, a este valor se lo denomina punto de falla, en el cual se lee el valor de carga y deformación, características las cuales se las obtiene mediante este procedimiento, los cuales no se los obtiene mediante otras normas en la cuales las probetas de hormigón son ensayadas solamente a carga simple y se lee solo el valor de su carga máxima, mediante la aplicación de la norma en estudio ASTM C469/C469M – 14 u otras normas el cilindro llega al punto de falla teniendo como resultado el valor de carga máxima, acompañado de un tipo de falla, detallado con un número dependiendo de su ángulo o inclinación de su línea de falla, analizado previamente.

La norma ASTM no indica la siguiente fórmula para la obtención del módulo de elasticidad:

$$E = \frac{0,4 T_{max} - T_{0,00005}}{\varepsilon_{0,4 T_{max}} - 0,00005}$$

Donde:

$T_{max}$  : Esfuerzo de compresión máximo.

$T_{0,00005}$  : Esfuerzo de compresión correspondiente a 0,00005 mm/mm (deformación unitaria).

$\varepsilon_{0,4 T_{max}}$  : Deformación unitaria correspondiente al 40% del esfuerzo máximo.

#### ***4.1.2.5 Determinación del factor de la ecuación del módulo de elasticidad.***

Es el factor por el cual habría que multiplicar a la raíz de la resistencia característica de cada cilindro y la ACI nos plantea la siguiente ecuación:

$$E = factor * \sqrt{f'c}$$

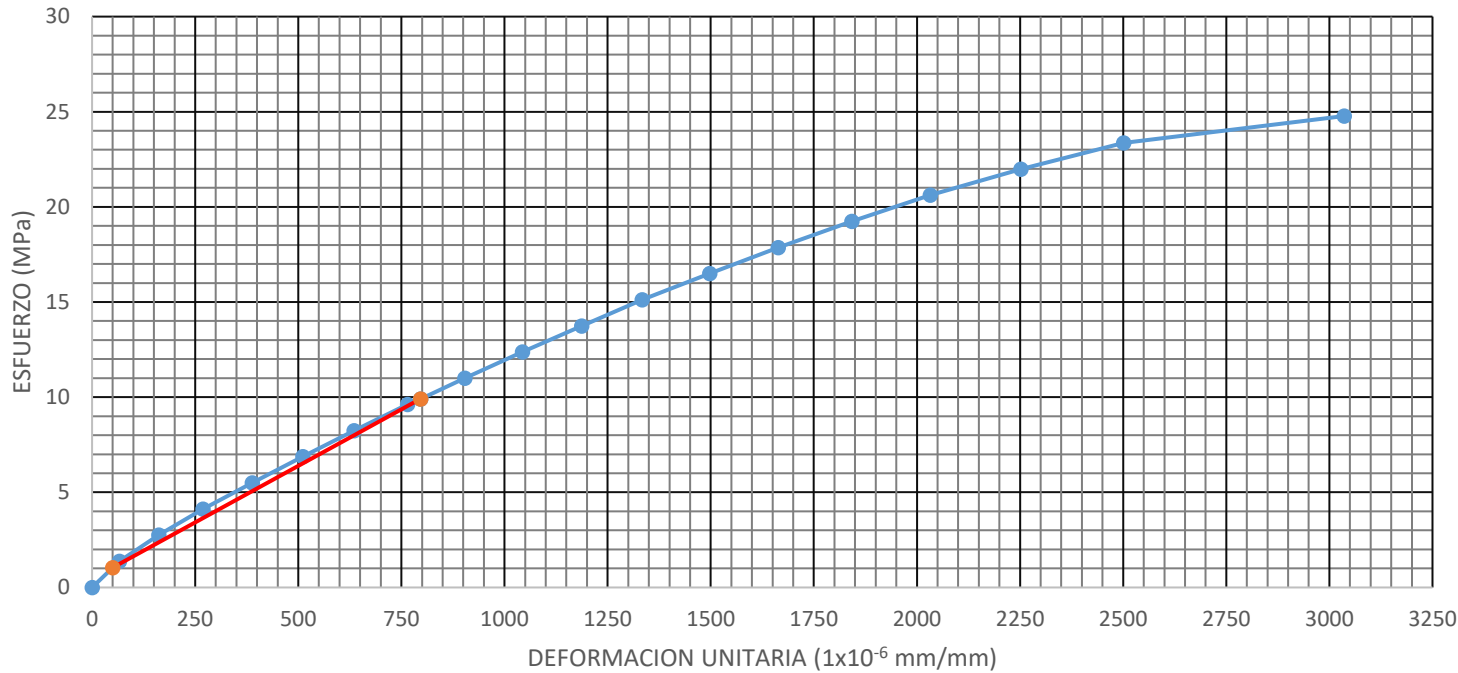
$$factor = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

## **4.2 Análisis de resultados**

Una vez efectuado todos los cálculos en una hoja de Excel se la replicó para cada uno de los grupos de cilindros, correspondientemente a su edad y a su resistencia, teniendo los siguientes resultados y realizando el siguiente procedimiento para la obtención del módulo de elasticidad de cada uno de los cilindros con su respectivo factor en las unidades correspondientes.

Se detalla a continuación la resolución con todos sus cálculos y ecuaciones de un solo cilindro cabe recalcar que este procedimiento se realizó 240 veces para todos los cilindros.

GRAF: 1.1.1 - DIAGRAMA: ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA



ESFUERZO		DEFORMACION UNITARIA
Mpa (N/mm2)	Kg/cm2	x10e-6 mm/mm
0	0	0,00
1,37	14,01	65,95
2,75	28,03	161,21
4,12	42,04	268,68
5,50	56,05	388,36
6,87	70,07	510,49
8,25	84,08	635,06
9,62	98,10	764,51
9,91	101,05	796,26
10,99	112,11	903,74
12,37	126,12	1042,96
13,74	140,14	1187,07
15,12	154,15	1333,62
16,49	168,16	1497,27
17,87	182,18	1663,36
19,24	196,19	1841,67
20,61	210,20	2032,18
21,99	224,22	2252,01
23,36	238,23	2501,15
24,77	252,63	3036,06
		40 % CARGA MAXIMA

$$E = \frac{0,4 T_{max} - T_{0,00005}}{\epsilon_{0,4 T_{max}} - 0,00005}$$

$$0,4 T_{max} = 9,91 MPa$$

$$T_{0,00005} = 1,04 MPa$$

$$\epsilon_{0,4 T_{max}} = 796,26 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$$

$$E = 11883,03 MPa = 121171,28 Kg/cm^2$$

$$E = factor * \sqrt{f'c} \Rightarrow factor = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$factor = \frac{11883,03 MPa}{\sqrt{24,77 MPa}} = 2387,39$$

$$factor = \frac{121171,28 Kg/cm^2}{\sqrt{252,63 Kg/cm^2}} = 7623,61$$

### 4.3 Determinación de la ecuación del Módulo de elasticidad

La investigación se basa en la ecuación propuesta en la ACI expresada anteriormente y una vez determinado el valor del factor a usarse en cada uno de los cilindros se busca trabajar con el promedio, sin embargo debemos establecer límites los cuales nos dejen con un valor más confiable, para esto se debe recurrir a un método estadístico, el cual nos permita tener resultados confiables, se utilizara el método estadístico T-STUDENT, (método T), el cual es un método estadístico que nos permite trabajar con varios grupos de datos y al final obtener el promedio de estos grupos ya mencionados. Utilizando el siguiente procedimiento (Ver anexo C).

Desviación típica o estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde:

$X_i$  = Dato

$\bar{x}$  = Media de la muestra

$n$  = Tamaño de la muestra

Grados de libertad:

$$v = n - 1$$

Nivel de confianza:

Se utiliza el 95% ya que hay varios factores los cuales influyen dentro de la investigación.

Intervalo de confianza:

$$IC = \bar{X} \pm t_{n-1, \alpha/2} * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$t_{n-1, \alpha/2}$  = Es el valor t usando la probabilidad  $\alpha/2$

Error estándar de la media:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Teniendo en cuenta que el intervalo de confianza tiene rango superior y un inferior se desprecian varios valores de cada tabla correspondientemente y se trabaja con el promedio.

Todos los datos detallados previamente en este capítulo se presentan en las tablas del Anexo D.

A continuación se presenta la tabla de resumen ya con los valores promedio una vez aplicado el método estadístico:

RESUMEN DE PROMEDIOS CORREGIDOS		7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
		MODULO	FACTOR	MODULO	FACTOR	MODULO	FACTOR
210	L	101091,46	9330,85	112115,35	8997,60	122672,48	8399,93
	X	100579,71	8572,20	111252,65	8347,01	129620,72	9167,46
240	P	100325,78	7961,54	113198,38	7952,50	120749,68	7643,70
	S	98206,29	9011,41	118818,35	8308,32	130369,44	7592,48
	PROM	100050,81	8719,00	113846,18	8401,36	125853,08	8200,89
						DESV.ESTAN.	742,63

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES

- La ecuación para obtener el valor del Módulo de elasticidad secante del hormigón, teniendo en cuenta que se utiliza materiales de la mina “FUCUSUCU III” y cemento HOLCIM Tipo I, a los 28 días de edad, es:

$$E = 8200 * \sqrt{f_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

- La ecuación propuesta por esta investigación representa al 54.3 % de la propuesta por el código ACI 318, siendo este factor 15100, el cual no se cumple dentro de la zona de estudio (San Antonio de Pichincha).
- El Módulo de Elasticidad es un valor que no solo depende de la resistencia característica a la compresión del hormigón, si no es un valor que depende de las características físico-mecánicas de sus agregados y la dosificación.
- El Módulo de Elasticidad es un valor que depende de la edad del hormigón, ya que se pudo observar un valor mayor a 28 días comparado con el valor a 14 y 7 días respectivamente.

MODULO - EDAD		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
		MODULO	MODULO	MODULO
210	L	101091,46	112115,35	122672,48
	X	100579,71	111252,65	129620,72
240	P	100325,78	113198,38	120749,68
	S	98206,29	118818,35	130369,44
	PROM	100050,81	113846,18	125853,08

- El agregado grueso de la mina de FUCUSUCU III, tuvo un desgaste en el ensayo de abrasión del 55.05% promedio de dos ensayos consecutivos, sobrepasando los requisitos de la norma INEN NTE 872 para agregados en la utilización de hormigón, el cual especifica un valor de desgaste máximo permisible del 50%, lo cual nos indica que es un agregado de baja resistencia y durabilidad, es decir de mala calidad, lo que puede influir en la determinación del módulo de elasticidad.

- El módulo de elasticidad al ser un valor más pequeño dentro del diseño del hormigón armado, afecta notablemente en las deformaciones reales del hormigón, ya que estas van a ser mayores en la práctica, al tener un módulo de elasticidad menor al de diseño.
- El agregado grueso corresponde al número de tamaño 467 de la tabla 2. Requisitos de Gradación para agregado Grueso de la norma INEN NTE 872 y tamaño máximo de 2 pulg, este incumple los límites de gradación ya que presenta mayor cantidad de finos de lo establecido en la norma antes mencionada.
- El análisis granulométrico del agregado fino nos muestra que existe un porcentaje mayor de finos que pasan el tamiz 100, por lo que incumple los límites para agregado fino establecidos en la norma INEN NTE 872 en la elaboración de hormigones, por lo que puede presentar problemas de trabajabilidad, bombeo o exudación excesiva.
- El valor de 15100 especificado en la norma ACI 318 no toma en cuenta las propiedades físico-mecánicas de los agregados, por lo tanto no corresponde este valor a la zona en análisis, ni a la cantera en estudio, se concluye que es necesario realizar un estudio de los materiales pétricos de cada cantera.
- Los agregados de la cantera FUCUSUCU III no cumplen con las características deseadas para llegar a un factor del módulo de elasticidad de 15100, debido a que su material es de baja calidad para el diseño de hormigón, por lo cual no se debería usar este factor ya que se estaría sobredimensionando el valor del módulo de elasticidad y por lo tanto su rigidez.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar cilindros de prediseño para realizar la gráfica Resistencia vs Relación A/C (Graf: 3.1), en la cual se pueda estimar el valor más aproximado de la Relación A/C requerida, para la resistencia a diseñar.
- Se recomienda mantener en condiciones estables de humedad a los materiales y evaluar esta característica antes de iniciar cada dosificación, ya que el contenido de humedad es un parámetro sumamente importante para calcular la cantidad de agregados en estado natural.
- Se recomienda hacer lecturas de deformación en milímetros cada 25 K-Newtons, en el ensayo de carga-deformación, ya que es un valor de fácil lectura, con los cuales se pueda obtener la gráfica Esfuerzo vs Deformación Unitaria y en la cual se pueda trazar la recta secante a la curva para obtener así el módulo de elasticidad, siendo este valor, la tangente de dicha recta.

