



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”

TRABAJO DE GRADUACION

Título del proyecto:

MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON
AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO
CHIMBORAZO.

AUTOR:

Erika Elizabeth Guaño Colcha.

DIRECTOR:

Ing. Alexis Martínez.

Riobamba – Ecuador

AÑO

2015

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO presentado por: Erika Elizabeth Guaño Colcha y dirigida por: Ing. Alexis Martínez.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Víctor Velásquez.
Presidente del Tribunal



Firma

Ing. Alexis Martínez.
Director de Tesis



Firma

Ing. Franklin Pucha.
Miembro del Tribunal



Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Erika Elizabeth Guaño Colcha e Ing. Alexis Martínez; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.”

Erika Guaño.



Firma

Ing. Alexis Martínez.



Firma

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Chimborazo por abrir sus puertas de la enseñanza y el conocimiento, y a todos los docentes quienes la conforman; a mi Director del presente proyecto Ing. Alexis Martínez, a los miembros del tribunal Ing. Víctor Velásquez e Ing. Franklin Pucha.

A los Técnicos del Laboratorio del Control de Calidad de los Materiales, y a la Empresa Fopeca S.A por abrirme sus puertas, y recibir conocimientos que serán de gran ayuda en mi etapa profesional.

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicado a mis padres, Rosa y Fausto quienes son el pilar fundamental de la formación de lo que hoy soy, por haber hecho el enorme sacrificio de darme la mejor herencia que puedo recibir y disfrutar, por su comprensión y la enseñanza del valor del trabajo, por su amor y sus consejos puedo decir que me siento orgullosa de tener una familia como la que Dios me regalo.

A mis hermanos, y a toda mi familia que supieron darme una palabra de ánimos para seguir adelante y poder vencer mis miedos.

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS	x
INDICE DE GRAFICOS E ILUSTRACIONES	xi
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	3
1. CONCEPTOS TEORICOS.	3
1.1. HORMIGÓN.	3
1.1.1. Definición.....	3
1.2. AGREGADOS.	4
1.2.1. Definición.....	4
1.2.2. Clasificación.....	4
1.3. CEMENTO.	6
1.3.1. Definición.....	6
1.3.2. Tipos de Cementos.....	7
1.3.3. Propiedades Físicas y Químicas del cemento.....	9
1.3.4. Requisitos de los cementos.....	10
1.4. DISEÑO PARA MEZCLAS DE HORMIGÓN.	10
1.5. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO.	11
1.5.1. Consistencia.....	11
1.5.2. Docilidad.....	12
1.5.3. Homogeneidad.....	13
1.5.4. Peso específico.....	13
1.6. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO. ..	13
1.6.1. Resistencia a la Compresión.....	14
1.6.2. Módulo de Elasticidad.....	15
1.6.3. Ductilidad.....	18
1.6.4. Resistencia a la Tracción.....	19
1.6.5. Resistencia al Corte.....	19
CAPITULO II. METODOLOGÍA.	20

2.1.	TIPO DE ESTUDIO.	20
2.2.	POBLACIÓN MUESTRA.	20
2.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	22
2.3.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE.	22
2.3.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.	23
2.4.	PROCEDIMIENTOS.	23
2.4.1.	ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.	23
2.4.1.1.	Muestreo.	24
2.4.1.2.	Reducción de muestras a tamaño de ensayo.	25
2.4.1.3.	Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso.	27
2.4.1.4.	Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75µm (N°.200), mediante lavado.	29
2.4.1.5.	Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.	31
2.4.1.6.	Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Fino.	33
	Procedimiento para la determinación de la capacidad de absorción.	36
2.4.1.7.	Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Grueso.	37
	Procedimiento para la determinación de la capacidad de absorción.	39
2.4.1.8.	Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y el Porcentaje de Vacíos.	39
2.4.1.9.	Determinación del valor de la degradación del Árido Grueso de Partículas Menores a 37,5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles.	43
2.4.1.10.	Determinación del Contenido Total de Humedad.	44
2.4.1.11.	Determinación de la Densidad del Cemento.	45
2.4.1.12.	Determinación de la Densidad de una mezcla de Agregados.	47
2.4.2.	DISEÑO DE LA MEZCLA PARA UN HORMIGÓN $f'_c = 21$ MPa.	49
2.4.3.	PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN.	51
2.4.4.	ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN EN LABORATORIO.	52
2.4.5.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN.	57

2.4.6.	PROGRAMA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN.....	61
2.4.7.	ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO VS LA DEFORMACIÓN (MÓDULO DE ELASTICIDAD).	62
2.4.8.	PROGRAMA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE PARA DETERMINAR EL ESFUERZO VS LA DEFORMACIÓN.....	63
2.5.	PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS.....	64
2.5.1.	Caracterización de Agregados.....	64
2.5.2.	Caracterización del Cemento.....	74
CAPITULO III. RESULTADOS.....		77
3.1.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DE AGREGADOS FINO Y GRUESO.	77
3.2.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DEL CEMENTO. .	149
3.3.	RESULTADOS DE DISEÑO DE MEZCLA DEFINITIVA DE HORMIGÓN.....	156
3.4.	RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN.	160
3.5.	DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL, TEÓRICO Y ESTADÍSTICO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	165
3.5.1.	MÉTODO EXPERIMENTAL.	165
3.5.1.1.	CALCULO TIPO DE LA DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	166
3.5.1.2.	RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESION VS DEFORMACIÓN ESPECÍFICA.....	171
3.5.2.	MÉTODO ESTADÍSTICO.....	201
3.5.3.	MÉTODO TEÓRICO.....	203
3.6.	COMPARACIÓN ENTRE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD, TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES.....	204
CAPITULO IV. DISCUSION.....		206
4.1.	ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS APLICADOS EN AGREGADOS FINO Y GRUESO PARA LA DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN.....	206
4.2.	ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA LA DETERMINACION DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL DEL HORMIGÓN $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$...	207
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		208
5.1.	CONCLUSIONES.	208
5.2.	RECOMENDACIONES.....	209

CAPITULO VI. PROPUESTA.....	210
6.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA.....	210
6.2. INTRODUCCIÓN.	210
6.3. OBJETIVOS.	210
6.3.1. GENERAL.	210
6.3.2. ESPECIFICOS.	211
6.4. FUNDAMENTACION CIENTÍFICO-TÉCNICA.	211
6.4.1. Determinación del Módulo de Elasticidad Experimental del Hormigón.	211
6.4.2. Determinación del Módulo de Elasticidad del hormigón según el Código ACI 318-08.....	213
6.4.3. Determinación del Módulo de Elasticidad del hormigón según el Código ACI 363-92.....	213
6.5. DESCRIPCION DE LA PROPUESTA.....	214
6.5.1. Ecuación planteada en función del A.C.I 318-08.....	216
6.5.2. Curva de relación entre el módulo de elasticidad experimental y la resistencia a la compresión del hormigón.	218
6.6. DISEÑO ORGANIZACIONAL.	219
6.7. MONITOREO Y EVALUACION DE LA PROPUESTA.	220
CAPITULO VII. BILIOGRAFIA.	221
CAPITULO VIII. APENDICES O ANEXOS.	224
ANEXO 1: ELABORACIÓN Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS EN MAQUINA UNIVERSAL.	224
ANEXO 2: CAPEO DE PROBETAS CILINDRICAS	225
ANEXO 3: ENSAYO DE PROBETAS CILINDRICAS PARA LA DETERMINACION DEL MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGON EN MAQUINA UNIVERSAL.	226

INDICE DE CUADROS

Tabla 1.- Requisitos que deben cumplir los cementos.....	10
Tabla 2.- Consistencia de los hormigones en estado fresco.....	12
Tabla 3.- Módulos de Elasticidad en base a su resistencia.....	18
Tabla 4.- Análisis de variable independiente.	22
Tabla 5.- Análisis de variable dependiente.	23
Tabla 6.- Lista de ensayos aplicados a los agregados.	23
Tabla 7.- Masas mínimas de muestras de árido fino y grueso.	24
Tabla 8.- Masa mínima de la muestra de ensayo del árido fino en función del porcentaje que atraviesa por los tamices INEN 2,36mm e INEN 4,75mm.....	27
Tabla 9.- Masa mínima de las muestras de ensayo del árido grueso en función del tamaño máximo nominal de las partículas.	28
Tabla 10.- Masa mínima para la muestra de ensayo del material más fino que el tamiz de 75 μ m (N°.200)	29
Tabla 11.- Masa mínima para la muestra de ensayo de densidad del árido grueso.	37
Tabla 12.- Resultados de ensayos a compresión a la edad de 7 días.....	160
Tabla 13.- Resultados de ensayos a compresión a la edad de 14 días.....	161
Tabla 14.- Resultados de ensayos a compresión a la edad de 21 días.....	162
Tabla 15.- Resultados de ensayos a compresión a la edad de 28 días.....	163
Tabla 16.- Resumen de Módulo de Elasticidad Experimental.....	201
Tabla 17.- Método Estadístico del Módulo de Elasticidad Experimental.....	202
Tabla 18.- Método Teórico del Módulo de Elasticidad del Hormigón.	204
Tabla 19.- Comparación entre los módulos de elasticidad teóricos y experimentales.....	205
Tabla 20.- Resumen de Módulo de Elasticidad Experimental.....	215
Tabla 21.- Cálculo del valor del factor (k).	217

INDICE DE GRAFICOS E ILUSTRACIONES

Figura 1.- Hormigón Simple en estado fresco.	3
Figura 2.- Árido Grueso (Ripio Triturado), Árido Fino (Arena de rio).	4
Figura 3.- Cemento Portland Chimborazo.	6
Figura 4.- Consistencia del hormigón Cono de Abrams.	12
Figura 5.- Muestras de Cilindros de Hormigón, Ensayos a Compresión.	14
Figura 6.- Curva de distribución de la resistencia de los hormigones.	15
Figura 7.- Curva Esfuerzo vs Deformación.	15
Figura 8.- Curvas esfuerzo-deformación de hormigones de diferentes resistencias.	16
Figura 9.- Representación gráfica del módulo de elasticidad del hormigón.	17
Figura 10.- Curva Esfuerzo vs. Deformación, Ductilidad.	18
Figura 11.- Trituración de los agregados y toma de muestras.	25
Figura 12.- Reducción de muestra (cuarteo) a tamaño de ensayo del agregado grueso.	26
Figura 13.- Reducción de muestra (cuarteo) a tamaño de ensayo del agregado fino.	27
Figura 14.- Proceso de Tamizado y Colocación de agregado en recipiente para su peso.	29
Figura 15.- Lavado del árido mediante agua potable.	31
Figura 16.- Materiales y proceso de mezclado de agregado para la determinación de impurezas orgánicas.	33
Figura 17.- Comprobación del agregado fino en condición SSS.	35
Figura 18.- Proceso de calibración y agitación del picnómetro con agregado fino.	36
Figura 19.- Agregado fino en estado SSS y seco.	36
Figura 20.- Agregado grueso en estado SSS y determinación del peso de la canastilla sumergida.	38
Figura 21.- Agregado grueso en estado SSS y seco.	39
Figura 22.- Aforamiento de molde y determinación del peso del molde.	40
Figura 23.- Colocación de agregado en molde y nivelación de la superficie.	41
Figura 24.- Colocación de agregado en molde y compactación de agregado por capas.	42
Figura 25.- Colocación de esferas de acero y agregado grueso luego del ensayo.	44
Figura 26.- Peso del material en estado natural y secado de material en el horno.	45
Figura 27.- Medición de la temperatura y colocación de cemento en frasco de Le Chatelier.	46
Figura 28.- Compactación y peso de una mezcla de agregados.	49
Figura 29.- Preparación y peso de los materiales pétreos.	54