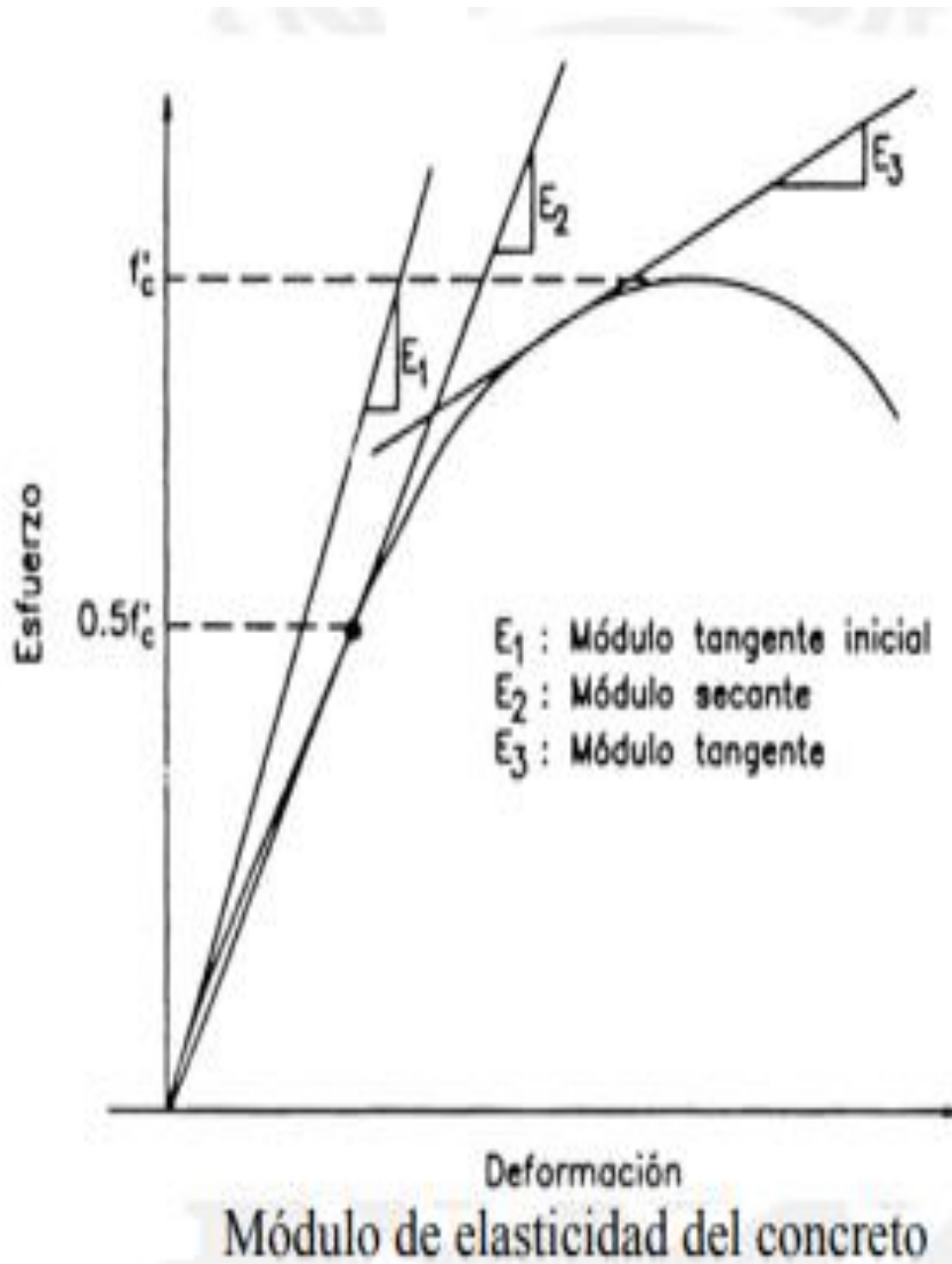
- La norma NTE INEN 872 recomienda en el caso de agregado fino que tiene porcentajes que pasan el tamiz No.50 y No. 100 cercanos a los mínimos especificados la incorporación de aire o aditivos minerales que mejoren el desempeño del hormigón.
- Se recomienda tamizar el agregado grueso y desechar parte del material que pasa el tamiz No. 3/8" y se retiene en el tamiz No 4 y desechar todo el material que pase el tamiz No 4 para que cumpla con el requisito de gradación del Número de Tamaño 467, tabla 2 de la norma NTE INEN 872.
- Se recomienda realizar el mismo estudio, variando; los agregados, el sector de la mina, el tipo de cemento, la resistencia de diseño y su dosificación, para obtener una base de datos adecuada en cuanto al valor del módulo de elasticidad característico para cada cantera.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. (2001). Metodo Estandar para la Determinacion de la Gravedad Especifica y Absorción de Agregados. *ASTM C-127*. West Conshohocken, Estado Unidos. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/270176000/ASTM-C-127>
- ASTM. (2014). METODO ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO Y DE LA RELACION DE POISON DEL CONCRETO SOMETIDO A COMPRESION. *C469/C469*,. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.
- ASTM. (3 de Abril de 2017). Metodo de Prueba para Analizar el Tamiz de los Agregados Finos y Gruesos. *ASTM C-136*. West Conshohocken, ESTADOS UNIDOS.
- Caballero, M. (15 de MAYO de 2013). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/141685109/Definicion-de-contenido-de-humedad>
- Caizaluisa Jácome , V. C., & Criollo Andagoya , S. A. (Octubre de 2015). CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL PLAN DE CIERRE Y LIQUIDACIÓN DE LAS CANTERAS UBICADAS EN LAS PARROQUIAS DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA (“FUCUSUCU III”) Y DE PÍNTAG (“ESPERANZA”). *Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el Título de Ingenieras en Geología Grado Académico de Tercer Nivel.*, 106. Quito, Ecuador.
- De la Rosa Serrano, C. U. (17 de Septiembre de 2014). Inovacion para el tratamiento de agregados contaminados con arcilla. *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO*. Obtenido de <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/tecnologia/281-innovaciones-para-el-tratamiento-de-agregados-contaminados-con-arcilla>
- García, E. (2013). MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ( $f'_c = 24\text{MPa}$ ), FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA VILLACRES, UBICADA EN EL SECTOR DE LA PENINSULA CANTÓN AMBATO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO HOLCIM. *TRABAJO DE GRADUACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL*, 258. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- imcyc. (Junio de 2004). Para hacer un buen concreto. *Conceptos Basicos del Concreto*, 8. Obtenido de <http://www.imcyc.com/cyt/junio04/CONCEPTOS.pdf>
- INEN 872, N. (2011). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 872:2011. *Aridos para Hormigón. Requisitos, Primera*. Quito, Ecuador.
- INTITUTO GEOFÍSICO, E. (2016). *INFORME SISMICO ESPECIAL N°35-2016*. QUITO.
- Jiménez, P., García, Á., & Morán, F. (2000). *HORMIGÓN ARMADO TOMO I* (14 ed.). Barceloma, España: Gustavo Gili, S.A. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/88344576/Hormigon-Armado-14-Edicion-Jimenez-Montoya>
- Lambe, W., & Whitman , R. (1997). *Mecanica de Suelos*. Mexico: Lumisa.
- Morales, D., Ojeda, F., Rodríguez, D., & Rosero, A. (2012). MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN. *Trabajo de Graduación*, 307. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

- Pacheco, D. (2013). Estudio Geológico de las Formaciones Cuaternarias en la Zona de San Antonio de Pichincha-Pomasqui. Quito, Pichincha, Ecuador: Tesis de grado. Universidad Politecnica del Ecuador.
- Pacheco, D. A. (ENERO de 2014). ESTRATIGRAFIA DE LA CUENCA DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA. *REVISTA POLITECNICA*, 33(3), 9. doi:1390-0129
- Raul, C. (2016). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO I*. LOS PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD, UNIVERSIDAD SAN INGNACIO DE LOYOLA , INGENIERÍA CIVIL .
- Romo, M. (Octubre de 2008). Temas de Hormigon Armado. Quito, Ecuador.
- SANCHES, D. (2001). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO* (QUINTA ed.). BOGOTÁ, COLOMBIA: BHANDAR EDITORES LTDA.
- UCA. (2016). *DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO*. Especificaciones Tecnicas, Universidad Centroamericana "José Simeon Cañas, Ingeniería, San Salvador. Obtenido de <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/DETERMINACION%20DEL%20PESO%20ESPECIFICO%20DEL%20CEMENTO.pdf>
- UCA. (s.f.). Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) , Y Absorcion del Agregado. *Norma Tecnica*. San Salvador, El Salvador.

## **ANEXOS**



Anexo B.1. Cantera FUCUSUCU III



(Fuente propia).

## ANEXO B.2

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA CIVIL

---

### LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0858; ASTM C-29; AASHTO T-19

**ENSAYO:** 01

#### B.2.1 ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

MASA MATERIAL SUELTO  $M_s = A - P = 13.25 \text{ Kg}$

MASA MATERIAL COMPACTO  $M_c = B - P = 14.19 \text{ Kg}$

PESO UNITARIO SUELTO  $P_{ux} = \frac{M_s}{V} = 1.33 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

PESO UNITARIO COMPACTO  $P_{uc} = \frac{M_c}{V} = 1.43 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO  $A = 21.78 \text{ Kg}$

MASA DE MOLDE + MATERIAL COMPACTO  $B = 22.72 \text{ Kg}$

MASA MOLDE  $P = 8.53 \text{ Kg}$

VOLUMEN MOLDE  $V = 9.95$

OBSERVACIONES:

---

---

---

---

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0858; ASTM C-29; AASHTO T-19

**ENSAYO:** 02

**B.2.2 ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO**

MASA MATERIAL SUELTO  $M_s = A - P = 13.2 \text{ Kg}$

MASA MATERIAL COMPACTO  $M_c = B - P = 14.48 \text{ Kg}$

PESO UNITARIO SUELTO  $P_{ux} = \frac{M_s}{V} = 1.33 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

PESO UNITARIO COMPACTO  $P_{uc} = \frac{M_c}{V} = 1.46 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO  $A = 21.73 \text{ Kg}$

MASA DE MOLDE + MATERIAL COMPACTO  $B = 23.01 \text{ Kg}$

MASA MOLDE  $P = 8.53 \text{ Kg}$

VOLUMEN MOLDE  $V = 9.95$

OBSERVACIONES:

---

---

---

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0858; ASTM C-29; AASHTO T-19

**ENSAYO:** 01

**B.2.3 ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO**

MASA MATERIAL SUELTO  $M_s = A - P = 4.815 \text{ Kg}$

MASA MATERIAL COMPACTO  $M_c = B - P = 5.295 \text{ Kg}$

PESO UNITARIO SUELTO  $P_{ux} = \frac{M_s}{V} = 1.62 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

PESO UNITARIO COMPACTO  $P_{uc} = \frac{M_c}{V} = 1.78 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO  $A = 9.865 \text{ Kg}$

MASA DE MOLDE + MATERIAL COMPACTO  $B = 10.345 \text{ Kg}$

MASA MOLDE  $P = 5.05 \text{ Kg}$

VOLUMEN MOLDE  $V = 2.98$

OBSERVACIONES:

---

---

---

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA CIVIL

---

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0858; ASTM C-29; AASHTO T-19

**ENSAYO:** 02

**B.2.4 ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO**

MASA MATERIAL SUELTO  $M_s = A - P = 4.83 \text{ Kg}$

MASA MATERIAL COMPACTO  $M_c = B - P = 5.23 \text{ Kg}$

PESO UNITARIO SUELTO  $P_{ux} = \frac{M_s}{V} = 1.62 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

PESO UNITARIO COMPACTO  $P_{uc} = \frac{M_c}{V} = 1.76 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO  $A = 9.88 \text{ Kg}$

MASA DE MOLDE + MATERIAL COMPACTO  $B = 10.28 \text{ Kg}$

MASA MOLDE  $P = 5.05 \text{ Kg}$

VOLUMEN MOLDE  $V = 2.98$

OBSERVACIONES:

---

---

---

**ANEXO B.3**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0857:83; ASTM C-128; AASHTO T- 85

**ENSAYO:** 01

**B.3.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

$$M_o = -Mmwm + (Mn + B)$$

$$Ge = \frac{A}{M_o}$$

$$Ges = \frac{B}{M_o}$$

$$Gea = \frac{A}{Mn - Mmwm + A}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

MASA DEL MATRAZ	$Mm = 149.3$
MASA DEL CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	$Mmwm = 952.1$
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$B = 500$
MASA MUESTRA SECA	$A = 477.58$
MASA DEL AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	$Mn = 647.3$
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	$Ge = 2.44$
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$Ges = 2.56$
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	$Gea = 2.76$
ABSORCIÓN	$Ab =$

OBSERVACIONES:

---

---

---

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0857:83; ASTM C-128; AASHTO T- 85

**ENSAYO:** 02

**B.3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

$$M_o = -Mmwm + (Mn + B)$$

$$Ge = \frac{A}{M_o}$$

$$Ges = \frac{B}{M_o}$$

$$Gea = \frac{A}{Mn - Mmwm + A}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

MASA DEL MATRAZ	$Mm = 159.8$
MASA DEL CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	$Mmwm = 962.6$
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$B = 500$
MASA MUESTRA SECA	$A = 478.8$
MASA DEL AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	$Mn = 657.8$
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	$Ge = 2.45$
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$Ges = 2.56$
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	$Gea = 2.75$
ABSORCIÓN	$Ab =$

OBSERVACIONES:

---

---

---

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0857:83; ASTM C-128; AASHTO T- 85

**ENSAYO:** 01

**B.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO**

$$Ge = \frac{A}{B-C}$$

$$Ges = \frac{B}{B-C}$$

$$Gea = \frac{A}{A-C}$$

$$Ab = \frac{B-A}{A} \times 100$$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$B = 5000$
MASA MUESTRA SECA	$A = 4800$
MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA EN AGUA	$C = 3027$
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	$Ge = 2.43$
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$Ges = 2.53$
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	$Gea = 2.71$
ABSORCIÓN	$Ab = 4.17$

OBSERVACIONES:

---

---

---

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0857:83; ASTM C-128; AASHTO T- 85

**ENSAYO:** 02

**B.3.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO**

$$Ge = \frac{A}{B-C}$$

$$Ges = \frac{B}{B-C}$$

$$Gea = \frac{A}{A-C}$$

$$Ab = \frac{B-A}{A} \times 100$$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$B = 6000$
MASA MUESTRA SECA	$A = 5790$
MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA EN AGUA	$C = 3632$
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	$Ge = 2.44$
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$Ges = 2.53$
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	$Gea = 2.68$
ABSORCIÓN	$Ab = 3.62$

OBSERVACIONES:

---

---

---

**ANEXO B.4**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0862:83; ASTM C-566;

**ENSAYO:** 01

**B.4.1 HUMEDAD NATURAL DE AGREGADOS FINOS**

$$W \% = \frac{B}{A} X 100$$

ENSAYO N°	1	2
MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	331.3	390.4
A MASA SECA DE LA MUESTRA (gr)	330.58	389.67
B MASA DEL AGUA (gr)	0.72	0.73
PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL	0.22	0.19

OBSERVACIONES:

---

---

---

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0862:83; ASTM C-566;

**ENSAYO:** 01

**B.4.2 HUMEDAD NATURAL DE AGREGADOS GRUESO**

$$W \% = \frac{B}{A} \times 100$$

ENSAYO N°	1	2
MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	971.8	972.3
A MASA SECA DE LA MUESTRA (gr)	971.2	971.8
B MASA DEL AGUA (gr)	0.6	0.5
PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL	0.062	0.051

OBSERVACIONES:

---

---

---

**ANEXO B.5**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0857:83; ASTM C-128; AASHTO T- 85

**ENSAYO:** 01

**B.5.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

$$M_o = M_{mwm} - (M_m + B)$$

$$Ge = \frac{A}{500 - M_o}$$

$$Ges = \frac{B}{500 - M_o}$$

$$Gea = \frac{A}{500 + M_m - M_{mwm}}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

MASA DEL MATRAZ

$M_m =$

MASA DEL CONJUNTO  
MATRAZ, AGUA Y MUESTRA

$M_{mwm} =$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON  
SUPERFICIE SECA

$B = 500$

MASA MUESTRA SECA

$A = 478.08$

MASA DEL AGUA AÑADIDA AL MATRAZ

$M_n =$

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK

$Ge =$

GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA  
CON SUPERFICIE SECA

$Ges =$

GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE

$Gea =$

ABSORCIÓN

$Ab = 4.58$

OBSERVACIONES:

---

---

---

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0857:83; ASTM C-128; AASHTO T- 85

**ENSAYO:** 02

**B.5.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

$$M_o = Mmwm - (Mm + B)$$

$$Ge = \frac{A}{500 - M_o}$$

$$Ges = \frac{B}{500 - M_o}$$

$$Gea = \frac{A}{500 + Mm - Mmwm}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

MASA DEL MATRAZ

$Mm =$

MASA DEL CONJUNTO  
MATRAZ, AGUA Y MUESTRA

$Mmwm =$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON  
SUPERFICIE SECA

$B = 500$

MASA MUESTRA SECA

$A = 477.58$

MASA DEL AGUA AÑADIDA AL MATRAZ

$Mn =$

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK

$Ge =$

GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA  
CON SUPERFICIE SECA

$Ges =$

GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE

$Gea =$

ABSORCIÓN

$Ab = 4.69$

OBSERVACIONES:

---



---



---

**ANEXO B.6****PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR****FACULTAD DE INGENIERÍA****CARRERA CIVIL****LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES****TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena**FECHA:****NORMA:** NTE INEN 0696; ASTM C-136; AASHTO T- 27**ENSAYO:** 01**B.6.1 GRANULOMETRÍA POR MALLAS AGREGADO GRUESO**

Identificación del Material		Grueso			
Masa Inicial		20 Kg			
MALLA Nº	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL(gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3"	76.2				
2½"	64				
2"	50.8	0.15	0.15	0.75	99.25
1½"	38.1	0.175	0.325	1.625	98.375
1"	25.4	3.245	3.57	17.85	82.15
¾"	19	3.205	6.775	33.875	66.125
½"	12.7	6.36	13.135	65.675	34.325
⅜"	9.51	2.265	15.4	77	23
No 4	4.76	2.94	18.34	91.7	8.3
No 8	2.36	0.36	18.7	93.5	6.5
Pasa No 8	2.36	1.3	20	100	0

OBSERVACIONES:

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

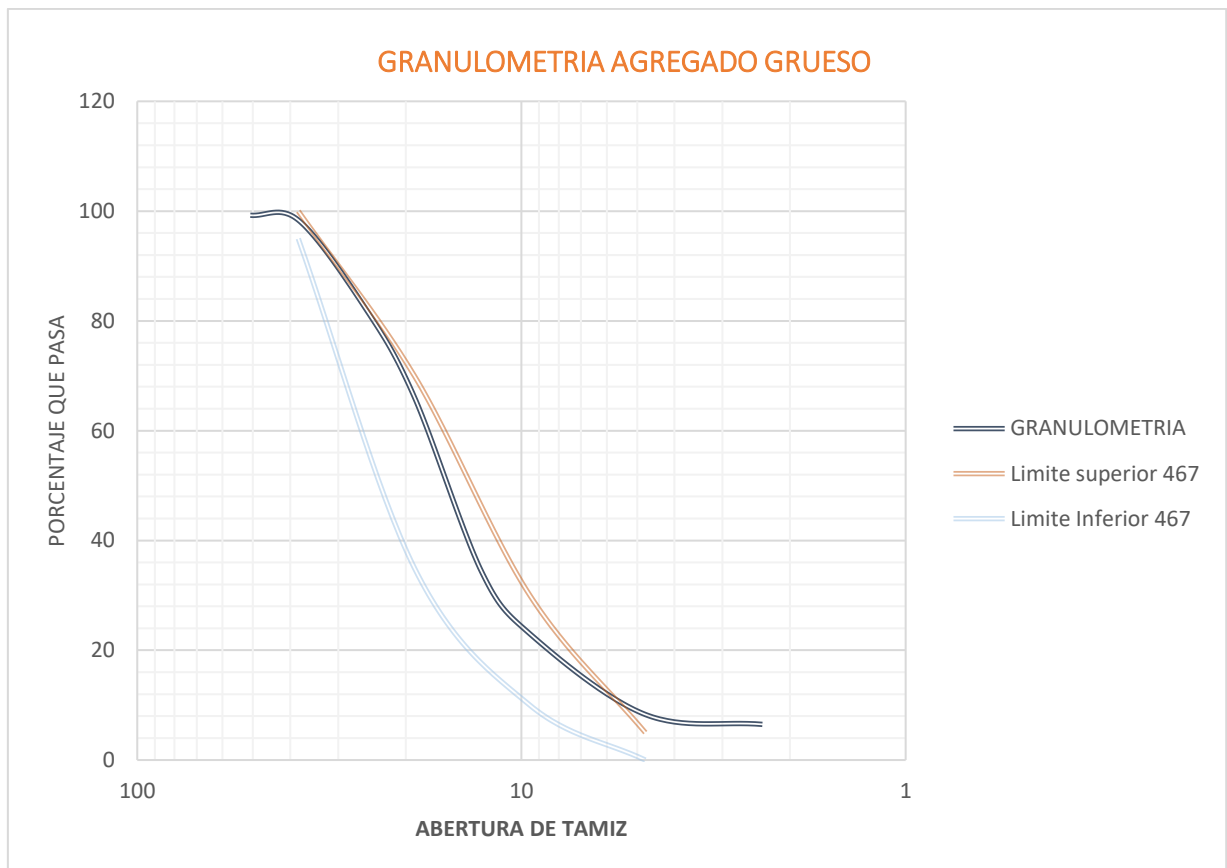
**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0696; ASTM C-136; AASHTO T- 27

**ENSAYO:** 01

**B.6.1.1 GRANULOMETRÍA POR MALLAS AGREGADO GRUESO**



**OBSERVACIONES:**

LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO SOBRESALE LIGERAMENTE LOS LIMITES NORMADOS (NO CUMPLE LOS REQUISITOS PARA LA REALIZACIÓN DE HORMIGONES SEGÚN NORMA INEN 872).

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0696; ASTM C-136; AASHTO T- 27

**ENSAYO:** 02

**B.6.2 GRANULOMETRÍA POR MALLAS AGREGADO GRUESO**

Identificación del Material		Grueso			
Masa Inicial		20 Kg			
MALLA Nº	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL(gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3"	76.2				
2½"	64	0.325	0.325	1.625	98.375
2"	50.8	0.185	0.51	2.55	97.45
1½"	38.1	0.095	0.605	3.025	96.975
1"	25.4	3.905	4.51	22.55	77.45
¾"	19	5.76	10.27	51.35	48.65
½"	12.7	6.2	16.47	82.35	17.65
⅜"	9.51	1.8	18.27	91.35	8.65
No 4	4.76	1.055	19.325	96.625	3.375
No 8	2.36	0.095	19.42	97.1	2.9
Pasa No 8		0.58	20	100	0

OBSERVACIONES:

---



---



---

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

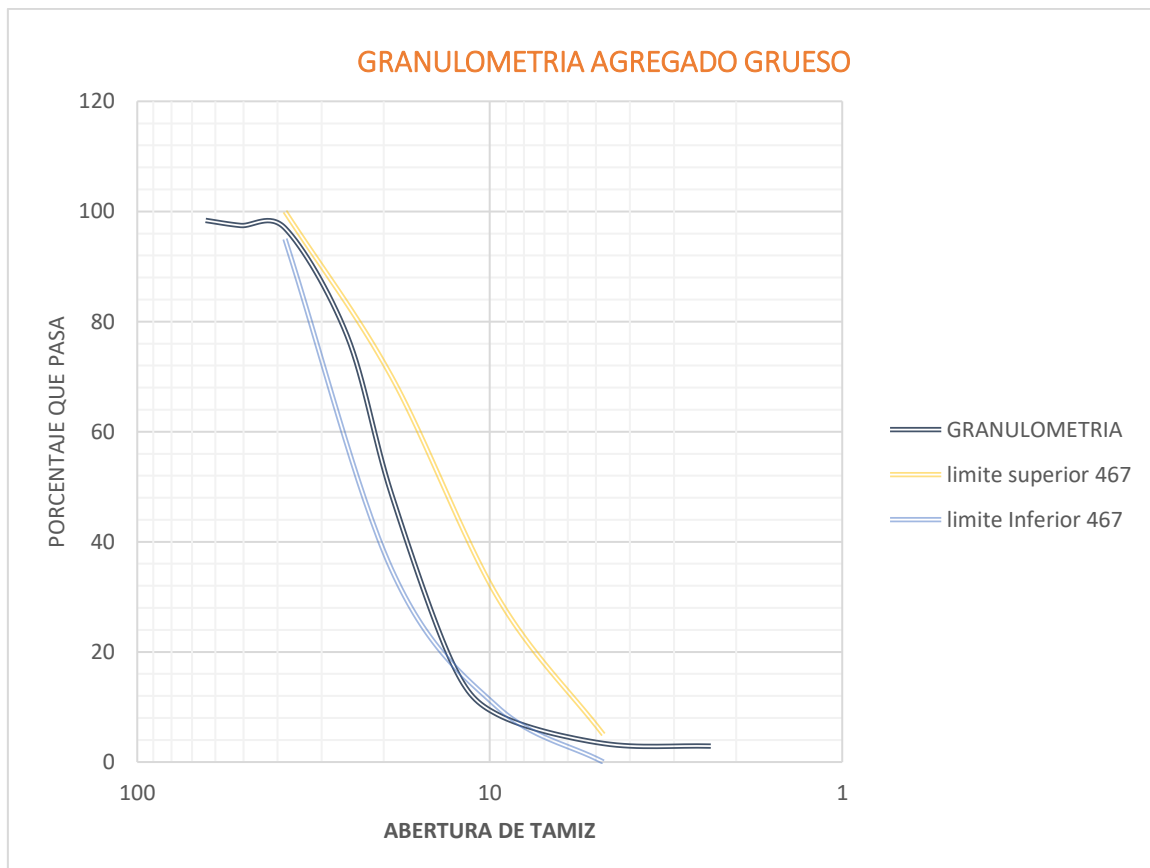
**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0696; ASTM C-136; AASHTO T- 27

**ENSAYO:** 02

**B.6.2.1 GRANULOMETRÍA POR MALLAS AGREGADO GRUESO**



**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_ LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO SOBRESALE LOS LÍMITES NORMADOS (NO CUMPLE LOS REQUISITOS PARA LA REALIZACIÓN DE HORMIGONES SEGÚN NORMA INEN 872). \_\_\_\_\_

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0696; ASTM C-136; AASHTO T- 27

**ENSAYO:** 01

**B.6.3 GRANULOMETRÍA POR MALLAS AGREGADO FINO**

Identificación del Material		Grueso			
Masa Inicial		1000 gr			
MALLA Nº	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL(gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
No. 4	4.76	0.1	0.1	0.01	99.99
No. 8	2.36	70.9	71	7.1	92.9
No. 16	1.18	225.3	296.3	29.63	70.37
No. 30	0.6	209.9	506.2	50.62	49.38
No. 50	0.30	201	707.2	70.72	29.28
No. 100	0.15	170.5	877.7	87.77	12.23
No. 200	0.075	122.3	1000	100	0
Pasa No 200					

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\Sigma \text{porcentaje retenido acumulado tamiz INEN}}{100}$$

OBSERVACIONES:

Módulo de finura = 2.46

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

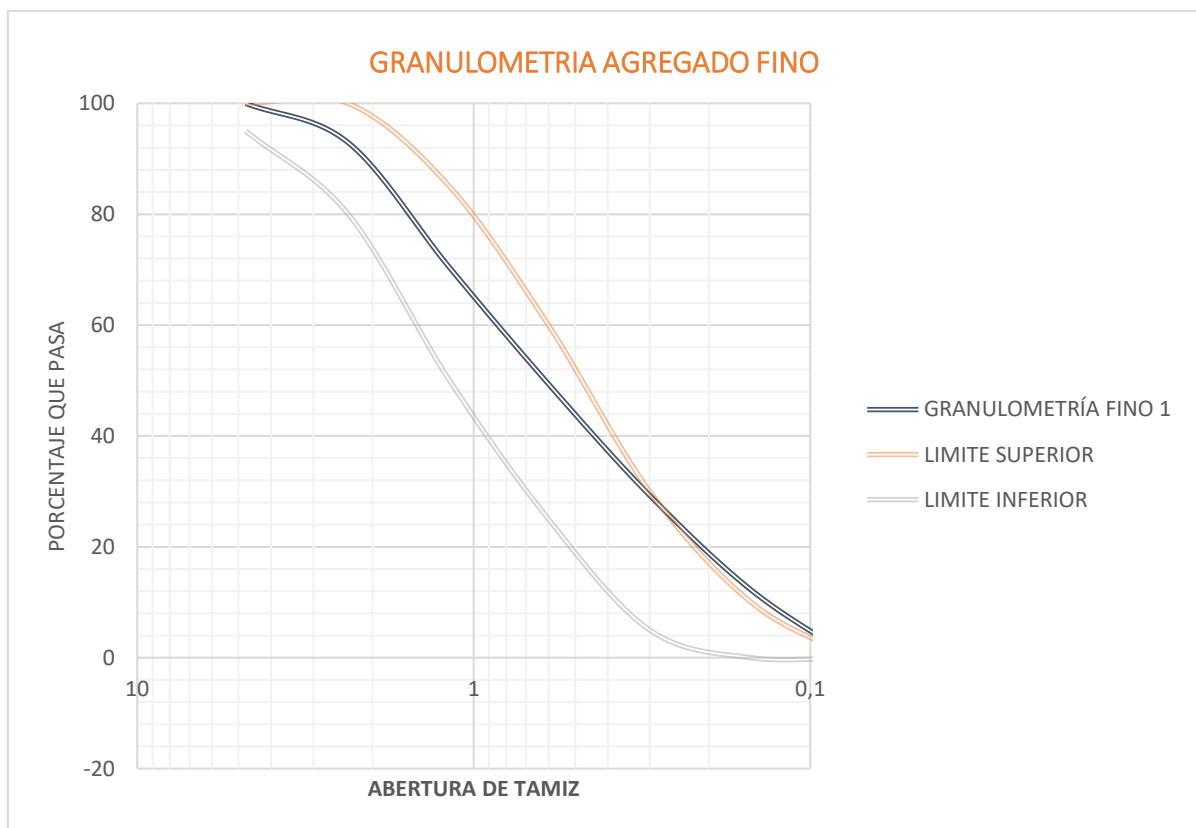
**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0696; ASTM C-136; AASHTO T- 27