Figura 30.- Hormigón en estado fresco.....	54
Figura 31.- Compactación de capas de hormigón y medición del asentamiento.	55
Figura 32.- Compactación de capas de hormigón y acabado final de las probetas cilíndricas de hormigón.....	56
Figura 33.- Desencofrado y curado de probetas cilíndricas de hormigón.	57
Figura 34.- Determinación de las dimensiones de las probetas cilíndricas de hormigón.	59
Figura 35.- Capeo de probetas cilíndricas de hormigón.	60
Figura 36.- Ensayo de Compresión de Cilindros de Hormigón.....	61
Figura 37.- Colocación de compresómetro y ensayo a compresión simple de probetas cilíndricas de hormigón.	63
Figura 38.- Curva Esfuerzo vs Tiempo del Hormigón $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$	164
Figura 39.- Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Concreto Bajo Compresión, y Puntos para Definir el Módulo de Elasticidad según ASTM C-469.	166
Figura 40.- Curva Esfuerzo vs Deformación Específica del Hormigón $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$	172
Figura 41.- Módulo Tangente, Tangente inicial y secante del hormigón.	212
Figura 42.- Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de 21 MPa.....	218

GLOSARIO Y ABREVIATURAS

Absorción.- Proceso por el cual un líquido tiende a llenar los poros permeables de un cuerpo sólido poroso, otra definición es: el incremento de la masa de un cuerpo sólido poroso como resultado de la penetración de un líquido en sus poros permeables.

Arena.-Árido fino resultante de la desintegración natural, abrasión de la roca o del procesamiento de la arenisca completamente desmenuzable.

Árido.- Material granular como: arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro, que se usa con un cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico.

Árido Fino.-Árido que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8”) y que la mayor parte de sus partículas pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75 μ (No.200), o la parte de un árido que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) y es retenido en el tamiz de 75 μ (No.200).

Árido Grueso.- Árido en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No.4), o la porción de un árido retenido sobre el tamiz de 4.75 mm (No.4).

Asentamiento.- Medida a la consistencia del hormigón, obtenida en la prueba del cono de Abrams.

Cemento Hidráulico.- Cemento que fragua y endurece por reacción química con agua y es capaz de hacerlo aún bajo el agua.

Compactación.- Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de una masa de mortero o de hormigón fresco.

Curado.- Es el proceso de aplicar y controlar ciertas condiciones ambientales para el fraguado y endurecimiento del hormigón.

Densidad.- Masa por unidad de volumen.

Dosificación.- Proporción en masa o en volumen de los distintos materiales que integre una mezcla.

Ensayos.- Prueba cuyo fin es determinar las propiedades mecánicas de un material.

Ensayo de Compresión.- Ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

Especificaciones.- Muestra o ejemplar, sobre todo en la medida en que es representativa de una clase de objetos.

Fraguado.- Proceso, debido a reacciones químicas, que se producen luego de la adición del agua de mezcla, que resulta en un desarrollo gradual de la rigidez de una mezcla cementante.

Gradación o Graduación.- Términos utilizados para expresar la conformación de tamaños o arreglo granulométrico de las partículas de los áridos.

Grava.- Árido grueso resultante de la desintegración natural y abrasión de la roca o procesamiento de un conglomerado débilmente ligado.

Grava Triturada.- Producto resultante de la trituración artificial de grava luego de la cual todos los fragmentos tienen al menos una cara como consecuencia de la fractura.

Hormigón.- Material compuesto que consiste especialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos; en el hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua.

Hormigón Endurecido.- Hormigón que ha desarrollado suficiente resistencia, que sirva para algún propósito definido o resista una carga estipulada sin fallar.

Lote.- Es cualquier cantidad determinada de un mortero u hormigón de características supuestamente similares provenientes de una fuente común.

Hormigón Fresco.- Hormigón que posee una cantidad suficiente de su trabajabilidad original, a fin de que pueda ser colocado y compactado con los métodos determinados.

Masa Unitaria (peso volumétrico) de un árido.- Masa por unidad de volumen.

Módulo de Elasticidad.- Relación entre el esfuerzo normal y su correspondiente deformación para los estados de tensión o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material.

Módulo de Finura del Árido.- Factor que se obtiene sumando los porcentajes de material en la muestra, que son más gruesos que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100: 150 μ m (No.100), 300 μ m (No.50), 600 μ m (No.30), 1.18 mm (No.16), 2.36 mm (No.8), 4.75 mm (No.4), 4.75 mm (No.4), 9.5mm (3/8"), 19.0 mm (3/4"), 37.5 mm (1 1/2"), 75 mm (3"), 150 mm (6").

Muestra.- Es la cantidad de material extraída al azar de un lote y representativa de la calidad del mismo.

Refrentado.- Recubrimiento que se coloca en los extremos de los especímenes de ensayo para obtener superficies planas sobre las cuales se aplican las cargas según requerimientos del ensayo.

Relación agua cemento.- Relación de la masa de agua, excluyendo únicamente aquella que es absorbida por los áridos, a la masa del cemento portland en el hormigón, mortero, expresada en forma decimal.

Tamaño Nominal Máximo del Árido.- En las especificaciones o la descripción del árido, la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual se permite que pase la totalidad del árido.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

UNACH: Universidad Nacional de Chimborazo.

MPa: Mega Pascal.

RESUMEN

La industria de la construcción tiene al hormigón como uno de sus elementos importantes para las consideraciones de diseño y costo de las obras que se proyectan y se ejecutan.

Debido a que las características del hormigón como producto final, dependen en gran medida de las propiedades de sus agregados, tales como; densidad, forma, tamaño, textura superficial, dureza y otras que serán analizadas en el transcurso de la investigación, es muy importante que se tenga conocimiento de las propiedades mecánicas que adquieren, los hormigones al ser fabricados con dichos agregados.

La importancia de conocer el Módulo de Elasticidad del Hormigón, radica en que permite determinar la idoneidad de los materiales con los cuáles fue fabricado (agregados y cemento) y la calidad de los diseños de las edificaciones construidas con hormigón, lo que permitirá brindar mayor seguridad y ahorro a cada proyecto de Ingeniería Civil.

De ahí surge la necesidad determinar el módulo de elasticidad del hormigón para la resistencia a la compresión de $f'c = 21$ MPa, elaborado con agregados provenientes del área minera denominada “La Providencia” ubicada en el cantón Guano, Provincia de Chimborazo y cemento “Chimborazo” portland Tipo IP.

Inicialmente, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que se van a utilizar. Se diseñaron mezclas con varias dosificaciones utilizando el método de Densidad Optima para la resistencia especificada de 21 MPa hasta obtener la mezcla definitiva.

Finalmente mediante ensayos a la compresión simple, a la edad de 28 días, según lo especificado en la norma ASTM C-469-94, se obtiene el Módulo de Elasticidad del Hormigón de cada probeta y se las compara con las ecuaciones propuestas por el A.C.I. 318 y A.C.I. 363.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO DE IDIOMAS



Lic. Geovanny Armas

05 de marzo 2015

SUMMARY

Concrete is one of the important elements in the construction industry for considering the design and cost of the works projected and carried out.

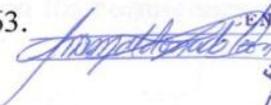
Since the characteristics of concrete as a final product depend mostly on the characteristics of its aggregates, such as density, shape, size, superficial texture, hardness and others which will be analyzed during this investigation, it is very important to know about the mechanical characteristics which concrete acquire when it is manufactured with such aggregates.

The importance of knowing the Concrete Elasticity Module is that it allows determining the suitability of the materials from which it was manufactured (aggregates and cement) and the design quality of the buildings constructed with concrete, it will allow providing greater security and savings in each project of civil engineering.

Because of what is mentioned before, it becomes necessary to determine the elasticity module of concrete for $f_c=21\text{MPa}$ compressive strength made with aggregates from "La Providencia" mining area, located in the Guano canton, Chimborazo province and Portland type I "Chimborazo" cement.

At first, the physical and mechanical features of the materials to be used were determined. Mixtures with several doses were designed by using the Maximum Density method for specific resistance of 21 MPa until getting the final mixture.

Finally, through simple compression trials, at the age of 28 days, as specified in ASTM C-469-94 standard, the Elasticity Module of Concrete of each specimen is obtained and compared with the equations proposed by A.C.I. 318 and A.C.I. 363.


CENTRO DE IDIOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
CHIMBORAZO-ECUADOR
COORDINACION

INTRODUCCIÓN

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

El hormigón está compuesto por agregados gruesos y finos que son elementos de mayor volumen, a más del cemento, agua y aditivos; por lo cual, es necesario conocer: sus características, propiedades físicas y mecánicas; puesto que, de esta forma podemos entender mejor el comportamiento del hormigón como material estructural.

Una de las propiedades más importantes del hormigón es su Módulo de Elasticidad o medida de rigidez que se define como un término muy importante en el diseño de estructuras de hormigón armado, ya que dicho término está presente en los principales cálculos de estructuras de este tipo, como podemos citar: rigideces $K = \frac{4E_c \cdot I}{L}$ en el pre dimensionamiento de elementos estructurales, así como también para el análisis de deformaciones, para el caso particular de rigideces, en este análisis el valor de E_c se encuentra en el numerador de la ecuación, de tal manera que influye en forma directamente proporcional al de la rigidez, caso contrario ocurre en las deformaciones, como por ejemplo en vigas simplemente apoyadas donde actúa una carga uniformemente distribuida y la ecuación es $\Delta L = \frac{5ql^4}{384 \cdot E_c \cdot I}$; cómo podemos observar, el valor de “ E_c ” está en el denominador de forma inversamente proporcional a la deformación.

En nuestro país, para el cálculo del Módulo de Elasticidad del Hormigón se han adoptado ecuaciones y valores impuestos por institutos internacionales tales como: American Concrete Institute (A.C.I.), los cuales se basan en investigaciones realizadas en su medio y con sus propios materiales; sin embargo estas ecuaciones no aseguran un comportamiento similar con los hormigones de nuestro medio.

De ahí surge la necesidad de conocer las características de los agregados con los que habitualmente se trabaja en la ciudad de Riobamba y sus alrededores, para poder establecer el Módulo de Elasticidad en base a la Resistencia a la Compresión.

En cuanto a las investigaciones realizadas hasta el momento, acerca de los agregados con los que se trabajan en la ciudad de Riobamba, han sido aisladas y desarrolladas únicamente de manera superficial sin profundizar la determinación de las propiedades más importantes. Por consiguiente al no tenerse datos sobre estas investigaciones, no ha sido posible conocer a profundidad el Módulo de elasticidad del hormigón fabricados con estos agregados.

El propósito de esta investigación es el de estudiar y obtener de forma experimental el Módulo de Elasticidad del Hormigón, con la finalidad de que este valor sea confiable para el dimensionamiento de estructuras de hormigón armado, cuando se utiliza materiales provenientes del sector “La Providencia” y cemento “Chimborazo”.

CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

1. CONCEPTOS TEORICOS.

1.1.HORMIGÓN.