**ENSAYO:** 02

**B.6.3.1 GRANULOMETRÍA POR MALLAS AGREGADO FINO**



**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_ LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO SOBRESALE LOS  
LÍMITES NORMADOS (NO CUMPLE LOS REQUISITOS PARA LA REALIZACIÓN DE  
HORMIGONES SEGÚN NORMA INEN 872). \_\_\_\_\_

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0696; ASTM C-136; AASHTO T- 27

**ENSAYO:** 02

**B.6.4 GRANULOMETRÍA POR MALLAS AGREGADO FINO**

Identificación del Material		Grueso			
Masa Inicial		1000 gr			
MALLA Nº	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL(gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
No. 4	4.76	0.3	0.3	0.03	99.97
No. 8	2.36	94.9	95.2	9.52	90.48
No. 16	1.18	209.1	304.3	30.43	69.57
No. 30	0.6	192.3	496.6	49.66	50.34
No. 50	0.30	208.4	705	70.5	29.5
No. 100	0.15	152.4	857.4	85.74	14.26
No. 200	0.075	142.6	1000	100	0
Pasa No 200					

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\Sigma \text{ porcentaje retenido acumulado tamiz INEN}}{100}$$

OBSERVACIONES:

Módulo de finura = 2.46

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

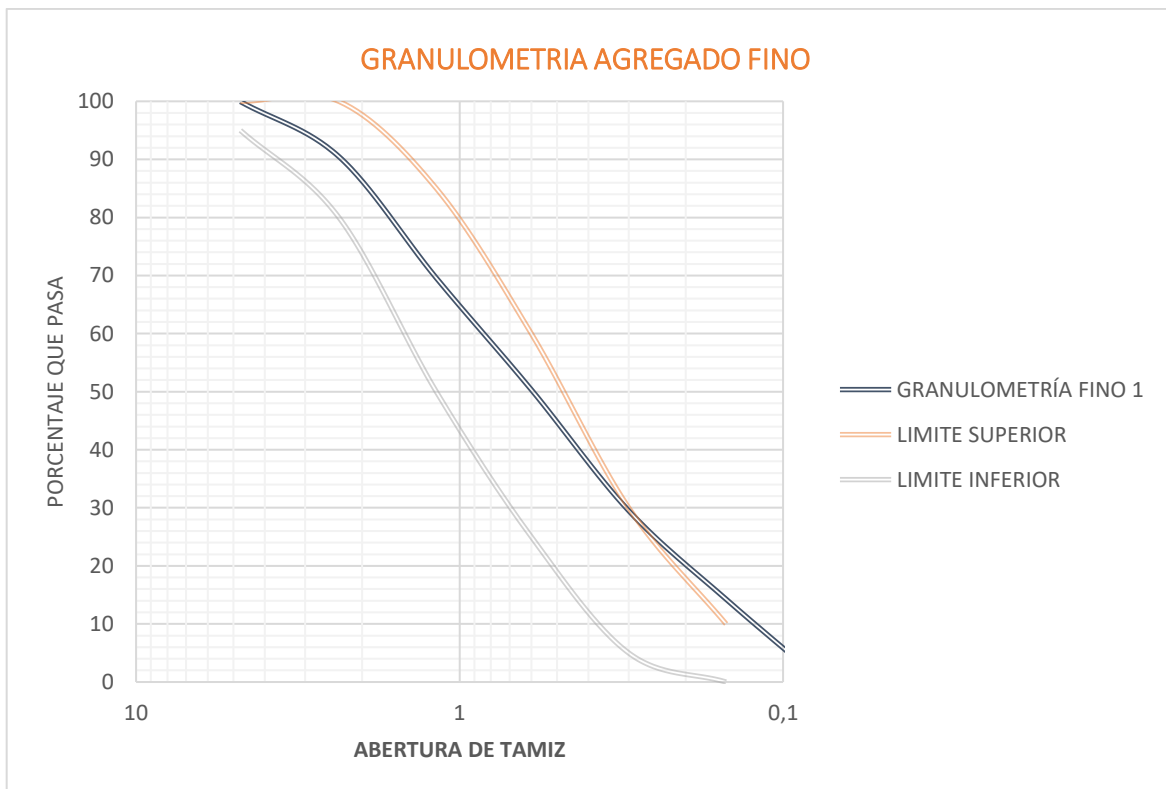
**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 0696; ASTM C-136; AASHTO T- 27

**ENSAYO:** 02

**B.6.4.1 GRANULOMETRÍA POR MALLAS AGREGADO FINO**



**OBSERVACIONES:**

LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO SOBRESALE LOS LÍMITES NORMADOS (NO CUMPLE LOS REQUISITOS PARA LA REALIZACIÓN DE HORMIGONES SEGÚN NORMA INEN 872).

## ANEXO B.7

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 860/861; ASTM C-131/535; AASHTO T- 96

**ENSAYO:** 01

### B.7.1 ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

$$C = A - B$$

C = Material que pasa el tamiz No. 12 (g.)

A = Masa inicial de la muestra (g.)

B = Masa sostenida en el tamiz No. 12 (g.)

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{C}{A} * 100$$

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Masa inicial de la muestra (A)	5000	Gr
Masa sostenida en el tamiz N°12 (B)	2255	Gr
Material que pasa el tamiz N° 12 (C)	2745	Gr
% de Desgaste	54.9	%

OBSERVACIONES:

---

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA CIVIL

---

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 860/861; ASTM C-131/535; AASHTO T- 96

**ENSAYO:** 02

**B.7.2 ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO**

$$C = A - B$$

C = Material que pasa el tamiz No. 12 (g.)

A = Masa inicial de la muestra (g.)

B = Masa sostenida en el tamiz No. 12 (g.)

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{C}{A} * 100$$

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
Masa inicial de la muestra (A)	5000	Gr
Masa sostenida en el tamiz Nº12 (B)	2240	Gr
Material que pasa el tamiz Nº 12 (C)	2760	Gr
% de Desgaste	55.2	%

OBSERVACIONES:

---

---

---

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

TEMA: MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

ORIGEN Y DESCRIPCIÓN: Cantera FUCUSUCU III

ENSAYADO POR: Jiménez Veloz &amp; Valladares Cartagena

FECHA:

NORMA: NTE INEN 698; ASTM C-142; AASHTO T- 112

ENSAYO: 01

## B.8.1 TERRONES DE ARCILLA AGREGADO GRUESO

$$\% \text{ RETENIDO PARCIAL} = \frac{\text{MASA RETENIDA PARCIAL}}{\text{MASA TOTAL}} \times 100$$

$$\% \text{ QUE PASA} = \frac{\text{MASA INICIAL} - \text{MASA RETENIDA DESPUÉS DEL ENSAYO}}{\text{MASA INICIAL}} \times 100$$

$$\% \text{ PARCIAL DE ARCILLA} = \frac{\% \text{ RETENIDO PARCIAL} \times \% \text{ QUE PASA}}{100}$$

Nº TAMIZ		Masa de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	Porcentaje retenido parcial del agregado	Porcentaje que pasa el tamiz más fino después del ensayo	Porcentaje parcial de arcilla
PASA	RETIENE					
		(gr)	(gr)	%	%	%
	2½"					
2½"	2"					
2"	1½"					
1½"	1"	1500	1500	25.00	0	0
1"	¾"	1500	1500	25.00	0	0
¾"	½"	1000	1000	16.67	0	0
½"	⅜"	1000	1000	16.67	0	0
⅜"	No 4	1000	1000	16.67	0	0
TOTALES			6000			0

OBSERVACIONES:

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** Cantera FUCUSUCU III

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 698; ASTM C-142; AASHTO T- 112

**ENSAYO:** 02

**B.8.2 TERRONES DE ARCILLA AGREGADO GRUESO**

$$\% \text{ RETENIDO PARCIAL} = \frac{\text{MASA RETENIDA PARCIAL}}{\text{MASA TOTAL}} \times 100$$

$$\% \text{ QUE PASA} = \frac{\text{MASA INICIAL} - \text{MASA RETENIDA DESPUÉS DEL ENSAYO}}{\text{MASA INICIAL}} \times 100$$

$$\% \text{ PARCIAL DE ARCILLA} = \frac{\% \text{ RETENIDO PARCIAL} \times \% \text{ QUE PASA}}{100}$$

Nº TAMIZ		Masa de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	Porcentaje retenido parcial del agregado	Porcentaje que pasa el tamiz más fino después del ensayo	Porcentaje parcial de arcilla
PASA	RETIENE					
		(gr)	(gr)	%	%	%
	2½"					
2½"	2"					
2"	1½"					
1½"	1"	1500	1500	25.00	0	0
1"	¾"	1500	1500	25.00	0	0
¾"	½"	1000	1000	16.67	0	0
½"	⅜"	1000	1000	16.67	0	0
⅜"	No 4	1000	1000	16.67	0	0
TOTALES			6000			0

OBSERVACIONES:

**ANEXO B.9**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA CIVIL**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** HOLCIM

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 156 (ASTM C 188)

**ENSAYO:** 01

**B.9.1 DENSIDAD ABSOLUTA DEL CEMENTO (Método Le Chatelier)**

$$\rho \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{MASA DEL CEMENTO}}{\text{VOLUMEN DESPLAZADO}}$$

$$\text{MASA DEL CEMENTO} = M_f - M_i$$

$$\text{VOLUMEN DESPLAZADO} = V_f - V_i$$

LECTURA INICIAL DEL FRASCO + GASOLINA	$V_i = 0.62 \text{ ml}$
MASA DEL FRASCO + GASOLINA	$M_i = 384.75 \text{ gr}$
LECTURA FINAL DEL FRASCO + GASOLINA	$V_f = 18.12 \text{ ml}$
MASA FINAL DEL FRASCO + CEMENTO + GASOLINA	$M_f = 332.30 \text{ gr}$
DENSIDAD DEL CEMENTO	$\rho = 2.997 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$

OBSERVACIONES:

---

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA CIVIL

---

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

**TEMA:** MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

**ORIGEN Y DESCRIPCIÓN:** HOLCIM

**ENSAYADO POR:** Jiménez Veloz & Valladares Cartagena

**FECHA:**

**NORMA:** NTE INEN 156 (ASTM C 188)

**ENSAYO:** 02

**B.9.2 DENSIDAD ABSOLUTA DEL CEMENTO (Método Le Chatelier)**

$$\rho \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{MASA DEL CEMENTO}}{\text{VOLUMEN DESPLAZADO}}$$

$$\text{MASA DEL CEMENTO} = M_f - M_i$$

$$\text{VOLUMEN DESPLAZADO} = V_f - V_i$$

LECTURA INICIAL DEL FRASCO + GASOLINA	$V_i = 1.00 \text{ ml}$
MASA DEL FRASCO + GASOLINA	$M_i = 320.16 \text{ gr}$
LECTURA FINAL DEL FRASCO + GASOLINA	$V_f = 18.96 \text{ ml}$
MASA FINAL DEL FRASCO + CEMENTO + GASOLINA	$M_f = 374.15 \text{ gr}$
DENSIDAD DEL CEMENTO	$\rho = 3.006 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$

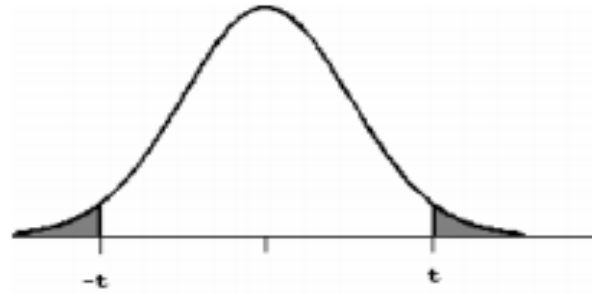
OBSERVACIONES:

---

---

---

**Tabla de cuantiles de la distribución t de Student**



(a) El área de las dos colas está sombreada en la figura.  
 (b) Si  $H_A$  es direccional, las cabeceras de las columnas deben ser divididas por 2 cuando se acota el P-valor.

gl	ÁREA DE DOS COLAS						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001	0,0001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619	6366,198
2	1,886	2,920	4,303	6,695	9,925	31,598	99,992
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924	28,000
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610	15,544
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869	11,178
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959	9,082
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408	7,885
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041	7,120
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781	6,594
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587	6,211
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437	5,921
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318	5,694
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883	4,897
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850	4,837
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819	4,784
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792	4,736
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767	4,693
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745	4,654
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725	4,619
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707	4,587
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690	4,558
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674	4,530
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659	4,506
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646	4,482
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551	4,321
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460	4,169
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,390	4,053
140	1,288	1,656	1,977	2,353	2,611	3,361	4,006
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291	3,891

ANEXO D

TABLA D.1 CILINDROS P1-P20 RESISTENCIA 240 – 7 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
P1	240	151,80	18098,12	304,45	124,52	128,63	0,5081	12,46	272,20	108,88	27748,07	153,32	63,88	5	10312,64	2659,15	105157,96	8491,39
P2	240	154,41	18724,60	303,59	125,37	127,13	0,5035	12,69	294,30	117,72	30000,94	160,22	66,76	5	9709,43	2449,09	99007,06	7820,62
P3	240	152,16	18182,87	305,55	127,33	122,85	0,4910	12,57	281,20	112,48	28665,53	157,65	65,69	5	11353,86	2887,13	115775,30	9219,41
P4	240	150,15	17705,64	304,92	125,05	127,86	0,5056	12,58	252,01	100,80	25689,90	145,09	60,46	5	9352,37	2478,96	95366,13	7915,98
P5	240	150,86	17874,67	302,35	126,95	126,88	0,4999	12,24	277,00	110,80	28237,38	157,97	65,82	5	8932,16	2269,00	91081,19	7245,55
P6	240	150,24	17726,87	301,47	125,26	127,92	0,5053	12,06	254,60	101,84	25953,92	146,41	61,00	5	9406,70	2482,13	95920,17	7926,12
P7	240	150,30	17742,22	305,27	122,31	126,94	0,5093	12,78	274,10	109,64	27941,75	157,49	65,62	5	9783,57	2489,12	99763,04	7948,46
P8	240	150,98	17901,93	305,67	124,70	125,81	0,5022	12,47	281,20	112,48	28665,53	160,13	66,72	5	10577,54	2668,87	107859,15	8522,42
P9	240	151,10	17931,59	304,60	120,99	125,52	0,5092	12,53	266,20	106,48	27136,43	151,33	63,06	5	9905,67	2570,92	101008,13	8209,67
P10	240	150,89	17880,60	303,18	124,61	125,32	0,5014	12,20	259,00	103,60	26402,46	147,66	61,52	5	9695,20	2547,40	98861,93	8134,56
P11	240	150,53	17796,56	303,55	125,05	126,39	0,5027	12,17	277,00	110,80	28237,38	158,67	66,11	5	9460,27	2397,90	96466,37	7657,16
P12	240	151,74	18082,62	306,31	126,33	125,46	0,4983	12,59	288,10	115,24	29368,91	162,42	67,67	5	9611,58	2407,98	98009,23	7689,35
P13	240	154,18	18670,07	306,05	127,13	123,28	0,4923	12,82	295,80	118,32	30153,85	161,51	67,30	5	9460,11	2376,68	96464,78	7589,38
P14	240	151,42	18006,43	308,32	126,27	124,14	0,4957	12,66	305,90	122,36	31183,45	173,18	72,16	5	10694,63	2594,72	109053,13	8285,64
P15	240	152,24	18201,99	307,04	125,38	125,14	0,4995	12,61	266,70	106,68	27187,40	149,36	62,24	5	10117,21	2643,07	103165,20	8440,05
P16	240	152,42	18245,06	302,90	124,92	123,26	0,4967	12,29	298,00	119,20	30378,12	166,50	69,38	5	9719,29	2404,91	99107,63	7679,54
P17	240	151,14	17939,90	301,84	125,21	124,66	0,4989	12,27	301,70	120,68	30755,30	171,44	71,43	5	10411,55	2538,85	106166,58	8107,26
P18	240	150,77	17852,17	302,39	123,25	125,87	0,5053	12,16	263,10	105,24	26820,41	150,24	62,60	5	8015,38	2087,90	81732,87	6667,23
P19	240	151,38	17996,92	303,32	123,31	127,55	0,5085	12,23	315,40	126,16	32151,88	178,65	74,44	5	10327,63	2467,00	105310,84	7877,80
P20	240	151,37	17994,54	308,72	125,74	123,21	0,4949	12,62	318,60	127,44	32478,08	180,49	75,20	5	9928,30	2359,51	101238,86	7534,57
												PROM	66,45	MIN	8015,38	2087,90	81732,87	6667,23
														MAX	11353,86	2887,13	115775,30	9219,41
														PROM	9838,75	2489,02	100325,78	7948,11
														DES. ESTA	704,06	167,04	7179,29	533,41

Fuente: Elaboración propia

TABLA D.2 CILINDROS P21-P40 RESISTENCIA 240 – 14 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
P21	240	150,01	17673,81	300,26	122,96	127,05	0,5082	11,94	371,00	148,40	37819,74	213,99	89,16	5	11657,71	2544,44	118873,65	8125,08
P22	240	152,05	18157,78	305,75	123,28	129,42	0,5121	12,65	363,40	145,36	37045,00	204,02	85,01	5	10964,01	2450,80	111799,97	7826,08
P23	240	151,52	18030,22	303,82	127,22	126,15	0,4979	12,23	344,70	137,88	35138,72	194,89	81,20	5	12026,50	2750,55	122634,23	8783,25
P24	240	153,10	18408,22	306,80	127,86	123,42	0,4912	12,77	391,50	156,60	39909,51	216,80	90,33	5	11884,01	2576,93	121181,23	8228,85
P25	240	151,64	18058,80	303,60	127,16	126,73	0,4992	12,31	406,10	162,44	41397,83	229,24	95,52	5	10669,31	2249,91	108794,99	7184,57
P26	240	150,36	17755,20	303,95	127,56	126,57	0,4981	12,18	364,80	145,92	37187,71	209,45	87,27	5	11083,29	2445,14	113016,34	7808,01
P27	240	151,57	18042,13	304,71	125,60	127,32	0,5034	12,36	375,90	150,36	38319,25	212,39	88,49	5	11167,08	2446,51	113870,68	7812,38
P28	240	151,98	18139,87	306,77	127,96	126,53	0,4972	12,68	389,70	155,88	39726,02	219,00	91,25	5	12017,46	2592,77	122542,06	8279,44
P29	240	150,64	17822,58	305,53	125,47	127,27	0,5036	12,26	398,90	159,56	40663,87	228,16	95,07	5	12238,85	2586,98	124799,53	8260,95
P30	240	153,19	18429,87	306,30	122,95	128,56	0,5112	12,71	383,70	153,48	39114,38	212,23	88,43	5	11210,26	2456,86	114311,05	7845,44
P31	240	150,61	17814,30	303,26	122,94	128,87	0,5118	12,17	355,40	142,16	36229,48	203,37	84,74	5	11558,62	2587,81	117863,24	8263,57
P32	240	152,25	18204,38	306,70	126,00	123,54	0,4951	12,61	376,00	150,40	38329,44	210,55	87,73	5	11353,80	2498,25	115774,74	7977,59
P33	240	154,30	18697,93	307,40	122,41	125,74	0,5067	12,98	299,50	119,80	30531,03	163,29	68,04	5	9975,20	2492,41	101717,09	7958,96
P34	240	154,43	18730,67	306,90	121,06	126,28	0,5106	12,94	328,80	131,52	33517,87	178,95	74,56	5	9782,65	2334,89	99753,65	7455,96
P35	240	151,86	18111,24	300,62	126,94	125,26	0,4967	12,27	306,10	122,44	31203,83	172,29	71,79	5	10226,70	2487,58	104281,61	7943,54
P36	240	153,74	18562,45	306,28	123,68	125,09	0,5028	12,84	344,10	137,64	35077,55	188,97	78,74	5	10418,20	2419,74	106234,36	7726,88
P37	240	152,87	18352,96	306,80	123,45	127,96	0,5090	12,65	342,90	137,16	34955,23	190,46	79,36	5	10934,72	2529,75	111501,34	8078,17
P38	240	153,56	18520,22	306,99	121,82	126,00	0,5084	12,86	321,90	128,76	32814,49	177,18	73,83	5	10114,87	2426,18	103141,31	7747,45
P39	240	153,93	18608,36	307,04	127,33	126,90	0,4992	12,91	342,40	136,96	34904,26	187,57	78,16	5	11514,88	2684,40	117417,25	8572,01
P40	240	153,11	18411,83	306,19	126,01	125,08	0,4981	12,86	382,40	152,96	38981,86	211,72	88,22	5	11224,81	2463,02	114459,38	7865,11
												PROM	83,84	MIN	9782,65	2249,91	99753,65	7184,57
														MAX	12238,85	2750,55	124799,53	8783,25
														PROM	11101,15	2501,25	113198,38	7987,16
														DES. ESTA	719,36	113,05	7335,31	361,01

Fuente: Elaboración propia

TABLA D.3 CILINDROS P41-P60 RESISTENCIA 240 – 28 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
P41	240	152,19	18191,23	306,08	127,54	124,65	0,4943	12,63	450,68	180,27	45942,32	252,55	105,23	5	11883,03	2387,39	121171,28	7623,61
P42	240	152,40	18240,27	306,42	122,52	126,60	0,5082	12,63	446,44	178,58	45510,09	249,50	103,96	4	11711,89	2367,34	119426,15	7559,57
P43	240	150,77	17853,35	301,70	126,34	124,35	0,4960	12,31	444,50	177,80	45312,33	253,80	105,75	5	12836,01	2572,49	130888,78	8214,67
P44	240	154,78	18815,66	309,77	125,39	126,39	0,5020	13,07	477,93	191,17	48720,18	258,93	107,89	5	12091,57	2399,17	123297,73	7661,19
P45	240	155,86	19079,16	308,15	124,68	125,91	0,5025	12,96	487,20	194,88	49665,17	260,31	108,46	5	11771,03	2329,38	120029,17	7438,35
P46	240	152,06	18158,97	305,85	123,68	127,63	0,5079	12,46	389,30	155,72	39685,24	218,54	91,06	5	11657,06	2517,63	118867,08	8039,50
P47	240	153,59	18527,45	307,97	125,18	125,90	0,5014	12,70	461,20	184,48	47014,73	253,76	105,73	5	11828,57	2370,80	120615,97	7570,63
P48	240	151,40	18002,87	304,48	125,31	125,73	0,5008	12,44	460,60	184,24	46953,56	260,81	108,67	5	11459,65	2265,58	116854,01	7234,63
P49	240	151,43	18010,00	301,52	128,31	124,58	0,4926	12,37	444,70	177,88	45332,72	251,71	104,88	5	12036,19	2422,21	122733,08	7734,79
P50	240	153,50	18505,75	303,74	124,90	124,16	0,4985	12,54	426,10	170,44	43436,63	234,72	97,80	5	11420,25	2379,98	116452,25	7599,92
P51	240	150,97	17900,75	305,50	123,71	123,45	0,4995	12,51	440,70	176,28	44924,96	250,97	104,57	5	11228,16	2262,94	114493,50	7226,18
P52	240	153,16	18423,86	306,97	122,23	125,68	0,5070	12,81	450,70	180,28	45944,36	249,37	103,91	5	12021,16	2430,49	122579,79	7761,21
P53	240	153,83	18584,19	308,30	124,31	122,66	0,4967	12,87	457,00	182,80	46586,58	250,68	104,45	5	11850,89	2389,82	120843,50	7631,34
P54	240	154,11	18653,12	308,49	124,85	125,14	0,5006	12,97	502,80	201,12	51255,43	274,78	114,49	5	12488,42	2405,39	127344,42	7681,07
P55	240	153,81	18579,36	307,09	124,42	124,70	0,5006	12,92	464,90	185,96	47391,91	255,08	106,28	5	12110,88	2421,09	123494,63	7731,21
P56	240	152,20	18193,62	306,14	121,67	126,04	0,5088	12,61	434,50	173,80	44292,93	243,45	101,44	5	11878,37	2430,64	121123,69	7761,71
P57	240	151,63	18057,61	303,01	127,84	125,35	0,4951	12,29	457,40	182,96	46627,36	258,21	107,59	5	11433,44	2271,74	116586,80	7254,29
P58	240	151,40	18002,87	307,09	125,73	125,21	0,4990	12,49	411,40	164,56	41938,12	232,95	97,06	5	12261,76	2565,02	125033,19	8190,83
P59	240	154,33	18705,20	307,47	122,50	127,81	0,5106	12,99	449,70	179,88	45842,42	245,08	102,12	5	11156,45	2275,34	113762,34	7265,78
P60	240	151,60	18050,46	302,46	121,24	128,64	0,5148	12,49	475,90	190,36	48513,25	268,76	111,99	5	11708,96	2280,37	119396,31	7281,84
												PROM	104,67	MIN	11156,45	2262,94	113762,34	7226,18
														MAX	12836,01	2572,49	130888,78	8214,67
														PROM	11841,69	2387,24	120749,68	7623,12

DES. ESTA	410,48	92,09	4185,68	294,07
-----------	--------	-------	---------	--------

Fuente: Elaboración propia

TABLA D.4 CILINDROS S1-P20 RESISTENCIA 240 – 7 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
S1	240	150,60	17811,93	304,62	122,28	128,44	0,5123	12,58	213,90	85,56	21804,97	122,42	51,01	5	9256,54	2671,15	94388,92	8529,72
S2	240	151,60	18049,27	305,82	125,15	126,08	0,5019	12,83	184,90	73,96	18848,71	104,43	43,51	5	8838,37	2761,43	90124,84	8817,99
S3	240	150,53	17796,56	305,95	125,74	122,75	0,4940	12,61	184,90	73,96	18848,71	105,91	44,13	5	8994,35	2790,42	91715,35	8910,57
S4	240	152,14	18178,09	304,29	126,31	122,55	0,4924	12,47	180,90	72,36	18440,95	101,45	42,27	5	9556,27	3029,31	97445,32	9673,41
S5	240	151,18	17950,58	304,64	126,07	122,69	0,4932	12,55	199,30	79,72	20316,64	113,18	47,16	5	9651,83	2896,65	98419,72	9249,78
S6	240	149,56	17567,94	306,04	123,16	127,53	0,5087	12,86	222,70	89,08	22702,04	129,22	53,84	5	10174,51	2857,68	103749,43	9125,36
S7	240	150,16	17709,18	300,61	123,28	128,49	0,5103	12,31	185,90	74,36	18950,65	107,01	44,59	5	8924,63	2754,55	91004,49	8796,02
S8	240	150,47	17782,37	305,39	124,74	123,33	0,4972	12,55	196,80	78,72	20061,79	112,82	47,01	5	9203,78	2766,61	93850,93	8834,56
S9	240	151,68	18069,52	304,15	123,70	127,35	0,5073	12,46	199,90	79,96	20377,81	112,77	46,99	5	9313,31	2800,08	94967,78	8941,43
S10	240	151,35	17989,79	300,94	124,47	128,43	0,5078	12,33	239,30	95,72	24394,24	135,60	56,50	5	10222,96	2802,97	104243,56	8950,65
S11	240	150,56	17802,47	300,96	125,24	126,34	0,5022	12,28	238,60	95,44	24322,88	136,63	56,93	5	9841,83	2688,32	100357,19	8584,54
S12	240	149,31	17509,26	300,74	123,72	126,84	0,5062	12,04	224,30	89,72	22865,14	130,59	54,41	5	10074,36	2814,73	102728,27	8988,21
S13	240	150,35	17752,84	307,44	126,42	124,31	0,4958	12,98	255,00	102,00	25994,70	146,43	61,01	5	9587,96	2529,82	97768,44	8078,42
S14	240	150,20	17717,43	305,80	123,30	127,79	0,5089	12,62	189,40	75,76	19307,44	108,97	45,41	5	10192,31	3117,33	103930,98	9954,49
S15	240	150,38	17759,93	300,00	123,76	124,86	0,5022	12,15	197,80	79,12	20163,73	113,53	47,31	5	9471,53	2838,10	96581,23	9062,83
S16	240	150,47	17781,19	306,05	124,41	125,85	0,5029	12,84	179,50	71,80	18298,23	102,91	42,88	5	10672,52	3359,04	108827,64	10726,33
S17	240	151,14	17939,90	300,50	124,08	128,90	0,5095	12,18	197,80	79,12	20163,73	112,40	46,83	5	9497,86	2860,37	96849,65	9133,95
S18	240	150,83	17866,38	304,42	124,56	126,72	0,5043	12,62	238,50	95,40	24312,69	136,08	56,70	5	9807,88	2684,41	100010,92	8572,06
S19	240	150,38	17761,11	300,85	123,73	128,91	0,5103	12,27	215,40	86,16	21957,88	123,63	51,51	5	10357,05	2974,05	105610,86	9496,96
S20	240	150,60	17811,93	306,71	124,54	127,30	0,5055	12,56	176,40	70,56	17982,22	100,96	42,07	5	8978,15	2852,94	91550,21	9110,23
												PROM	49,10	MIN	8838,37	2529,82	90124,84	8078,42
														MAX	10672,52	3359,04	108827,64	10726,33
														PROM	9630,90	2842,50	98206,29	9076,88