1.1.1. Definición.

El hormigón se define como un conglomerado fabricado artificialmente, compuesto de partículas inertes (agregados fino y grueso), unidas por una matriz de material cementante o aglutinante; (cemento portland y agua) y la adición eventual de “aditivos”, con el objeto de darle ciertas propiedades, que el hormigón por sí mismo no las posee.

Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y las proporciones de los componentes en la mezcla, además de las condiciones de humedad y temperatura durante los procesos de fabricación, colocación y fraguado del hormigón.

Los agregados ocupan las tres cuartas partes del volumen total del hormigón, el volumen restante está constituido por pasta endurecida de cemento, agua sin combinar y burbujas de aire.



Figura 1.- Hormigón Simple en estado fresco.
Elaborado por: Erika Guaño C.

1.2.AGREGADOS.

1.2.1. Definición.

Material granular que resulta de la disgregación y desgaste de las rocas, o que se obtiene mediante la trituración de ellas.

Los agregados deben ser limpios, sin defectos, resistentes, durables y de calidad uniforme. No deben contener fragmentos blandos, pulverizables, delgados o laminados, así como tampoco sustancias como álcalis, aceite, carbón mineral, mantillo o humus ni otra materia orgánica.



Figura 2.- Árido Grueso (Ripio Triturado), Árido Fino (Arena de rio).
Elaborado por: Erika Guaño C.

1.2.2. Clasificación.

- **Por su origen.**
 - **Naturales (árido rodado).**- Son los que se encuentran de esta forma en la naturaleza y son recogidos directamente en el lugar de su yacimiento. Son pues los obtenidos sin transformación previa. Son unos de los áridos más utilizados, su calidad, así como su granulometría, pueden ser muy variables, lo que obliga a veces a realizar con ellos algún procesos de lavado, para eliminar excesos de finos, y clasificar por tamaños para obtener el árido con el tamaño y características a cada caso.

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

- **Por su naturaleza o composición.**

Si se trata de áridos naturales, su composición dependerá de la roca de la que procedan; y en este sentido hay que tener en cuenta que en la descomposición de las rocas por procesos naturales, algunos minerales se transforman, por lo que en un árido natural solamente encontraremos partículas de las más estables.

Atendiendo a su composición se señalan los principales tipos de áridos: silíceos, calizos, graníticos, basálticos, pizarrosos, arcillosos.

- **Por su yacimiento.**

Los áridos pueden encontrarse en lugares diversos y atendiendo a ello se pueden clasificar según su yacimiento o lugar de procedencia:

- **De Río.-**son los que se encuentran en los cursos de los ríos actuales.
- **De playa o de mar.-** son los recogidos en zonas costeras. La composición, y por tanto su calidad, es muy variable, dependiendo del tipo de roca de la zona.
- **De mina.-** se denomina así a los áridos de aluvión, que se encuentran en los depósitos sedimentarios de valles y antiguas cuencas fluviales. Se presentan forma de estratos o lentejones.

- **Por su tamaño.**

Para definir el tamaño de una partícula o grano de un árido se toma la mayor dimensión posible, es decir, el diámetro de la circunferencia circunscrita a ese grano. Para realizar la clasificación por tamaño se utilizan una serie de cribas o tamices, haciendo pasar una muestra del árido por ellas, teniendo:

- **Arena o árido fino.**- árido o fracción del mismo, que pasa por un tamiz N° 4.
- **Grava o árido grueso.**-el que resulta retenido por dicho tamiz.
- **Árido Total.**- aquel que de por sí o por su mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario para cada caso particular que se considere.

1.3.CEMENTO.

1.3.1. Definición.

Son materiales aglomerantes que tienen las propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir fragmentos minerales entre sí, formando una masa sólida continua, de resistencia y durabilidad adecuadas.



Figura 3.-Cemento Portland Chimborazo.
Elaborado por: Erika Guaño C.

1.3.2. Tipos de Cementos.

Se pueden establecer dos tipos básicos de cementos:

1.3.2.1.Origen Arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.

1.3.2.2.Origen Puzolánico: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

Existen diferentes tipos de cemento ya sean por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

Desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y solidifica progresivamente. Puesto que la composición química de los cementos es compleja, se utilizan terminologías específicas para definir las composiciones.

Cemento Portland.

El cemento más utilizado para la preparación del hormigón es el cemento portland, producto que se obtiene por la pulverización del Clinker portland con la adición de una o más formas de yeso (sulfato de calcio). Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker. Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica. El proceso de solidificación se debe a un proceso químico llamado hidratación mineral.

Tipos de cemento portland.

Cemento Portland Tipo I.

Se lo conoce como cemento Portland ordinario, que es el de mayor utilización en el mercado. Se lo utiliza en hormigones normales que no estarán expuestos a sulfatos en el ambiente, en el suelo o en el agua del subsuelo.

El cemento Portland tipo IA es similar al tipo I, pero produce la introducción de burbujas de aire, de diámetro controlado, en el hormigón.

El cemento Portland tipo IP contiene un cierto porcentaje de puzolana (entre 15 y 40%), lo que cambia la curva de crecimiento de la resistencia, a temprana edad.

Cemento Portland Tipo II.

Este tipo de cemento genera menor calor de fraguado, a una velocidad menor que el tipo I. La característica más importante es que presenta una resistencia moderada a los sulfatos, por lo que es usado en obras marinas y en elementos enterrados.

El cemento Portland tipo IIA es similar al tipo II, pero produce la introducción de burbujas de aire en el hormigón.

Cemento Portland Tipo III.

Son los cementos de fraguado rápido, que suelen utilizarse en obras de hormigón que están en contacto con flujos de agua durante su construcción, o en obras que necesitan estabilizarse rápidamente durante la construcción. El problema básico que presenta es que el calor de fraguado se emite con mayor rapidez que en otros cementos por lo que requiere especial cuidado con el curado.

El cemento Portland tipo IIIA es similar al tipo III, pero produce la introducción de aire en el hormigón.

Cemento Portland Tipo IV.

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

Cemento Portland Tipo V.

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

Propiedades generales del cemento.

- Buena resistencia al ataque químico.
- Resistencia a temperaturas elevadas.
- Resistencia inicial elevada que disminuye con el tiempo.
- Se ha de evitar el uso de armaduras. Con el tiempo aumenta la porosidad.
- Uso apropiado para bajas temperaturas por ser muy exotérmico.

1.3.3. Propiedades Físicas y Químicas del cemento.

- **Determinación de la densidad.**

“La determinación de la densidad de cemento hidráulico consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier”. Norma INEN 156-2009.

1.3.4. Requisitos de los cementos.

Tabla 1.- Requisitos que deben cumplir los cementos.

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

Fuente: Norma NTE INEN 490.

1.4.DISEÑO PARA MEZCLAS DE HORMIGÓN.

La dosificación en el diseño del hormigón tiene por objeto determinar las cantidades de cada uno de los componentes de tal forma que, al combinarse dichos elementos se pueda conseguir una mezcla que posea características específicas cuando el hormigón esté fresco así como también cuando éste se endurezca, además se debe tomar en cuenta el factor económico y esto va muy de la mano con la disponibilidad de los materiales, costos de producción, costos de acarreo, etc.

El diseño del hormigón se realiza mediante el método de la Densidad Optima, la característica principal de este método es que se lo puede aplicar con agregados

que presenten una granulometría deficiente respecto de las normas y límites que se recomiendan en el A.C.I.

El método consiste en obtener una combinación del agregado grueso con el agregado fino de la cual se tenga el menor porcentaje de vacíos.

1.5.PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO.

El Hormigón fresco es aquel que posee plasticidad y tiene la facultad de poder moldearse y con ello puede adquirir cualquier forma, se mantiene en este estado desde el momento en que se realiza la mezcla hasta que se inicia el fraguado del cemento.

Entre las propiedades se puede mencionar:

- Consistencia.
- Docilidad.
- Homogeneidad.
- Peso específico.

1.5.1. Consistencia.

Se define como la facilidad que presenta el hormigón recién mezclado para deformarse y depende fundamentalmente del agua y su amasado.

La medida de la consistencia del hormigón se la puede determinar mediante:

El cono de Abrams para calcular el grado de consistencia del hormigón en su estado fresco se lo realiza en un molde con forma de un cono truncado, se llena con la mezcla en 3 capas de igual altura, compactando cada una con 25 golpes de varilla; luego se levanta el molde, y se mide el descenso de la mezcla en el punto central.

Ese valor, determinado con precisión de 5 mm, es la medida de la consistencia o movilidad de la mezcla.

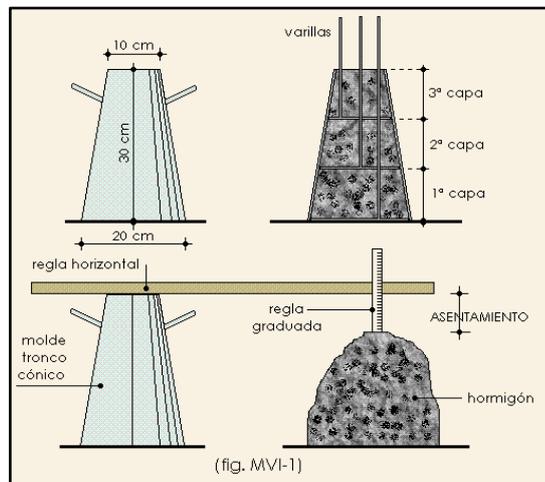


Figura 4.- Consistencia del hormigón Cono de Abrams.

Fuente: <http://www.lorenzoseridor.com.ar/facu01/modulo6/modulo6.htm>

La consistencia de un hormigón depende de los centímetros (cm) de asentamiento que se miden en este ensayo como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 2.- Consistencia de los hormigones en estado fresco.
Consistencias de los hormigones frescos.

Consistencias	Asiento en cono de Abrams (cm)	Compactación
Seca	0-2	Vibrado
Plástica	3-5	Vibrado
Blanda	6-9	Picado con barra
Fluida	10-15	Picado con barra
Líquida	16-20	Picado con barra

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n>

1.5.2. Docilidad.

Se entiende como la facilidad con que una mezcla de áridos, cemento y agua, se transforma en hormigón, y la facilidad de ser manejado, transportado, colocado y compactado en los moldes o encofrados con la misma pérdida de homogeneidad.

La docilidad depende, de los siguientes factores:

- Cantidad de agua en la mezcla.
- Granulometría de los áridos.

- Forma y tamaño del molde.
- Medios de compactación disponibles.

1.5.3. Homogeneidad.

Es la cualidad que tiene un hormigón para que los componentes del hormigón se encuentren mezclados perfectamente y se distribuyan de forma regular en la masa previa en el diseño de la mezcla.

La homogeneidad se consigue con un buen amasado y, para mantenerse, requiere un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.

1.5.4. Peso específico.

Es la relación entre la de una sustancia por unidad de volumen.

$$\gamma_H = \frac{M}{V}$$

Donde:

- γ_H : Peso Específico del Hormigón Fresco.
- **M**: Masa del Hormigón Fresco.
- **V**: Volumen del Hormigón Fresco.

1.6. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO.

Para el diseño de estructuras de hormigón se utilizan las propiedades mecánicas del hormigón endurecido. Entre las más importantes se tiene:

- Resistencia a la Compresión.
- Módulo de Elasticidad.
- Ductilidad.
- Resistencia a la Tracción.
- Resistencia al Corte.

1.6.1. Resistencia a la Compresión.

Se define como la relación entre la carga de ruptura y el área de la sección transversal calculada antes del ensayo.

La resistencia a la compresión del hormigón, la cual define su calidad, depende de varios factores:

- a) la relación agua/cemento ($a/c = 0.5$ a 0.7).
- b) la dosificación.
- c) la forma de curado.
- d) la calidad de sus componentes (cemento y áridos).

La resistencia a la compresión del hormigón se determina en muestras cilíndricas, estandarizadas de: 15 cm de diámetro y 30 cm de altura; llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementadas, que duran unos pocos minutos.



Figura 5.- Muestras de Cilindros de Hormigón, Ensayos a Compresión.
Extraído de: TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO, Marcelo Romo, ESPE, pag.14.

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.

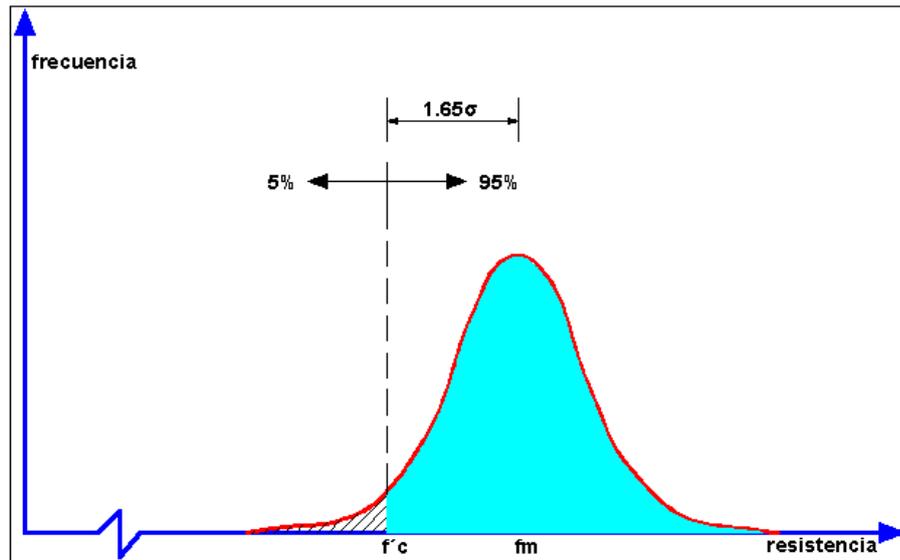


Figura 6.- Curva de distribución de la resistencia de los hormigones.
 Extraído de: TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO, Marcelo Romo, ESPE, pag.15.

Si se asume una distribución normalizada mediante la campana de Gauss de los ensayos de rotura de cilindros de hormigón, la resistencia característica puede calcularse a partir de la resistencia media y la desviación estándar.

1.6.2. Módulo de Elasticidad.

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro mecánico importante, que refleja la capacidad del concreto para deformarse elásticamente y se define como la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente a los esfuerzos de tensión y compresión.

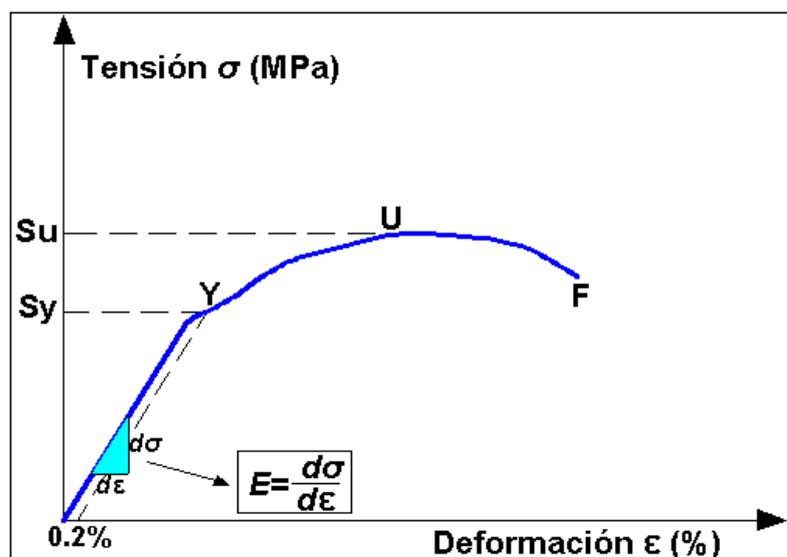


Figura 7.- Curva Esfuerzo vs Deformación.
 Extraído de: http://www.mecapedia.uji.es/modulo_de_elasticidad.htm.

Se la puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$E_c = \frac{\sigma_c}{\epsilon_c}$$

Donde:

σ_c = Esfuerzo.

ϵ_c = Deformación.

El Módulo de Elasticidad es diferente para distintas resistencias a la compresión del hormigón, y su valor se va incrementado cuando la resistencia del hormigón es mayor.

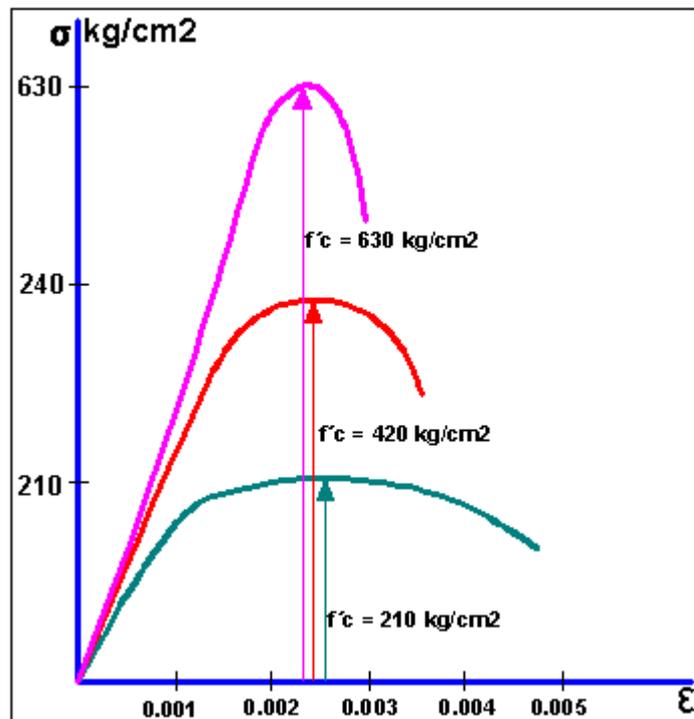


Figura 8.- Curvas esfuerzo-deformación de hormigones de diferentes resistencias.
Extraído de: TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO, Marcelo Romo, ESPE, pag.17.

El hormigón, no es un material verdaderamente elástico, pero, endurecido por completo y cargado en forma moderada, tiene una curva de esfuerzo – deformación que, en esencia, se considera como una recta dentro del rango de los esfuerzos usuales de trabajo.

La pendiente de la curva en el rango de comportamiento lineal recibe la denominación de “Módulo de Elasticidad” del material o “Módulo de Young”, que se simboliza E_c .

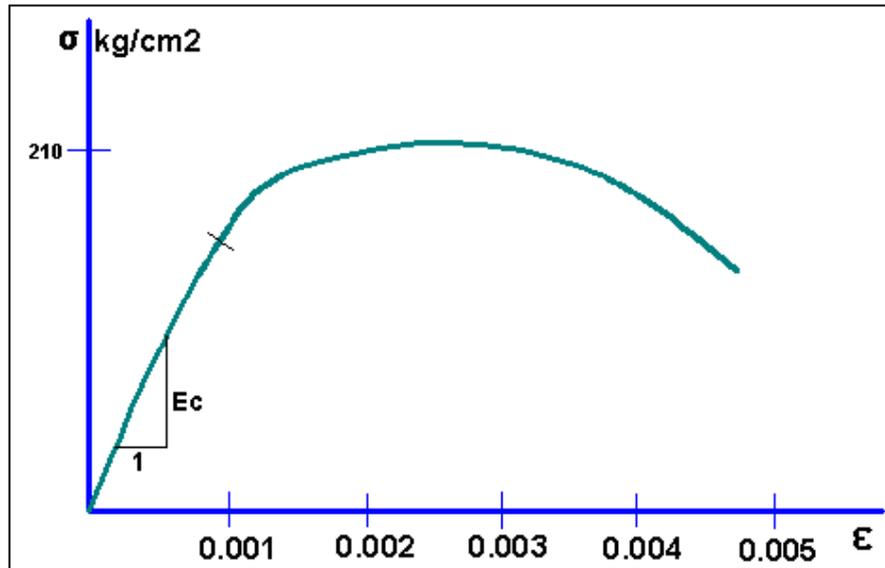


Figura 9.- Representación gráfica del módulo de elasticidad del hormigón.
 Extraído de: TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO, Marcelo Romo, ESPE, pag.18.

En general, los módulos de elasticidad se determinan a partir de pruebas de cilindros de hormigón ensayados a la compresión. Los diferentes valores que pueden determinarse a partir de una prueba que incluyen el módulo tangente inicial, el módulo secante y el módulo cuerda.

El American Concrete Institute (A.C.I) propone la siguiente expresión (que también es recogida por el Código Ecuatoriano de la Construcción), obtenida experimentalmente, como forma aproximada de calcular el módulo de elasticidad del hormigón, en función de la resistencia a la compresión del mismo.

ACI 318-08 - NEC.

$$E_c = 4700 * \overline{f'_c} \quad \text{MPa}$$

ACI 363-92

$$E_c = 3320 * \overline{f'_c} + 6900 \quad \text{MPa}$$

Donde:

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón.

f'_c : Resistencia a la compresión del hormigón.

La expresión previa es adecuada para hormigones con agregados de peso normal y resistencias normales y medias.

A continuación, se presenta una tabla que relaciona la resistencia de los hormigones utilizados con más frecuencia con su módulo de elasticidad.

Tabla 3.- Módulos de Elasticidad en base a su resistencia.

Resistencia (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
210	217000
280	251000
350	281000
420	307000

Fuente: TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO, Marcelo Romo, ESPE, pag.19

1.6.3. Ductilidad.

Se define como ductilidad de un material a la capacidad que tiene para continuar deformándose no linealmente, a pesar de que los incrementos de carga sean mínimos, nulos e inclusive, si existe una disminución de la carga; una medida cuantitativa de esa ductilidad, sería el cociente entre la deformación de rotura y la deformación máxima con comportamiento lineal elástico.

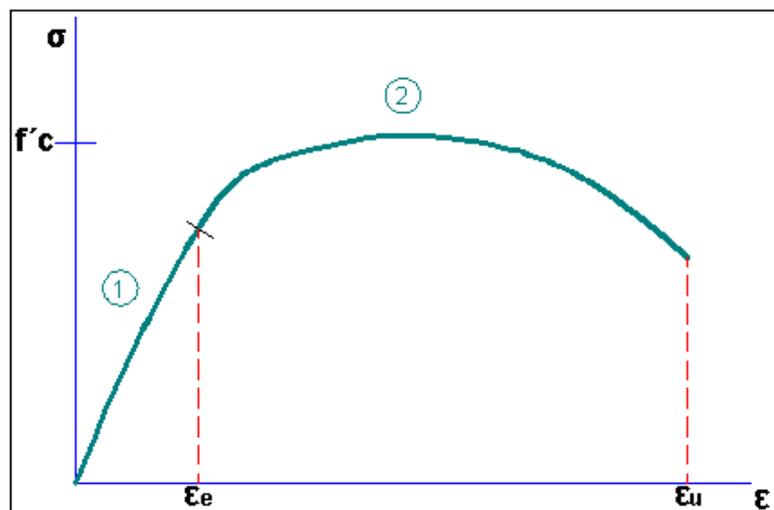


Figura 10.- Curva Esfuerzo vs. Deformación, Ductilidad.