Fuente: Elaboración propia

DES. ESTA	527,08	177,85	5374,69	567,91
-----------	--------	--------	---------	--------

TABLA D.5 CILINDROS S21-P40 RESISTENCIA 240 – 14 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
S21	240	151,08	17925,66	305,12	123,95	127,43	0,5069	12,29	283,20	113,28	28869,41	161,05	67,10	5	10914,58	2745,98	111295,97	8768,68
S22	240	151,26	17968,40	300,94	123,81	129,01	0,5103	12,13	239,60	95,84	24424,82	135,93	56,64	5	10158,60	2781,92	103587,29	8883,45
S23	240	150,47	17782,37	299,58	123,07	129,32	0,5124	12,05	290,30	116,12	29593,18	166,42	69,34	5	11101,94	2747,71	113206,45	8774,18
S24	240	150,60	17811,93	302,50	126,21	125,91	0,4994	12,16	265,30	106,12	27044,68	151,83	63,26	5	11471,91	2972,51	116979,09	9492,03
S25	240	153,79	18575,74	306,52	126,44	128,38	0,5038	12,84	300,40	120,16	30622,78	164,85	68,69	5	10960,66	2725,59	111765,87	8703,54
S26	240	151,74	18083,81	300,48	123,42	128,79	0,5106	12,25	282,30	112,92	28777,66	159,13	66,31	5	10522,10	2663,13	107293,81	8504,09
S27	240	152,12	18174,50	307,24	125,89	127,00	0,5022	12,74	292,80	117,12	29848,03	164,23	68,43	5	10642,14	2651,40	108517,93	8466,64
S28	240	153,29	18455,15	306,29	123,65	127,85	0,5083	12,88	464,80	185,92	47381,71	256,74	106,97	5	12377,24	2466,32	126210,71	7875,64
S29	240	154,43	18730,67	301,59	126,99	125,26	0,4966	12,77	432,00	172,80	44038,08	235,11	97,96	5	12421,23	2586,42	126659,28	8259,15
S30	240	152,54	18273,80	303,10	125,52	125,68	0,5003	12,54	410,90	164,36	41887,15	229,22	95,51	5	12146,63	2561,55	123859,23	8179,72
S31	240	153,86	18592,65	302,96	123,21	128,28	0,5101	12,77	434,10	173,64	44252,15	238,01	99,17	5	11767,49	2435,34	119993,06	7776,71
S32	240	150,36	17755,20	304,93	125,57	128,42	0,5056	12,38	433,30	173,32	44170,60	248,78	103,66	5	12042,18	2437,66	122794,13	7784,13
S33	240	152,34	18227,11	300,42	127,35	124,69	0,4947	12,44	441,10	176,44	44965,73	246,70	102,79	5	12183,97	2476,73	124239,90	7908,88
S34	240	153,07	18401,01	305,29	126,01	128,04	0,5040	12,76	439,80	175,92	44833,21	243,65	101,52	5	12401,77	2536,75	126460,89	8100,53
S35	240	153,92	18607,16	307,29	123,14	126,97	0,5077	12,95	294,00	117,60	29970,36	161,07	67,11	4	10403,45	2617,24	106084,00	8357,57
S36	240	150,62	17817,84	301,15	126,10	126,16	0,5001	12,17	444,20	177,68	45281,75	254,14	105,89	5	12245,26	2452,49	124864,96	7831,46
S37	240	151,46	18017,14	302,72	127,80	124,91	0,4943	12,39	404,30	161,72	41214,34	228,75	95,31	5	12298,60	2596,25	125408,82	8290,54
S38	240	153,45	18493,69	303,47	122,60	129,30	0,5133	12,41	502,50	201,00	51224,85	276,99	115,41	5	11874,91	2278,11	121088,41	7274,62
S39	240	151,09	17929,22	301,45	126,51	126,75	0,5005	12,27	382,80	153,12	39022,63	217,65	90,69	5	12634,16	2734,27	128830,51	8731,27
S40	240	153,88	18596,28	304,98	125,88	126,21	0,5007	12,95	492,80	197,12	50236,03	270,14	112,56	5	12476,88	2423,73	127226,70	7739,62
												PROM	87,72	MIN	10158,60	2278,11	103587,29	7274,62
														MAX	12634,16	2972,51	128830,51	9492,03
														PROM	11652,28	2594,55	118818,35	8285,12

Fuente: Elaboración propia

DES. ESTA	803,94	162,83	8197,82	519,97
-----------	--------	--------	---------	--------

TABLA D.6 CILINDROS S41-P60 RESISTENCIA 240 – 28 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
S41	240	151,58	18045,70	301,06	124,35	124,57	0,5004	12,43	606,00	242,40	61775,64	342,33	142,64	5	13027,00	2247,99	132836,31	7178,46
S42	240	150,78	17854,54	301,21	124,52	127,06	0,5050	12,33	598,00	239,20	60960,12	341,43	142,26	5	13642,11	2357,25	139108,59	7527,34
S43	240	153,71	18556,42	306,14	124,83	126,36	0,5030	13,02	601,50	240,60	61316,91	330,44	137,68	5	13116,06	2303,74	133744,47	7356,46
S44	240	154,58	18767,07	306,00	123,36	127,18	0,5076	13,01	585,50	234,20	59685,87	318,04	132,51	5	13012,49	2329,67	132688,39	7439,29
S45	240	153,19	18429,87	305,20	123,33	126,08	0,5055	12,90	595,90	238,36	60746,05	329,61	137,34	5	12702,36	2233,87	129525,94	7133,37
S46	240	154,19	18672,49	304,52	125,40	125,36	0,4999	12,51	399,20	159,68	40694,45	217,94	90,81	5	11501,24	2487,43	117278,10	7943,04
S47	240	150,23	17724,51	301,16	123,70	126,46	0,5055	12,37	384,30	153,72	39175,54	221,02	92,09	5	12523,72	2689,58	127704,36	8588,58
S48	240	151,41	18004,05	306,69	123,55	127,89	0,5086	12,57	355,20	142,08	36209,09	201,12	83,80	5	12429,68	2798,39	126745,46	8936,04
S49	240	152,08	18163,75	306,56	126,57	124,72	0,4963	12,68	598,20	239,28	60980,51	335,73	139,89	5	13533,26	2358,21	137998,62	7530,40
S50	240	150,19	17715,08	300,77	125,80	123,73	0,4959	12,21	466,90	186,76	47595,79	268,67	111,95	5	13663,16	2661,40	139323,19	8498,59
S51	240	150,42	17770,56	305,56	125,07	124,67	0,4992	12,73	330,70	132,28	33711,56	189,70	79,04	5	11314,75	2622,88	115376,52	8375,58
S52	240	153,66	18543,14	307,03	125,00	127,65	0,5052	12,76	442,70	177,08	45128,84	243,37	101,41	5	11498,54	2353,31	117250,63	7514,77
S53	240	152,80	18336,15	303,31	124,34	127,47	0,5062	12,29	582,30	232,92	59359,66	323,73	134,89	5	12626,79	2240,65	128755,42	7155,01
S54	240	151,63	18056,41	299,81	124,30	126,44	0,5043	12,36	614,10	245,64	62601,35	346,70	144,46	5	14133,05	2423,44	144114,74	7738,71
S55	240	152,12	18174,50	306,40	126,71	126,55	0,4997	12,73	573,30	229,32	58442,20	321,56	133,98	5	12904,69	2297,67	131589,10	7337,09
S56	240	152,89	18358,96	301,04	126,69	125,18	0,4970	12,42	627,80	251,12	63997,93	348,59	145,25	5	13409,92	2293,19	136740,96	7322,78
S57	240	153,06	18399,81	300,68	122,57	127,55	0,5100	12,25	588,00	235,20	59940,72	325,77	135,74	5	13195,50	2334,23	134554,52	7453,84
S58	240	152,71	18314,56	306,31	124,60	125,20	0,5012	12,05	624,00	249,60	63610,56	347,32	144,72	5	13266,60	2272,82	135279,54	7257,75
S59	240	152,76	18327,75	306,93	125,03	125,39	0,5007	12,77	602,30	240,92	61398,46	335,00	139,58	5	12975,90	2263,53	132315,22	7228,06
S60	240	152,66	18303,76	303,64	124,92	126,05	0,5023	12,55	329,00	131,60	33538,26	183,23	76,35	5	11224,74	2647,58	114458,69	8454,44
												PROM	122,32	MIN	11224,74	2233,87	114458,69	7133,37
														MAX	14133,05	2798,39	144114,74	8936,04
														PROM	12785,08	2410,84	130369,44	7698,48

Fuente: Elaboración propia

DES. ESTA	829,40	175,44	8457,34	560,22
-----------	--------	--------	---------	--------

DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
L1	210	150,37	17758,75	304,49	125,95	125,62	0,4993	12,63	212,00	84,80	21611,28	121,69	57,95	5	10636,92	3078,61	108464,66	9830,83
L2	210	152,69	18309,76	304,99	124,21	128,16	0,5078	12,70	211,30	84,52	21539,92	117,64	56,02	5	10443,70	3074,30	106494,41	9817,08
L3	210	151,67	18065,94	301,83	124,06	126,65	0,5052	12,07	188,50	75,40	19215,69	106,36	50,65	5	9957,42	3082,63	101535,77	9843,68
L4	210	151,15	17943,46	303,92	124,98	122,32	0,4946	12,20	212,60	85,04	21672,44	120,78	57,52	5	9885,91	2872,02	100806,59	9171,16
L5	210	150,60	17811,93	305,08	126,03	125,28	0,4985	12,60	175,80	70,32	17921,05	100,61	47,91	5	10282,34	3272,94	104849,06	10451,40
L6	210	150,27	17735,13	301,14	125,22	125,56	0,5007	12,01	191,80	76,72	19552,09	110,24	52,50	5	10277,80	3125,31	104802,69	9979,97
L7	210	150,30	17741,03	300,18	124,39	124,83	0,5009	11,96	198,10	79,24	20194,31	113,83	54,20	5	10017,51	2997,83	102148,56	9572,89
L8	210	150,77	17852,17	304,94	126,86	125,36	0,4970	12,46	173,30	69,32	17666,20	98,96	47,12	5	10412,46	3341,95	106175,89	10671,76
L9	210	153,23	18439,50	304,29	124,12	125,86	0,5035	12,57	223,30	89,32	22763,20	123,45	58,78	5	9531,50	2739,00	97192,67	8746,36
L10	210	150,95	17894,82	300,39	123,05	128,07	0,5100	12,06	204,00	81,60	20795,76	116,21	55,34	5	9218,45	2730,28	94000,53	8718,52
L11	210	151,03	17914,98	302,10	126,15	123,45	0,4946	12,22	201,20	80,48	20510,33	114,49	54,52	5	10019,24	2989,71	102166,20	9546,96
L12	210	154,14	18660,38	306,75	122,67	128,25	0,5111	12,79	217,00	86,80	22120,98	118,55	56,45	5	9369,72	2747,62	95543,00	8773,91
L13	210	152,16	18184,06	300,72	124,99	124,53	0,4991	12,27	195,90	78,36	19970,05	109,82	52,30	5	9632,59	2934,75	98223,57	9371,47
L14	210	152,40	18241,47	304,90	123,23	126,39	0,5063	12,55	216,60	86,64	22080,20	121,04	57,64	5	9995,79	2900,80	101927,08	9263,05
L15	210	151,03	17913,79	299,94	126,29	126,23	0,4999	12,05	225,60	90,24	22997,66	128,38	61,13	5	10308,91	2904,94	105119,96	9276,27
L16	210	151,55	18037,37	305,96	123,71	126,92	0,5064	12,47	209,80	83,92	21387,01	118,57	56,46	5	8836,25	2590,91	90103,23	8273,47
L17	210	153,95	18614,41	306,09	125,37	126,13	0,5015	12,77	221,60	88,64	22589,90	121,36	57,79	5	10655,23	3088,18	108651,34	9861,40
L18	210	153,52	18510,57	306,54	125,98	125,04	0,4981	12,85	212,56	85,02	21668,37	117,06	55,74	5	9406,52	2775,86	95918,27	8864,09
L19	210	154,45	18734,31	306,62	126,27	125,23	0,4979	12,88	209,50	83,80	21356,43	114,00	54,28	5	9599,11	2870,50	97882,09	9166,29
L20	210	151,98	18139,87	306,66	125,67	125,29	0,4992	12,57	205,90	82,36	20989,45	115,71	55,10	5	9789,51	2905,69	99823,61	9278,68
												PROM	54,97	MIN	8836,25	2590,91	90103,23	8273,47
														MAX	10655,23	3341,95	108651,34	10671,76
														PROM	9913,84	2951,19	101091,46	9423,96
														DES. ESTA	491,80	188,24	5014,89	601,09