Extraído de: TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO, Marcelo Romo, ESPE, pag.19.

$$E_d = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_e}$$

Uno de los requisitos más importantes que debe reunir un hormigón, en zonas sísmicas, es su ductilidad, lo que en nuestro medio limita la utilización de hormigones de resistencia media f_m superior a 500 kg/cm^2 , por ser sumamente frágiles (tienen una rotura muy rápida y explosiva).

1.6.4. Resistencia a la Tracción.

La resistencia a la tracción del hormigón es el esfuerzo de este para resistir dos fuerzas actuantes en sentidos opuestos. El hormigón es un material muy poco resistente a las cargas de tracción por lo que en el hormigón armado los esfuerzos de tracción del hormigón son absorbidos por los esfuerzos del acero. La resistencia a la tracción del hormigón es aproximadamente el 10% de la resistencia a la compresión de este.

1.6.5. Resistencia al Corte.

La resistencia al corte del hormigón es el esfuerzo de este para resistir fuerzas cortantes que se convierten en tracciones diagonales, la resistencia al corte del hormigón es similar en magnitud y comportamiento a la resistencia a la tracción.

CAPITULO II. METODOLOGÍA.

2.1. TIPO DE ESTUDIO.

Esta investigación se desarrolló en tres etapas:

1. Investigación Básica.
2. Investigación Experimental.
3. Investigación colectiva comparativa y concluyente.

Etapa I: Comprende una investigación básica realizada en el laboratorio para obtener las propiedades de los materiales que forman un hormigón, para de esta manera realizar una dosificación apropiada para la obtención de probetas de hormigón con una resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Etapa II: Será una investigación experimental que consisten en realizar probetas de hormigón que se basan en una dosificación y la mezcla de los materiales, puestas en condiciones ambientales de laboratorio, se realiza un curado de las probetas de hormigón, y se ensayan los cilindros a compresión a diferentes edades, para determinar su resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad del hormigón.

Etapa III: En esta etapa se realiza una investigación comparativa y concluyente, en la cual los resultados finales serán comparados entre si bajo la fórmula de Módulo de Elasticidad del hormigón establecida por el A.C.I y el NEC.

2.2. POBLACIÓN MUESTRA.

Las probetas de hormigón a realizarse en los ensayos deben estar de acuerdo al tamaño del agregado con el cual se realizarán las probetas, en nuestro caso se utilizaron probetas estándar de:

Altura = 300 mm.

Diámetro = 150 mm.

Que son las medidas utilizadas cuando se realiza la toma de muestras testigo y son las que se determinan en la norma ASTM C-192 “Práctica para fabricar y curar probetas cilíndricas de hormigón en el Laboratorio” ; con este tipo de muestra se hacen, generalmente , todos los controles de calidad en las construcciones y los resultados que se arrojen en este tipo de molde , son satisfactoria , cuando se decide utilizar otro tipo de moldes u otras dimensiones , así como probetas cubicas , se deberá realizar los cálculos de conversión necesarios para obtener las resistencias a compresión simple.

Es necesario adoptar un número mínimo de probetas estándar de la siguiente manera:

Muestra Pequeña: 5 probetas.

Muestra Grande: mayor o igual a 15 probetas.

Es así que se ha adoptado un número mínimo de 60 probetas estándar para esta investigación, que serán utilizadas de la siguiente forma:

1. Probetas para pruebas iniciales.

- 5 cilindros para ser ensayados a los 7 días (ensayo de compresión simple).
- 5 cilindros para ser ensayados a los 28 días (ensayo de compresión simple).

2. Probetas para pruebas finales.

- 10 probetas para ser ensayados a los 7 días (ensayo de compresión simple).
- 5 probetas para ser ensayados a los 14 días (ensayo de compresión simple).

- 5 probetas para ser ensayados a los 21 días (ensayo de compresión simple).
- 15 probetas para ser ensayados a los 28 días (ensayo de compresión simple).
- 15 probetas para obtener el Módulo de Elasticidad del Hormigón.

2.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.

Tabla 4.- Análisis de variable independiente.

VARIABLE	CONCEPTO	DIMENSIÓN	INDICADOR
Tipos de agregados	Materiales naturales, que sirven como base para elaborar probetas de cilindros de hormigón.	Ensayos de Laboratorio, interviene directamente en la resistencia de las probetas.	Parámetros de aceptación. - Granulometría - Humedad - Densidad
Dosificación Adecuada	Implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen al hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas.	La resistencia de las probetas, dependerá directamente de una correcta proporción de materiales.	-Cantidad de agua exacta. -Peso exacto de cemento y áridos. -Ejecución de los procedimientos adecuados.
Condiciones climáticas	Es el ambiente físico que está presente mientras se realiza las probetas y curado del hormigón.	El clima influirá en la resistencia del hormigón.	-Presencia de lluvia o sol. -Viento
Temperatura del agua	Es la medida de la energía térmica de una sustancia. Se mide con un termómetro.	Influye en la resistencia del hormigón.	-Clima -Laboratorio -Ubicación geográfica

Elaborado por: Erika Guaño C.

2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE.

Tabla 5.- Análisis de variable dependiente.

VARIABLE	CONCEPTO	DIMENSIÓN	INDICADOR
Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón.	Es la resistencia a la compresión medida de un cilindro de hormigón.	Determina si la mezcla de hormigón cumple con los requerimientos especificados.	Valor de la resistencia a la compresión.
		Módulo de Elasticidad.	Valor del módulo de elasticidad.
Análisis Comparativo	Observar las características particulares de cada muestra. Comparar los resultados obtenidos con los especificados por el A.C.I y NEC.	Observar características particulares de cada muestra. Comparación de resultados.	Análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados de ensayo de laboratorio.

Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.PROCEDIMIENTOS.

2.4.1. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.

Los ensayos que se realizaron están basados en las normas INEN y normas ASTM, como se detallan a continuación:

Tabla 6.- Lista de ensayos aplicados a los agregados.

ITEM	ENSAYO	NORMAS	
ARIDOS FINOS-GRUESOS			
1	Muestreo.	INEN 695	ASTM D75-09
2	Reducción de muestras a tamaño de ensayo.	INEN 2 566	ASTM C702-03
3	Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso.	INEN 696	ASTM C 136-06
4	Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas No 200 mediante lavado.	INEN 697	ASTM C 117-04
5	Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.	INEN 855	ASTM C 40-04
6	Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Fino.	INEN 856	ASTM C 128-07a
7	Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Grueso.	INEN 857	ASTM C 127-07
8	Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y el Porcentaje de Vacíos.	INEN 858	ASTM C 29-09
9	Determinación del valor de la degradación del Árido Grueso de Partículas Menores a 37.5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles.	INEN 860	ASTM C 131-06
10	Determinación del Contenido Total de Humedad.	INEN 862	ASTM C 566-04
CEMENTO			
11	Determinación de la Densidad.	INEN 156	ASTM C 188-03

Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.1.Muestreo.

El muestreo, es una muestra representativa del volumen que se va a ensayar, ya sea muestra de lotes, sub lotes, pilas de materiales.

El muestreo de los agregados constituye un proceso fundamental en el control de calidad de los materiales para la obtención del hormigón.

Tabla 7.- Masas mínimas de muestras de árido fino y grueso.

Tamaño del árido(mm)	Masa mínima de la muestra in situ (kg)	Volumen mínimo de la muestra in situ, litros
Áridos finos		
2.36	10	8
4.75	10	8
Áridos gruesos		
9.5	10	8
12.5	15	12
19.0	25	20
25.0	50	40
37.5	75	60
53.0	100	80
63.0	125	100
75.0	150	120
90.0	175	140

Fuente: Norma NTE INEN 695.

Equipos y materiales utilizados:

-  Agregado fino.
-  Agregado grueso.
-  Palas.
-  Fundas plásticas.
-  Carretillas.

Procedimiento de muestreo desde una pila:

- a) Tomar las muestras de los agregados de la parte superior, intermedia e inferior de la pila.
- b) Almacenar el agregado en fundas plásticas.
- c) Identificar las muestras de los agregados.
- d) Transportar las muestras al laboratorio.
- e) Colocar las muestras en bandejas recipientes limpios.



Figura 11.-Trituración de los agregados y toma de muestras.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.2.Reducción de muestras a tamaño de ensayo.

Este ensayo determina la reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo hasta el tamaño necesario para hacer los ensayos prueba.

De acuerdo a la norma para la reducción de muestras utilizamos el método A (Separador Mecánico) para el agregado grueso y el método B (Cuarteo) para el fino respectivamente.

Equipos y materiales utilizados:

- ✚ Separador Mecánico.
- ✚ Recipientes.
- ✚ Pala.

Procedimiento reducción de muestras del agregado grueso:

- a) Colocar el agregado en la tolva de alimentación.
- b) Distribuir uniformemente el agregado
- c) Desechar el contenido de uno de los recipientes inferiores y colocarlos nuevamente.
- d) Repetir los literales b, c hasta obtener la masa necesaria para el ensayo.



Figura 12.-Reducción de muestra (cuarteo) a tamaño de ensayo del agregado grueso.
Elaborado por: Erika Guaño C.

Procedimiento reducción de muestras del agregado fino:

- a) Tomar una muestra de agregado fino y colocarla sobre una superficie lisa.
- b) Mezclar con la pala uniformemente el material
- c) Formar una pila cónica depositando cada palada de material sobre la cumbre del cono un total de 3 veces.
- d) Con la tercera vez que se forma el cono este se puede aplastar con la pala hasta obtener un espesor y diámetro uniforme.
- e) Dividir el material en 4 partes iguales
- f) Desechar las 2/4 partes que se encuentra opuestas en diagonal.
- g) Mezclar nuevamente el material con la pala hasta obtener una mezcla uniforme.
- h) Repetir los pasos c, d, e, f hasta obtener una masa adecuada para el ensayo.



Figura 13.-Reducción de muestra (cuarteo) a tamaño de ensayo del agregado fino.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.3. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso.

Este ensayo consiste en pasar una muestra de agregado seco, de masa conocida por una serie de tamices normalizados de acuerdo a la norma INEN, mismas que son de aberturas progresivamente pequeñas, que ayuda a determinar la distribución porcentual de la masa de los tamaños de la partículas que constituyen un agregado o árido.

Para realizar el ensayo de granulometría se necesita que las muestras cumplan con las especificaciones que se indican en norma INEN 695 mismas que deben proporcionar las masas mínimas, después de secado como se indican en las siguientes tablas:

Tabla 8.- Masa mínima de la muestra de ensayo del árido fino en función del porcentaje que atraviesa por los tamices INEN 2.36mm e INEN 4.75mm.

%	MASA MINIMA DE LA MUESTRA
Por lo menos el 95% pasa por el tamiz INEN 2.36mm	100 g
Por lo menos el 85% pasa por el tamiz INEN 4.75mm y más del 5% es retenido en el tamiz INEN 2.36mm.	500g

Fuente: Norma NTE INEN 2 566

Tabla 9.- Masa mínima de las muestras de ensayo del árido grueso en función del tamaño máximo nominal de las partículas.

TAMANO MAXINO NOMINAL DE LAS PARTICULAS (mm)	MASA MINIMA DE LA MUESTRA kg
90.0	70
75.0	45
63.0	25
53.0	20
37.5	16
26.5	12
19.0	8
13.2	4
9.5	2

Fuente: Norma NTE INEN 2 566

Equipos y materiales utilizados:

- ✚ Serie de Tamices.
- ✚ Balanza con precisión del 0.1%.
- ✚ Recipientes.
- ✚ Horno.
- ✚ Agregado fino.
- ✚ Agregado grueso.
- ✚ Brocha.
- ✚ Tamizadora eléctrica.

Procedimiento:

- a) Secar la muestra hasta obtener masa constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$.
- b) Enfriar la muestra y registrar la masa con una precisión del 0.1%.
- c) Seleccionar y armar los tamices en orden decreciente, para el árido fino la serie de tamices de 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, Bandeja, y para el árido grueso la serie de tamices de 2", 1 1/2", 1" 3/4", 1/2" 3/8", N°4.
- d) Colocar la muestra a ensayar en el tamiz de mayor abertura.
- e) Agitar los tamices, con la ayuda de la tamizadora eléctrica durante un periodo adecuado.

- f) Determinar la masa de las cantidades de material retenido en cada tamiz y la del depósito receptor (bandeja).
- g) Calcular el porcentaje de masa retenido y el pasante de cada tamiz.
- h) Graficar la curva granulométrica con sus límites.



Figura 14.- Proceso de Tamizado y Colocación de agregado en recipiente para su peso.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.4. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de $75\mu\text{m}$ (N° .200), mediante lavado.

Este ensayo establece el método de ensayo para determinar mediante lavado del árido, la cantidad del material que pasa el tamiz con aberturas de $75\mu\text{m}$ (N° 200).

La masa mínima a considerarse para el ensayo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10.- Masa mínima para la muestra de ensayo del material más fino que el tamiz de $75\mu\text{m}$ (N° .200)

Tamaño máximo nominal	Masa mínima (g)
4.75mm(N 4) o menor	300
Mayor que 4.75 (N 4) hasta 9.5 mm	1000
Mayor que 9.5mm hasta 19.0mm	2500
Mayor que 19.0 mm	5000

Fuente: Norma NTE INEN 697

Para la realización de este ensayo se realizó mediante el **Procedimiento A: Lavado utilizando agua potable.**

Equipos y materiales utilizados:

- ✚ Tamices.
- ✚ Bandejas.
- ✚ Balanza.
- ✚ Horno eléctrico.
- ✚ Agua.
- ✚ Agregado fino.

Procedimiento:

- a) Obtener una masa mínima de aproximadamente 300 g de agregado fino.
- b) Secar la muestra de ensayo hasta una masa constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$.
- c) Determinar su masa con una precisión de 0.1g.
- d) Utilizar un recipiente hondo para colocar la muestra.
- e) Cubrir el agregado con agua y agitarlo en el recipiente evitando que existan pérdidas; realizar este procedimiento para separar las partículas finas de las gruesas.
- f) Inmediatamente verter el agua del lavado con los sólidos suspendidos y disueltas en el tamiz No.200.
- g) Repita los pasos e, f hasta que el agua de lavado este clara.
- h) Regrese todo el material retenido en el tamiz al recipiente hondo para enjaguar la muestra lavada.
- i) Retire el excedente de agua sin que se pierda ninguna partícula de material.
- j) Seque el agregado lavado hasta obtener una masa constante y determine su masa seca con una precisión de 0.1 g.



**Figura 15.- Lavado del árido mediante agua potable.
Elaborado por: Erika Guaño C.**

2.4.1.5.Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.

Este ensayo determina aproximadamente la presencia de cantidades inapropiadas de impurezas orgánicas en el árido fino para mortero y hormigón.

La materia orgánica encontrada generalmente en los agregados finos, consiste en productos de descomposición vegetal, la cual aparece en forma de humus o arcilla orgánica.

En agregados se pueden encontrar algunas sustancias como lo es la materia orgánica, las cuales si se encuentran en grandes cantidades afectan o dañan algunas propiedades del concreto como: el tiempo de fraguado, resistencia y durabilidad. De aquí proviene la importancia de detectar éste tipo de materia, saber cómo actúan y hasta que cantidad se pueden tolerar.

Las impurezas orgánicas interfieren en las reacciones químicas de hidratación del cemento durante el proceso de fraguado causando un tipo de retraso, lo cual ocasiona como anteriormente se nombró, una disminución en resistencia y durabilidad.

Equipos y materiales utilizados:

- ✚ Botella de vidrio.
- ✚ Recipientes.
- ✚ Balanza.
- ✚ Cucharon.
- ✚ Hidróxido de sodio.
- ✚ Agua.
- ✚ Agregado fino.
- ✚ Comparador de color normalizado.

Procedimiento:

- a) Pesar 97% en gramos de agua destilada y depositarla en un frasco adecuado para preparar el reactivo.
- b) Pesar 3% en gramos de Hidróxido de sodio (NaOH) e introducirlo en el frasco que contiene el agua destilada.
- c) Una vez mezclada el agua destilada con el reactivo esperar hasta que se disuelva completamente aproximadamente 5 minutos.
- d) Depositar en el frasco colorimétrico una cierta cantidad de agregado fino entre 130ml.
- e) Llenar el frasco con el reactivo hasta la marca de 200ml.
- f) Agitar el frasco lentamente hasta eliminar el contenido del aire y dejarlo reposar.
- g) Dejar reposar el frasco durante un periodo de 24 horas y registrar su coloración.



Figura 16.- Materiales y proceso de mezclado de agregado para la determinación de impurezas orgánicas.

Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.6. Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Fino.

La densidad es una propiedad física de los agregados y se define por la relación del peso y volumen de una masa definida, lo que significa que depende directamente de las características del agregado.

Generalmente las partículas de agregado tienen poros saturables y no saturables, dependiendo su permeabilidad interna pueden estar vacíos, secos, parcialmente saturados o totalmente saturados, a partir de esto se genera una serie de estados de humedad.

En el campo de la tecnología del hormigón y específicamente en el diseño de mezclas, que es de mucha importancia la densidad aparente, que se define como la masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del árido.

Este factor es importante para el diseño de mezclas porque con él se determina la cantidad de agregado requerido para un volumen de hormigón.

Se define a la absorción de los agregados como el incremento en la masa debido al agua en los poros de los agregados, sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas expresado como un porcentaje de la masa seca.

Se considera un agregado seco cuando se ha mantenido a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

El método consiste en sumergir en agua durante un período de 24 horas, luego del cual se retira del recipiente con agua; posteriormente, se seca hasta llevar al material a un estado SSS (saturado y superficialmente seco), obtenido esto; lo pesamos e introducimos al horno de secado a temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta que sus poros estén libres de partículas de agua. La diferencia de pesos, expresa un porcentaje de la masa seca, por tanto, la capacidad de absorción.

Equipos y materiales utilizados:

- ✚ Balanza.
- ✚ Picnómetro de 500 cm^3 de capacidad.
- ✚ Molde troncónico metálico.
- ✚ Varilla de compactación.
- ✚ Horno.
- ✚ Bandejas.
- ✚ Pipeta.

Procedimiento para la determinación de la densidad.

- a) Pesar la muestra aproximadamente 1000 g.
- b) Sobresaturar la muestra dejando el árido fino en una bandeja con agua por un tiempo de 24 horas.
- c) Retirar el agua contenida en el recipiente, con la precaución de evitar pérdida de finos.
- d) Secar la muestra sobre una superficie plana, envolviéndola continuamente para obtener un secado uniforme.
- e) Colocar el cono sobre la superficie, con el diámetro mayor hacia abajo.

- f) Sujetar firmemente el cono con la mano, introducir al agregado por el diámetro superior hasta sobrellenar el cono.
- g) Se alza y se suelta el pistón 25 veces del borde del agregado fino a una altura de 5mm distribuidos en toda la superficie.
- h) Se retira el agregado fino esparcido en el contorno del cono.
- i) Se procede a levantar el cono suavemente en forma vertical.
- j) Si la pila se desmorona ligeramente ya alcanzado la condición SSS.
- k) Si el material se ha secado demasiado se debe cubrir con agua en un periodo de 30 minutos y repetir todo el proceso.
- l) Si la pila de agregado no se desmorona debe continuar secando.



**Figura 17.- Comprobación del agregado fino en condición SSS.
Elaborado por: Erika Guaño C.**

- m) Pesar el picnómetro vacío.
- n) Tomar una cantidad en estado SSS e introducirla en el picnómetro.
- o) Registrar su peso de picnómetro + árido en estado SSS.
- p) Llenar con agua destilada el picnómetro hasta el 90% de su capacidad.
- q) Agitar el picnómetro con movimientos lentos circulares para eliminar burbujas de aire.
- r) Completar el nivel de agua hasta la marca de los 500 cm³, con la ayuda de una pipeta.
- s) Pesar y registrar en conjunto picnómetro, agua y la muestra.



Figura 18.- Proceso de calibración y agitación del picnómetro con agregado fino.
Elaborado por: Erika Guaño C.

Procedimiento para la determinación de la capacidad de absorción.

- a) Determinar el peso del recipiente o bandeja.
- b) Registrar el peso de una porción de árido fino en estado SSS más el recipiente que lo contiene.
- c) Introducir el árido en SSS al horno por tiempo de 24h hasta obtener masa constante.
- d) Retirar la muestra al horno, una vez concluido el periodo de secado, tabular el peso de la muestra seca más el recipiente.



Figura 19.- Agregado fino en estado SSS y seco.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.7. Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Grueso.

“Este ensayo establece el método de ensayo para determinar la densidad, la densidad (gravedad específica) y la absorción de árido grueso”¹.

La masa mínima de la muestra de ensayo a ser utilizada se presenta en la tabla N° 11. Se permite ensayar el árido grueso en varias fracciones de tamaño. Si más del 15% de la muestra es retenida en el tamiz de 37.5mm ensayar el material más grande que 37.5mm en una o más fracciones separadas, desde la fracción más pequeña. Cuando se ensaya un árido en fracciones separadas la masa mínima de la muestra de ensayo para cada fracción debe ser la diferencia entre las señaladas para los tamaños máximo y mínimo de la fracción.

Tabla 11.- Masa mínima para la muestra de ensayo de densidad del árido grueso.

Tamaño máximo nominal mm	Masa mínima de la muestra para ensayo (kg)
12.5 o menor	2
19.0	3
25.0	4
37.5	5
50.0	8
63.0	12
75.0	18
90.0	25
100.0	40
125.0	75

Fuente: Norma NTE INEN 857.

Equipos y materiales utilizados:

-  Balanza.
-  Canasta de alambre.
-  Recipiente para almacenar agua.
-  Horno.
-  Bandejas.

¹ Norma NTE INEN 857.

Procedimiento para la determinación de la densidad.