Fuente: Elaboración propia

TABLA D.8 CILINDROS L21-L40 RESISTENCIA 210 – 14 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
L21	210	150,48	17783,56	306,50	123,61	127,23	0,5072	12,62	249,90	99,96	25474,81	143,25	68,21	5	10019,86	2672,93	102172,56	8535,41
L22	210	150,30	17742,22	307,06	128,24	124,06	0,4917	12,89	285,60	114,24	29114,06	164,09	78,14	5	10608,58	2644,13	108175,67	8443,42
L23	210	150,32	17746,94	302,66	126,01	124,47	0,4969	12,27	287,50	115,00	29307,75	165,14	78,64	5	11219,57	2787,53	114405,99	8901,34
L24	210	150,50	17789,46	305,83	125,19	124,27	0,4982	12,60	274,20	109,68	27951,95	157,13	74,82	5	10810,36	2753,52	110233,21	8792,73
L25	210	150,47	17781,19	307,37	127,10	126,79	0,4994	12,85	299,90	119,96	30571,81	171,93	81,87	5	12083,85	2942,37	123219,07	9395,80
L26	210	151,86	18112,43	307,14	126,66	126,26	0,4992	12,59	302,80	121,12	30867,43	170,42	81,15	5	11272,25	2756,90	114943,13	8803,54
L27	210	150,30	17742,22	301,60	126,90	126,27	0,4988	12,20	282,80	113,12	28828,63	162,49	77,37	5	11663,57	2921,43	118933,46	9328,93
L28	210	150,69	17833,23	302,23	123,78	128,05	0,5085	12,31	253,90	101,56	25882,57	145,14	69,11	4	10497,95	2782,20	107047,61	8884,32
L29	210	151,66	18063,56	307,19	126,10	126,42	0,5006	12,59	273,40	109,36	27870,40	154,29	73,47	5	11092,52	2851,23	113110,39	9104,76
L30	210	150,99	17905,49	301,88	126,23	126,86	0,5012	12,16	292,70	117,08	29837,84	166,64	79,35	5	11096,71	2744,58	113153,11	8764,20
L31	210	151,27	17970,77	301,55	124,19	127,57	0,5067	12,20	270,50	108,20	27574,77	153,44	73,07	5	10681,85	2753,25	108922,84	8791,90
L32	210	150,42	17769,38	304,47	125,66	127,61	0,5038	12,77	289,70	115,88	29532,02	166,20	79,14	5	11431,70	2831,21	116569,03	9040,84
L33	210	152,92	18366,16	305,87	128,90	126,03	0,4944	12,59	284,97	113,99	29049,84	158,17	75,32	5	10462,81	2656,18	106689,27	8481,92
L34	210	150,79	17858,09	301,36	125,81	126,88	0,5021	12,16	262,30	104,92	26738,86	149,73	71,30	5	10917,35	2848,63	111324,20	9096,45
L35	210	150,87	17875,86	300,91	125,89	123,40	0,4950	12,24	254,10	101,64	25902,95	144,90	69,00	5	11276,25	2990,86	114983,93	9550,63
L36	210	150,72	17841,51	304,29	126,51	125,93	0,4989	12,83	262,20	104,88	26728,67	149,81	71,34	5	11236,55	2931,11	114579,09	9359,84
L37	210	151,21	17957,71	303,13	123,78	127,28	0,5070	12,26	263,90	105,56	26901,97	149,81	71,34	5	10608,37	2767,29	108173,55	8836,71
L38	210	152,48	18260,63	303,90	123,96	126,76	0,5056	12,55	277,50	111,00	28288,35	154,91	73,77	5	11132,05	2855,63	113513,47	9118,80
L39	210	150,70	17835,59	300,80	124,36	125,37	0,5020	12,08	262,30	104,92	26738,86	149,92	71,39	5	10546,30	2750,08	107540,59	8781,75
L40	210	150,50	17789,46	305,43	128,20	124,33	0,4923	12,79	259,70	103,88	26473,82	148,82	70,87	5	11240,26	2941,86	114616,89	9394,16
												PROM	74,43	MIN	10019,86	2644,13	102172,56	8443,42
														MAX	12083,85	2990,86	123219,07	9550,63
														PROM	10994,94	2809,15	112115,35	8970,37
														DES. ESTA	476,08	100,15	4854,55	319,81

Fuente: Elaboración propia

TABLA D.9 CILINDROS L41-L60 RESISTENCIA 210 – 28 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)	(MPa)		(Kg/cm2)			
L41	210	150,40	17765,83	306,68	126,05	125,24	0,4984	12,59	381,20	152,48	38859,53	218,73	104,16	5	12309,82	2657,47	125523,24	8486,02
L42	210	150,66	17827,31	211,12	126,46	125,73	0,4986	12,10	358,90	143,56	36586,27	205,23	97,73	5	11628,34	2591,64	118574,21	8275,80
L43	210	150,70	17835,59	308,40	125,94	125,60	0,4993	12,92	369,80	147,92	37697,41	211,36	100,65	5	12517,08	2748,93	127636,71	8778,08
L44	210	150,13	17700,92	305,32	125,70	124,13	0,4969	12,79	364,70	145,88	37177,52	210,03	100,02	5	12219,28	2692,00	124600,01	8596,31
L45	210	150,33	17748,12	308,33	126,11	122,77	0,4933	12,28	365,90	146,36	37299,85	210,16	100,08	5	12474,87	2747,46	127206,30	8773,39
L46	210	150,58	17807,20	301,46	125,71	125,27	0,4991	12,16	366,90	146,76	37401,79	210,04	100,02	5	11521,06	2538,14	117480,23	8104,99
L47	210	150,03	17678,53	306,03	126,65	125,49	0,4977	12,44	350,30	140,12	35709,58	201,99	96,19	5	10319,57	2318,27	105228,61	7402,88
L48	210	150,15	17706,82	307,71	122,26	125,78	0,5071	12,92	381,40	152,56	38879,92	219,58	104,56	5	11894,93	2562,96	121292,63	8184,24
L49	210	150,45	17777,65	307,54	126,28	122,24	0,4919	12,41	352,70	141,08	35954,24	202,24	96,31	5	11783,83	2645,58	120159,73	8448,06
L50	210	150,03	17678,53	308,36	122,54	126,40	0,5078	12,95	349,60	139,84	35638,22	201,59	96,00	5	11894,00	2674,64	121283,11	8540,86
L51	210	149,93	17654,97	301,39	126,81	124,20	0,4948	11,96	352,10	140,84	35893,07	203,30	96,81	5	11670,95	2613,40	119008,66	8345,32
L52	210	152,61	18290,58	307,42	124,68	125,58	0,5018	12,75	384,50	153,80	39195,93	214,30	102,05	5	11327,64	2470,61	115507,95	7889,35
L53	210	150,13	17700,92	302,11	126,56	124,21	0,4953	12,30	349,90	139,96	35668,81	201,51	95,96	5	12524,10	2816,91	127708,24	8995,16
L54	210	150,23	17724,51	300,53	124,41	128,56	0,5082	12,07	356,40	142,56	36331,42	204,98	97,61	5	12198,11	2720,26	124384,13	8686,54
L55	210	152,06	18158,97	307,53	126,32	121,60	0,4905	12,61	387,00	154,80	39450,78	217,25	103,45	5	12842,30	2781,84	130952,91	8883,19
L56	210	152,53	18271,41	307,55	123,83	125,23	0,5028	12,80	400,60	160,24	40837,16	223,50	106,43	5	11667,40	2491,75	118972,44	7956,84
L57	210	151,16	17944,65	303,98	125,66	123,44	0,4955	12,28	383,20	153,28	39063,41	217,69	103,66	5	15171,86	3283,17	154707,44	10484,07
L58	210	150,78	17855,72	305,88	124,48	125,57	0,5022	12,39	367,90	147,16	37503,73	210,04	100,02	5	11746,28	2587,76	119776,81	8263,43
L59	210	150,29	17738,67	302,79	125,42	125,47	0,5001	12,17	354,20	141,68	36107,15	203,55	96,93	5	11436,54	2559,36	116618,43	8172,73
L60	210	152,63	18296,57	303,44	123,32	125,92	0,5052	12,44	401,53	160,61	40931,97	223,71	106,53	5	11457,07	2445,68	116827,79	7809,73
												PROM	100,26	MIN	10319,57	2318,27	105228,61	7402,88
														MAX	15171,86	3283,17	154707,44	10484,07
														PROM	12030,25	2647,39	122672,48	8453,85
														DES. ESTA	926,53	194,48	9447,83	621,02

Fuente: Elaboración propia

TABLA D.10 CILINDROS X1-X20 RESISTENCIA 210 – 7 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
X1	210	150,92	17888,89	306,18	126,51	125,52	0,4980	12,40	250,00	100,00	25485,00	142,46	67,84	5	10095,54	2700,54	102944,19	8623,58
X2	210	150,52	17794,19	301,99	125,83	125,05	0,4984	12,20	229,00	91,60	23344,26	131,19	62,47	5	9446,45	2633,24	96325,44	8408,65
X3	210	153,04	18393,80	306,68	124,56	126,43	0,5037	12,77	226,10	90,44	23048,63	125,31	59,67	5	9404,37	2682,35	95896,33	8565,47
X4	210	152,44	18251,05	306,72	123,51	128,43	0,5098	12,64	221,50	88,60	22579,71	123,72	58,91	5	9408,23	2700,63	95935,77	8623,85
X5	210	152,33	18224,72	305,17	126,51	124,96	0,4969	12,51	251,00	100,40	25586,94	140,40	66,86	5	9374,92	2526,16	95596,04	8066,72
X6	210	150,16	17708,00	301,45	125,42	125,48	0,5001	12,10	244,60	97,84	24934,52	140,81	67,05	5	10251,14	2758,22	104530,87	8807,75
X7	210	152,19	18190,04	305,36	123,02	128,01	0,5099	12,50	248,40	99,36	25321,90	139,21	66,29	5	9687,49	2621,51	98783,35	8371,22
X8	210	150,95	17896,01	300,33	123,11	127,08	0,5079	12,19	226,80	90,72	23119,99	129,19	61,52	5	9580,89	2691,30	97696,33	8594,06
X9	210	150,55	17800,10	301,12	125,80	125,73	0,4999	12,21	266,90	106,76	27207,79	152,85	72,79	5	9758,01	2519,99	99502,41	8047,01
X10	210	150,58	17808,38	300,95	126,40	126,47	0,5001	12,21	197,50	79,00	20133,15	113,05	53,84	5	10365,18	3112,47	105693,77	9938,98
X11	210	152,98	18379,38	304,52	126,91	125,80	0,4978	12,77	249,90	99,96	25474,81	138,61	66,00	5	9561,44	2593,02	97497,98	8280,22
X12	210	150,67	17828,49	301,90	126,43	124,93	0,4970	12,24	224,40	89,76	22875,34	128,31	61,10	5	9308,71	2623,83	94920,89	8378,60
X13	210	150,22	17722,15	301,67	126,13	125,48	0,4987	12,16	238,10	95,24	24271,91	136,96	65,22	5	9843,74	2685,58	100376,60	8575,80
X14	210	149,61	17579,69	300,55	125,25	126,30	0,5021	11,97	241,40	96,56	24608,32	139,98	66,66	5	10285,19	2775,55	104878,09	8863,10
X15	210	154,20	18673,70	304,25	123,18	126,84	0,5073	12,83	224,90	89,96	22926,31	122,77	58,46	5	9402,33	2709,29	95875,57	8651,52
X16	210	151,39	18000,49	300,12	124,82	128,62	0,5075	12,35	256,90	102,76	26188,39	145,49	69,28	5	9381,09	2483,21	95658,98	7929,57
X17	210	151,68	18069,52	300,08	123,20	128,37	0,5103	12,30	262,60	105,04	26769,44	148,15	70,55	5	10829,39	2840,73	110427,29	9071,23
X18	210	151,89	18119,58	306,44	123,63	127,42	0,5075	12,74	272,30	108,92	27758,26	153,19	72,95	5	10465,11	2699,57	106712,68	8620,45
X19	210	151,67	18065,94	306,73	124,72	127,80	0,5061	12,51	272,60	109,04	27788,84	153,82	73,25	5	10323,35	2657,59	105267,25	8486,42
X20	210	153,53	18511,78	305,14	123,92	128,02	0,5081	12,83	258,80	103,52	26382,07	142,52	67,86	5	10500,57	2808,37	107074,32	8967,91
												PROM	65,43	MIN	9308,71	2483,21	94920,89	7929,57
														MAX	10829,39	3112,47	110427,29	9938,98
														PROM	9863,66	2691,16	100579,71	8593,60
														DES. ESTA	478,12	135,57	4875,36	432,90

Fuente: Elaboración propia

TABLA D.11 CILINDROS X21-X40 RESISTENCIA 210 – 14 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
X21	210	153,69	18550,38	306,15	124,85	126,46	0,5032	12,82	342,90	137,16	34955,23	188,43	89,73	5	11348,75	2639,62	115723,23	8429,02
X22	210	154,21	18677,34	306,77	125,54	124,96	0,4988	12,82	338,50	135,40	34506,69	184,75	87,98	5	11089,76	2604,96	113082,30	8318,34
X23	210	153,53	18512,98	305,72	124,94	126,79	0,5037	12,83	349,20	139,68	35597,45	192,28	91,56	5	10646,75	2451,42	108564,95	7828,07
X24	210	150,63	17820,21	302,86	125,39	126,72	0,5026	12,66	323,60	129,44	32987,78	185,11	88,15	5	10629,13	2494,31	108385,29	7965,01
X25	210	153,27	18450,33	303,48	122,85	126,46	0,5072	12,36	334,10	133,64	34058,15	184,59	87,90	5	10178,71	2391,97	103792,31	7638,23
X26	210	151,18	17949,40	305,64	123,45	127,85	0,5088	12,60	307,00	122,80	31295,58	174,35	83,03	5	10333,33	2498,60	105368,94	7978,70
X27	210	150,79	17856,90	301,90	123,90	126,91	0,5060	12,28	318,80	127,52	32498,47	181,99	86,66	5	10944,11	2590,15	111597,06	8271,05
X28	210	151,16	17944,65	301,88	123,55	126,13	0,5052	12,41	317,40	126,96	32355,76	180,31	85,86	5	10314,49	2452,51	105176,81	7831,55
X29	210	154,91	18847,28	300,13	126,16	127,09	0,5018	12,15	345,60	138,24	35230,46	186,93	89,01	5	11403,64	2663,06	116282,95	8503,88
X30	210	151,45	18013,57	305,94	123,32	127,70	0,5087	12,69	334,70	133,88	34119,32	189,41	90,19	5	10265,71	2381,56	104679,41	7604,96
X31	210	153,64	18538,31	305,26	123,08	125,22	0,5043	12,80	342,70	137,08	34934,84	188,45	89,74	5	11129,03	2588,42	113482,75	8265,55
X32	210	150,56	17803,65	301,37	125,20	125,46	0,5005	12,24	294,20	117,68	29990,75	168,45	80,22	5	10659,63	2622,26	108696,29	8373,59
X33	210	152,67	18304,96	306,53	125,96	125,99	0,5001	12,91	300,02	120,01	30584,04	167,08	79,56	5	10481,78	2589,07	106882,71	8267,62
X34	210	154,41	18724,60	304,62	127,28	127,07	0,4996	12,86	326,50	130,60	33283,41	177,75	84,64	5	10158,01	2432,61	103581,21	7768,00
X35	210	150,76	17849,80	303,60	125,80	125,82	0,5000	12,34	209,15	83,66	21320,75	119,45	56,88	5	13142,47	3839,41	134013,80	12260,30
X36	210	151,77	18090,97	303,52	125,82	124,61	0,4976	12,36	178,00	71,20	18145,32	100,30	47,76	5	11412,18	3638,22	116370,02	11617,85
X37	210	154,26	18688,24	307,19	125,60	126,09	0,5010	12,92	204,30	81,72	20826,34	111,44	53,07	5	10187,63	3081,22	103883,24	9839,19
X38	210	150,04	17680,88	306,07	126,64	124,37	0,4955	12,35	213,20	85,28	21733,61	122,92	58,53	5	11281,31	3248,76	115035,57	10374,19
X39	210	152,06	18158,97	302,86	126,03	126,38	0,5007	12,26	185,83	74,33	18943,51	104,32	49,68	5	10735,92	3356,04	109474,23	10716,76
X40	210	153,00	18384,18	306,03	125,66	126,03	0,5007	12,61	231,80	92,72	23629,69	128,53	61,21	5	11864,27	3341,23	120979,96	10669,47
												PROM	77,07	MIN	10158,01	2381,56	103581,21	7604,96
														MAX	13142,47	3839,41	134013,80	12260,30
														PROM	10910,33	2795,27	111252,65	8926,07
														DES. ESTA	723,70	448,13	7379,61	1431,01

Fuente: Elaboración propia

TABLA D.12 CILINDROS X41-X60 RESISTENCIA 210 – 28 DIAS

#	f'c diseño	DIAM. PROM.	AREA	ALT. PROM.	EG	ER	K	MASA	CARGA MAX.	40% CARGA MAX.	CARGA MAX.	RESISTENCIA	PORCENTAJE f'c diseño	TIPO DE FALLA	MODULO	FACTOR PARA Mpa	MODULO	FACTOR PARA (Kg/cm2)
	Kg/cm2	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg)	(KN)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm2)			(MPa)		(Kg/cm2)	
X41	210	150,54	17798,92	308,05	125,17	123,80	0,4972	12,98	312,60	125,04	31866,44	179,04	85,26	5	12071,94	2880,58	123097,60	9198,47
X42	210	150,91	17885,34	307,24	126,41	124,46	0,4961	12,66	239,50	95,80	24414,63	136,51	65,00	5	12256,82	3349,45	124982,79	10695,72
X43	210	151,49	18024,28	307,44	125,93	123,60	0,4953	12,66	335,90	134,36	34241,65	189,98	90,46	5	12280,16	2844,64	125220,77	9083,73
X44	210	151,22	17960,08	306,42	125,22	124,02	0,4976	12,61	351,70	140,68	35852,30	199,62	95,06	5	12771,72	2886,14	130233,22	9216,24
X45	210	154,13	18656,75	307,81	122,93	125,45	0,5051	12,83	354,30	141,72	36117,34	193,59	92,19	5	12565,64	2883,48	128131,85	9207,75
X46	210	150,64	17822,58	303,90	125,38	125,37	0,5000	12,27	328,80	131,52	33517,87	188,06	89,55	5	12399,09	2886,75	126433,53	9218,18
X47	210	150,97	17899,56	307,87	126,62	125,91	0,4986	12,69	405,00	162,00	41285,70	230,65	109,83	5	13144,75	2763,41	134036,99	8824,34
X48	210	150,71	17837,96	302,46	125,84	123,97	0,4963	12,17	371,30	148,52	37850,32	212,19	101,04	5	13253,28	2904,92	135143,68	9276,19
X49	210	150,99	17905,49	303,95	126,98	125,73	0,4975	12,44	381,60	152,64	38900,30	217,25	103,45	5	13200,78	2859,49	134608,40	9131,14
X50	210	151,71	18075,47	301,89	124,21	126,55	0,5047	12,39	394,50	157,80	40215,33	222,49	105,95	5	13006,15	2784,01	132623,69	8890,09
X51	210	151,17	17947,02	302,43	124,61	125,13	0,5010	12,34	364,00	145,60	37106,16	206,75	98,45	5	13111,64	2911,41	133699,43	9296,91
X52	210	152,73	18319,35	306,45	123,69	125,83	0,5043	12,63	351,90	140,76	35872,69	195,82	93,25	5	12466,44	2844,38	127120,32	9082,89
X53	210	150,72	17840,33	305,87	122,53	126,18	0,5073	12,61	369,90	147,96	37707,61	211,36	100,65	5	12360,27	2714,48	126037,69	8668,09
X54	210	151,01	17909,05	306,58	124,20	124,38	0,5004	12,62	390,90	156,36	39848,35	222,50	105,95	5	12906,39	2762,54	131606,50	8821,54
X55	210	150,96	17898,38	300,33	124,80	125,61	0,5016	12,15	315,00	126,00	32111,10	179,41	85,43	5	12372,49	2949,23	126162,25	9417,70
X56	210	152,29	18213,95	301,10	123,85	126,81	0,5059	12,28	366,20	146,48	37330,43	204,96	97,60	5	12338,96	2751,83	125820,35	8787,34
X57	210	153,45	18492,49	307,12	124,21	126,35	0,5043	12,91	396,20	158,48	40388,63	218,41	104,00	5	13101,20	2830,42	133592,92	9038,32
X58	210	150,10	17693,85	305,72	124,54	125,05	0,5010	12,59	364,10	145,64	37116,35	209,77	99,89	5	13243,13	2919,39	135040,17	9322,40
X59	210	151,05	17919,72	302,79	124,65	126,18	0,5030	12,75	375,20	150,08	38247,89	213,44	101,64	5	12806,63	2798,78	130589,16	8937,28
X60	210	150,82	17865,19	304,35	125,32	126,10	0,5016	12,66	397,10	158,84	40480,37	226,59	107,90	5	12575,58	2667,36	128233,18	8517,62
												PROM	96,63	MIN	12071,94	2667,36	123097,60	8517,62
														MAX	13253,28	3349,45	135143,68	10695,72
														PROM	12711,65	2859,63	129620,72	9131,60
														DES. ESTA	385,87	137,22	3934,71	438,19

Fuente: Elaboración propia

D.13 Datos estadísticos para muestras P1-P20.

N	20
V	19
nivel conf	95
Alfa	5
T	2,09
Sxerror	119,27
lim sup	8197,74
lim inf	7698,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.14 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumple el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.13 (Muestras P1-P20).

MUESTRA	CONDICIÓN
P1	
P2	7820,62
P3	
P4	7915,98
P5	
P6	7926,12
P7	7948,46
P8	
P9	
P10	8134,56
P11	
P12	
P13	
P14	
P15	
P16	
P17	8107,26
P18	
P19	7877,80
P20	
PASAN	7
DESCARTADOS	13
PROM	7961,54

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.15 Datos estadísticos para muestras P21-P40.

N	20
V	19
nivel conf	95
Alfa	5
T	2,093
Sxerror	80,72
lim sup	8156,12
lim inf	7818,20

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.16 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.15 (Muestras P21-P40).

MUESTRA	CONDICION
P21	8125,07
P22	7826,08
P23	
P24	
P25	
P26	
P27	
P28	
P29	
P30	7845,44
P31	
P32	7977,58
P33	7958,95
P34	
P35	7943,53
P36	
P37	8078,17
P38	
P39	
P40	7865,10
PASAN	8
DESCARTADOS	12
PROM	7952,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.17 Datos estadísticos para muestras P41-P60.

N	20
V	19
nivel conf	95
Alfa	5
T	2,093
Sxerror	65,75
lim sup	7760,74
lim inf	7485,48

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.18 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.17 (Muestras P41-P60).

MUESTRA	CONDICION
P41	7623,60
P42	7559,57
P43	
P44	7661,19
P45	
P46	
P47	7570,63
P48	
P49	7734,79
P50	7599,92
P51	
P52	
P53	7631,34
P54	7681,07
P55	7731,20
P56	
P57	
P58	
P59	
P60	
PASAN	9
DESCARTADOS	11
PROM	7643,70

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.19 Datos estadísticos para muestras S1-S20.

N	20
V	19
nivel conf	95
Alfa	5
T	2,093
Sxerror	126,98
lim sup	9342,66
lim inf	8811,08

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.20 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.19 (Muestras S1-S20).

MUESTRA	CONDICION
S1	
S2	8817,99
S3	8910,56
S4	
S5	9249,78
S6	9125,36
S7	
S8	8834,55
S9	8941,42
S10	8950,65
S11	
S12	8988,20
S13	
S14	
S15	9062,83
S16	
S17	9133,95
S18	
S19	
S20	9110,22
PASAN	11
DESCARTADOS	9
PROM	9011,41

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.21 Datos estadísticos para muestras S21-S40.

N	20
V	19
nivel conf	95
Alfa	5
T	2,093
sxerror	116,26
lim sup	8528,47
lim inf	8041,77

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.22 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.21 (Muestras S21-S40).

MUESTRA	CONDICION
S21	
S22	
S23	
S24	
S25	
S26	8504,09
S27	8466,64
S28	
S29	8259,15
S30	8179,72
S31	
S32	
S33	
S34	8100,52
S35	8357,56
S36	
S37	8290,54
S38	
S39	
S40	
PASAN	7
DESCARTADOS	13
PROM	8308,32

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.23 Datos estadísticos para muestras S41-S60.

n	20
v	19
nivel conf	95
alfa	5
t	2,093
sxerror	125,26
lim sup	7960,66
lim inf	7436,29

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.24 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.23 (Muestras S41-S60).

MUESTRA	CONDICION
S41	
S42	7527,34
S43	
S44	7439,29
S45	
S46	7943,04
S47	
S48	
S49	7530,40
S50	
S51	
S52	7514,77
S53	
S54	7738,70
S55	
S56	
S57	7453,84
S58	
S59	
S60	
PASAN	7
DESCARTADOS	13
PROM	7592,48

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.25 Datos estadísticos para muestras L1-L20.

n	20
v	19
nivel conf	95
alfa	5
t	2,093
sxerror	134,40
lim sup	9705,27
lim inf	9142,64

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.26 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.25 (Muestras L1-L20).

MUESTRA	CONDICION
L1	
L2	
L3	
L4	9171,16
L5	
L6	
L7	9572,89
L8	
L9	
L10	
L11	9546,96
L12	
L13	9371,47
L14	9263,05
L15	9276,26
L16	
L17	
L18	
L19	9166,29
L20	9278,67
PASAN	8
DESCARTADOS	12
PROM	9330,85

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.27 Datos estadísticos para muestras L21-L40.

n	20
v	19
nivel conf	95
alfa	5
t	2,093
sxerror	71,51
lim sup	9120,04
lim inf	8820,69

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.28 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.27 (Muestras L21-L40).

MUESTRA	CONDICION
L21	
L22	
L23	8901,33
L24	
L25	
L26	
L27	
L28	8884,32
L29	9104,76
L30	
L31	
L32	9040,84
L33	
L34	9096,44
L35	
L36	
L37	8836,71
L38	9118,79
L39	
L40	
PASAN	7
DESCARTADOS	13
PROM	8997,60

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.29 Datos estadísticos para muestras L41-L60.

n	20
v	19
nivel conf	95
alfa	5
t	2,093
sxerror	138,86
lim sup	8744,49
lim inf	8163,20

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.30 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.29 (Muestras L41-L60).

MUESTRA	CONDICION
L41	8486,02
L42	8275,80
L43	
L44	8596,31
L45	
L46	
L47	
L48	8184,23
L49	8448,06
L50	8540,86
L51	8345,31
L52	
L53	
L54	8686,54
L55	
L56	
L57	
L58	8263,42
L59	8172,73
L60	
PASAN	10
DESCARTADOS	10
PROM	8399,93

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.31 Datos estadísticos para muestras X1-X20.

n	20
v	19
nivel conf	95
alfa	5
t	2,09
sxerror	96,79
lim sup	8796,20
lim inf	8391,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.32 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla 4.31 (Muestras X1-X20).

MUESTRA	CONDICION
X1	8623,57
X2	8408,65
X3	8565,46
X4	8623,85
X5	
X6	
X7	
X8	8594,06
X9	
X10	
X11	
X12	
X13	8575,80
X14	
X15	8651,51
X16	
X17	
X18	8620,45
X19	8486,42
X20	
PASAN	9
DESCARTADOS	11
PROM	8572,20

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.33 Datos estadísticos para muestras X21-X40.

n	20
v	19
nivel conf	95
alfa	5
t	2,093
sxerror	319,98
lim sup	9595,79
lim inf	8256,34

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.34 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.33 (Muestras X21-X40).

MUESTRA	CONDICION
X21	8429,01
X22	8318,34
X23	
X24	
X25	
X26	
X27	8271,05
X28	
X29	8503,88
X30	
X31	8265,54
X32	8373,59
X33	8267,62
X34	
X35	
X36	
X37	
X38	
X39	
X40	
PASAN	7
DESCARTADOS	13
PROM	8347,01

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.35 Datos estadísticos para muestras X41-X60.

n	20
v	19
nivel conf	95
alfa	5
t	2,093
sxerror	97,98
lim sup	9336,67
lim inf	8926,51

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.36 Datos del factor del módulo de elasticidad que cumplen el rango entre los límites superior e inferior de la tabla D.35 (Muestras X41-X60).

MUESTRA	CONDICION
X41	9198,47
X42	
X43	9083,72
X44	9216,24
X45	9207,74
X46	9218,18
X47	
X48	9276,19
X49	9131,13
X50	
X51	9296,91
X52	9082,89
X53	
X54	
X55	
X56	
X57	9038,32
X58	9322,39
X59	8937,28
X60	
PASAN	12
DESCARTADOS	8
PROM	9167,46

Fuente: Elaboración propia