- a) Obtener una porción de agregado grueso por cualquiera de los métodos establecidos, ya sean estos por cuarteo manual o utilizando luna cuarteadora, eliminar todo el material que pase por el tamiz N° 4.
- a) Sumergir en agua al árido grueso mediante el uso de recipientes adecuados durante un tiempo de 24 h.
- b) Retirar la muestra del agua y secarla con un paño absorbente y con el mismo frotarla hasta eliminar la capa visible de agua obteniendo así su estado de superficial saturado seco SSS.
- c) Determinar el peso del recipiente que contendrá al agregado en SSS.
- d) Depositar el agregado en SSS en el recipiente y registrar su peso de la muestra en estado SSS.
- e) Pesar la canastilla vacía sumergida en agua.
- f) Colocar el agregado en estado SSS dentro de la canastilla de alambre para registrar el peso sumergido en agua.
- g) Eliminar las burbujas de aire atrapado en la canastilla con movimientos lentos.



Figura 20.- Agregado grueso en estado SSS y determinación del peso de la canastilla sumergida.

Elaborado por: Erika Guaño.

Procedimiento para la determinación de la capacidad de absorción.

- a) Determinar la masa del recipiente donde se depositara la muestra.
- b) Tomar una porción de muestra en estado SSS de la canastilla del ensayo anterior y depositarla en recipiente de masa conocida, registrar la masa.
- c) Introducir el recipiente que contiene el árido grueso al horno y someterlo a una temperatura constante durante 24 h.
- d) Retirar la muestra del horno y registrar la masa recipiente + muestra seca.



Figura 21.- Agregado grueso en estado SSS y seco.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.8. Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y el Porcentaje de Vacíos.

Se define a la masa unitaria del árido como la masa de una unidad de volumen correspondiente al árido total en el cual se incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre las partículas.

Equipos y materiales.

- ✚ Agregado fino y grueso.
- ✚ Balanza.
- ✚ Pala o cucharón.

- ✚ Recipientes cilíndricos metálicos.
- ✚ Varilla lisa de compactación.
- ✚ Pipetas.
- ✚ Agua.
- ✚ Placa de vidrio carretilla.

Determinación del volumen del molde.

- a) Determinar la masa de la placa de vidrio y molde con una aproximación de 0.05 kg.
- b) Aforar el recipiente con agua y cubrirlo con una placa de vidrio, para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
- c) Determinar la masa del agua, la placa de vidrio y molde con una aproximación de 0.05 kg.
- d) Medir la temperatura del agua con una aproximación de 0.5 °C y determinar su densidad.
- e) Calcular el volumen del molde.



Figura 22.- Aforamiento de molde y determinación del peso del molde.
Elaborado por: Erika Guaño C.

Procedimiento para la determinación la masa unitaria suelta (mus) en agregado fino y grueso.

- a) Tomar una muestra de agregado y mezclar las partículas hasta obtener una masa constante.
- b) Llenar el recipiente con una pala o cucharón a una altura de 5 cm, con una porción del árido procedente del muestreo, en forma lenta y progresiva.
- c) Nivelar la superficie del recipiente con una varilla de compactación.
- d) Determinar la masa del recipiente más el agregado.
- e) Repetir los pasos g, h dos veces.
- f) Calcular el promedio de la masa unitaria suelta y calcular la Masa Unitaria Suelta del árido.



Figura 23.- Colocación de agregado en molde y nivelación de la superficie.
Elaborado por: Erika Guaño C.

Determinación del volumen del molde para masa unitaria compactada (MUC) para agregado grueso y fino.

- a) Tomar el recipiente adecuado de acuerdo al tipo de agregado y determinar su masa.
- b) Aforar el recipiente con agua y cubrirlo con una placa de vidrio; para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
- c) Registrar la masa del recipiente más agua.

- d) Calcular el volumen del recipiente.

Procedimiento para la determinación la masa unitaria compactada (MUC) en agregado fino y grueso.

- a) Tomar una muestra de agregado y mezclar las partículas hasta obtener una masa constante.
- b) Depositar en el recipiente, una porción del árido procedente del muestreo hasta un tercio de su altura.
- c) Compactar el árido con una varilla lisa dando 25 golpes distribuidos en toda la superficie del árido.
- d) Volver a llenar el recipiente hasta los dos tercios y repetir el procedimiento de varillado.
- e) Llenar el recipiente hasta rebozarlo y compactarlo nuevamente.
- f) Enrazar y retirar el exceso de agregado del recipiente.
- g) Determinar la masa del recipiente más el agregado.
- h) Repetir el procedimiento b, c, d dos veces.
- i) Calcular el promedio de la masa unitaria compactada y calcular la masa unitaria compactada del árido.



**Figura 24.- Colocación de agregado en molde y compactación de agregado por capas.
Elaborado por: Erika Guaño C.**

2.4.1.9. Determinación del valor de la degradación del Árido Grueso de Partículas Menores a 37.5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles.

Este ensayo permite determinar el valor de la degradación del árido grueso de tamaño inferior a 37.5mm mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de los ángeles.

Este ensayo determina la pérdida de la masa de los agregados minerales con gradación normalizada, que resulta de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero, cuyo número depende de la gradación de la muestra a ensayo.

Equipos y materiales:

-  Máquina de los Ángeles.
-  Balanza.
-  Tamices.

Procedimiento:

- a) Pesar el recipiente.
- b) Pesar el recipiente más la muestra a ensayar.
- c) Colocar la muestra en la máquina de los Ángeles.
- d) Tamizar el material haciendo pasar por el tamiz # 12 después de las 100 revoluciones.
- e) Registrar el peso del recipiente más peso del material tamizado.
- f) Tamizar el material haciendo pasar por el tamiz # 12 después de las 500 revoluciones.
- g) Registrar el peso del recipiente más peso del material tamizado.
- h) Calcular el porcentaje de pérdida después de las 100 y 500 revoluciones.
- i) Calcular el coeficiente de uniformidad.



Figura 25.- Colocación de esferas de acero y agregado grueso luego del ensayo.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.10. Determinación del Contenido Total de Humedad.

Este ensayo permite determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos, tanto el correspondiente a la humedad superficial, como a la humedad contenida en los poros del árido.

El contenido de humedad, es la cantidad total de agua que contiene la muestra de agregado al momento de efectuar la determinación de su masa, para dosificar una revoltura, puede estar constituida por la suma del agua superficial y la absorbida.

Equipos y materiales:

- ✚ Áridos finos, gruesos.
- ✚ Balanza.
- ✚ Horno.
- ✚ Recipientes metálicos.
- ✚ Guantes.

Procedimiento:

- a) Determinar la masa de la muestra con una aproximación de 0.1%.
- b) Pesar y registrar la masa del recipiente en que se va a colocar el árido.
- c) Registrar el peso de la muestra en estado natural, e identificar la muestra.

- d) Ingresar el árido contenido en el recipiente al horno y secar durante un lapso de 24 horas.
- e) Retirar la muestra del horno una vez transcurrida las 24 horas y registrar la masa del recipiente más el árido seco.
- f) Calcular y registrar el contenido total de humedad.



Figura 26.- Peso del material en estado natural y secado de material en el horno.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.11. Determinación de la Densidad del Cemento.

Densidad se define como la relación entre la masa y su volumen; en este caso, se describe el método de determinar la densidad del cemento usando el método del frasco volumétrico de Le Chatelier, métodos en los cuales con la ayuda de frascos calibrados, podemos determinar la densidad del cemento.

Equipos y materiales:

- ✚ Cemento portland tipo IP Chimborazo.
- ✚ Vaso de precipitación de 250ml.
- ✚ Gasolina.
- ✚ Termómetro de vidrio.
- ✚ Frasco Le Chatelier.
- ✚ Balanza.
- ✚ Estufa eléctrica.
- ✚ Recipientes.

Procedimiento:

- a) Llenar el frasco Le Chatelier con querosén libre de agua o gasolina que tenga una densidad mayor que 0.73 g/cm^3 a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, hasta un punto en la parte baja del cuello entre las marcas de 0 cm^3 y 1 cm^3 .
- b) Registrar la primera lectura después de sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura constante.
- c) Se pesa el vaso de precipitación de 250ml en la balanza y se añade la muestra de cemento hasta obtener 64g. de masa de cemento $\pm 0.5\text{g}$.
- d) Colocar el cemento en pequeñas cantidades en el frasco Le Chatelier evitando que quede estancado en el cuello del frasco y evitando pérdidas.
- e) Colocar el tapón del frasco y girar el frasco rolándolo hasta retirar el aire atrapado en el frasco.
- f) Calibrar la temperatura del frasco a una temperatura de $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, cuando se necesite elevar la temperatura se sumerge a baño maría el frasco caso contrario si se desea bajar la temperatura se coloca en un chorro de agua fría.
- g) Tomar la lectura del volumen final.

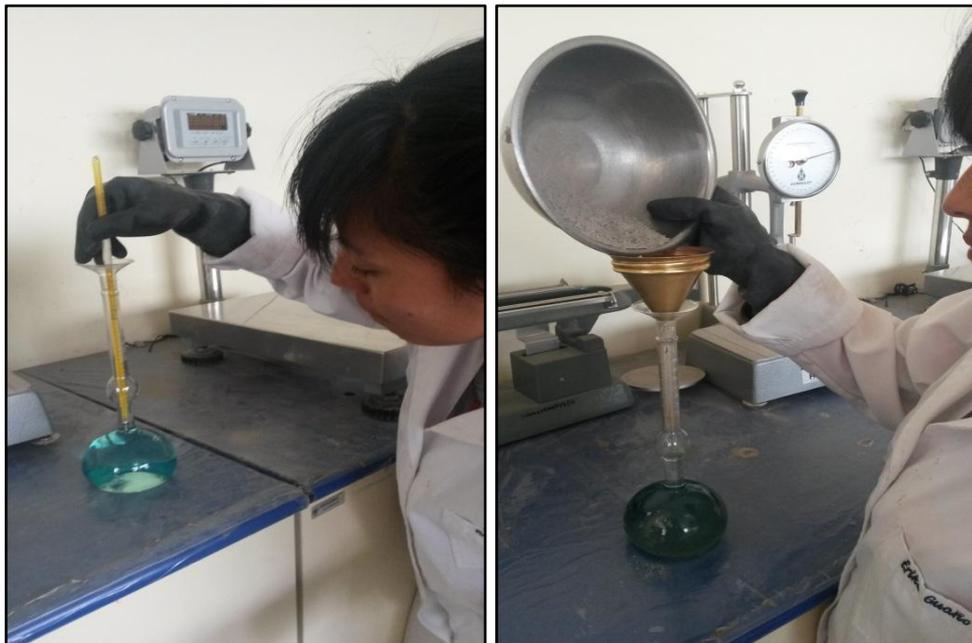


Figura 27.- Medición de la temperatura y colocación de cemento en frasco de Le Chatelier.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.1.12. Determinación de la Densidad de una mezcla de Agregados.

Equipos y materiales:

- ✚ Áridos fino y grueso.
- ✚ Balanza.
- ✚ Recipiente cilíndrico metálico.
- ✚ Varilla lisa de compactación.
- ✚ Agua.
- ✚ Carretilla.
- ✚ Palas.
- ✚ Bandejas metálicas de mezclado.

Procedimiento:

- a) Pesar una masa inicial de agregado grueso; de 35 a 40 kg (la masa asumida se mantendrá constante hasta finalizar el ensayo); y representara la primera mezcla compactada expresada en porcentaje 100% grueso 0% fino.
 - Depositar la mezcla de agregado en una bandeja metálica grande y mezclarlo varias veces hasta obtener una masa homogénea y sin segregación. Esta masa servirá para realizar la compactación.
 - Tomar una porción de agregado y colocar en el primer tercio del recipiente cilíndrico.
 - Compactar el primer tercio del agregado con la varilla lisa dando 25 golpes, distribuidos en toda la superficie de la mezcla.
 - Finalmente llenar los dos tercios restantes del recipiente y compactarlos con 25 golpes.
 - Enrasar el peso del recipiente que contiene la mezcla.
 - Registrar el peso del cilindro más la primera mezcla.

- b) La masa contenida en el recipiente de mezclado a pesar de ser la misma inicial representa el 90%. Por lo tanto, la mezcla en porcentaje a obtener corresponde a 90% grueso – 10% fino.

- Calcular por medio de una regla de tres simple la masa correspondiente al 10% de fino.

$$\begin{array}{l} 90\% \text{_____} 35000\text{g} \\ 10\% \text{_____} x =? \end{array}$$

- Pesar el valor obtenido del cálculo de la regla de tres y depositarlo en la bandeja de mezclado; obteniendo así la segunda mezcla, esto es 90% grueso 10% fino.
- Mezclar los agregados hasta observar una composición homogénea y sin segregación.
- Repetir el proceso de compactación, con esta nueva mezcla; esto es, llenar y compactar en tres capas con 25 golpes cada tercio.
- Enrasar el recipiente, pesar y registrar la masa de la segunda muestra de agregados.
- Devolver esta mezcla a la bandeja de mezclado evitando pérdida de material.

c) Al devolver la mezcla contenida en el recipiente cilíndrico a la bandeja de mezclado el porcentaje de agregado grueso vuelve a variar esto es; ya no representa el 90% sino el 80%. El porcentaje de la mezcla compactada a calcular es el 80% grueso y 20% fino.

- Calcular el 20% de agregado fino utilizando nuevamente una regla de tres simple.

$$\begin{array}{l} 80\% \text{_____} 35000\text{g} \\ 20\% \text{_____} x =? \end{array}$$

- Recordar que la bandeja de mezclado existe ya una cierta cantidad de agregado fino. Por lo tanto, se debe restar el valor calculado en el ítem C menos el valor calculado en el ítem b, para así obtener la cantidad de agregado fino a añadir.
- Añadir la mezcla de la bandeja solo la cantidad árido fino resultado de la diferencia mencionado.

- Esta mezcla representa el 80% grueso y 20% fino. Mezclar hasta obtener masa homogénea y libre de segregaciones.
- Compactar la mezcla con 2 golpes cada tercio.
- Enrasar el recipiente cilíndrico.
- Registrar la masa del recipiente cilíndrico más la mezcla.
- Depositar el contenido del recipiente cilíndrico en la bandeja de mezclado.
- Calcular y registrar el peso para 70% grueso 30% fino; 60% grueso 40% fino; 50% grueso 50% fino.



Figura 28.- Compactación y peso de una mezcla de agregados.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.2. DISEÑO DE LA MEZCLA PARA UN HORMIGÓN $f'_c = 21$ MPa.

Fijación de Parámetros de Diseño de Mezclas para Resistencia Especificada de 21 MPa.

El objetivo de la dosificación de hormigones es determinar las proporciones en que deben combinarse los materiales (componentes), para alcanzar la resistencia requerida.

Para el diseño de una dosificación de hormigón se utilizan los siguientes datos:

Ensayos de agregados:

- Densidad Relativa en estado saturado superficialmente seco SSS (g/cm^3).
- Contenido de Humedad en porcentaje (%).
- Porcentaje de Absorción (%).
- Masa Unitaria Suelta (g/cm^3).
- Densidad Óptima (g/cm^3).
- Proporción de la mezcla %.

Ensayos del cemento:

- Densidad del cemento (g/cm^3).
- Masa Unitaria Suelta (g/cm^3).

Datos del hormigón:

- **Resistencia característica:** 21 MPa.
- **Densidad del Hormigón:** 2.40 T/m³.
- **Asentamiento :** 8 cm
- **Relación Agua/Cemento (A/C):** 0.58
- **Número de Cilindros:** 10 unidades/ Lote.

Método de Diseño: Densidad Óptima.

Procedimiento:

- Determinar la cantidad de agregado grueso entre 8 – 12 kg por cada cilindro.
- Determinar la cantidad de agregado fino en kg que se calcula en base a la masa del agregado grueso y a la proporción del agregado grueso y fino.
- Determinar el porcentaje de vacíos, calculado la densidad óptima y la densidad de la mezcla en estado SSS.

- Determinar el volumen aparente de la mezcla (cm^3) calculando la relación de la cantidad de agregados y la densidad óptima.
- Determinar el volumen de la pasta (cm^3), que es el producto del volumen aparente de la mezcla y el porcentaje de vacíos.
- Determinar la relación agua cemento, en función a la resistencia del hormigón.
- Determinar la densidad de la pasta en (cm^3), en función de la relación Agua-cemento y la densidad del cemento.
- Determinar del peso de la pasta en (g), que es el producto del Volumen de la pasta y la densidad.
- Determinar de la cantidad de agua en (g), que es la relación del peso de la pasta y la relación agua cemento.
- Determinar de la cantidad de cemento en (g), que es la relación del peso de la pasta y la relación agua cemento.
- Determinar de la dosificación inicial (kg).
- Determinar de la corrección de la humedad de los agregados en kg.
- Determinar de la dosificación final en (kg).
- Determinar la dosificación final por unidades de cemento.
- Determinar el número de sacos de cemento por metro cúbico.
- Determinar la dosificación al peso por m^3 de hormigón.

2.4.3. PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN.

A continuación de la dosificación final se elaboraron las probetas de hormigón, para el efecto se realizaron un amasado mecánico, en este caso se colocó la cantidad de componentes para la elaboración de 10 cilindros por lote.

En total se realizaron 60 probetas de hormigón que se dividieron de la siguiente forma:

- **Producción Inicial:** Se realizaron 10 probetas que se utilizarán para ensayos de compresión para pruebas iniciales, 5 cilindros a los 7 días y 5 cilindros a los 28 días.

Lote	Número Probetas	Fecha de elaboración	Ensayo
1	10	02/10/2014	Compresión Simple

- **Producción Final:** Se realizaron 50 probetas que se utilizarían: 35 probetas para ensayos de compresión para pruebas finales y 15 probetas para ensayos de módulo de elasticidad.

Lote	Número Probetas	Fecha de elaboración	Ensayo
1	10	02/11/2014	Compresión Simple
2	10	02/11/2014	Compresión Simple
3	15	02/11/2014	Compresión Simple
4	10	02/11/2014	Módulo de Elasticidad
5	5	02/11/2014	Módulo de Elasticidad

2.4.4. ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN EN LABORATORIO.

El procedimiento de elaboración de probetas se realiza de acuerdo a la norma ASTM C-192 “Práctica para fabricar y curar probetas cilíndricas de hormigón en el Laboratorio”.

La elaboración de probetas cilíndricas de hormigón comprendido en:

1. Preparación y Mezcla de los materiales.
2. Comprobación de la consistencia del hormigón.
3. Elaboración de probetas de hormigón.
4. Curado de las probetas cilíndricas de hormigón.

Preparación y Mezcla y de los materiales.

Equipos y materiales:

- ✚ Concretera.
- ✚ Balanza.
- ✚ Bandejas Metálicas de diferente capacidad.
- ✚ Palas.
- ✚ Sacos.
- ✚ Agregado Fino.
- ✚ Agregado Grueso.
- ✚ Cemento.
- ✚ Agua Potable.

Procedimiento:

- a) Limpiar, lavar y humedecer todos y cada uno de los instrumentos que van a estar en contacto con el hormigón o sus ingredientes.
- b) Pesar con la mayor exactitud y precisión las cantidades de cada uno de los elementos de la dosificación (agregado fino, agregado grueso, cemento y agua) Según lo establecido en la dosificación.
- c) Mezclar en primera instancia el cemento con el agregado fino.
- d) Posteriormente se añade el agregado grueso.
- e) Añadir el agua a la mezcla seca, y mezclar hasta que el concreto tenga una apariencia homogénea.



Figura 29.- Preparación y peso de los materiales pétreos.
Elaborado por: Erika Guaño C.



Figura 30.- Hormigón en estado fresco.
Elaborado por: Erika Guaño C.

Consistencia del hormigón.

Equipos y materiales:

-  Cono de Abrams.
-  Varilla de Compactación.

- ✚ Cucharón.
- ✚ Regleta Metálica.
- ✚ Muestra de Hormigón.

Procedimiento:

- a) Tomar una muestra de hormigón.
- b) Colocar la muestra en el cono de Abrams en 3 capas de igual altura.
- c) Compactar cada capa con 25 golpes con la ayuda de una varilla.
- d) Levantar el molde y medir su descenso del hormigón.
- e) Comparar si este asentamiento corresponde al indicado en los datos del diseño.
- f) Si no corresponde al asentamiento deseado incrementar agua (corrección agua/cemento) a la mezcla hasta obtener dicho asentamiento.



**Figura 31.- Compactación de capas de hormigón y medición del asentamiento.
Elaborado por: Erika Guaño C.**

Elaboración de probetas de hormigón.

Equipos y materiales:

- ✚ Moldes Cilíndricos para Probetas de Hormigón de 15 x 30 cm.
- ✚ Varilla de Compactación.
- ✚ Bandejas Metálicas.

- ✚ Mazo de Goma.
- ✚ Cucharon.
- ✚ Muestra de Hormigón.
- ✚ Palas.
- ✚ Llana o paleta

Procedimiento:

- a) Tomar una muestra de hormigón.
- b) Llenar los moldes con la mezcla en tres capas.
- c) Compactar la mezcla con 25 golpes con una varilla metálica y posteriormente se golpeará el cilindro con un mazo de goma de 10 a 15 veces, realizar este proceso por cada capa para asegurar su compactación.
- d) Retirar el exceso de la mezcla del cilindro y dejar la muestra al mismo nivel del tope del cilindro, y asegurar que la superficie quede completamente llana.
- e) Especificar cada espécimen con un marcador de tal forma que no dañe ni altere la muestra.



Figura 32.- Compactación de capas de hormigón y acabado final de las probetas cilíndricas de hormigón.

Elaborado por: Erika Guaño C.

Curado de las probetas cilíndricas de hormigón.

Equipos y materiales:

- ✚ Piscina de Curado.
- ✚ Herramientas manuales.

Procedimiento:

- a) Desencofrar los cilindros una vez transcurrido las siguientes 24 horas.
- b) Etiquetar las probetas.
- c) Trasladar los cilindros a la piscina de curado con agua a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y que cubra totalmente las probetas.



Figura 33.- Desencofrado y curado de probetas cilíndricas de hormigón.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.5. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN.

Para encontrar la resistencia a la compresión simple se procede a realizar los ensayos a la compresión simple para las diferentes edades, esto es a los 7, 14, 21 y 28 días, para así poder evaluar la curva “tiempo vs resistencia.”

Para determinar la resistencia a la compresión de los especímenes de hormigón se realizó el procedimiento que se detalla a continuación:

1. **Dimensiones de las probetas cilíndricas de hormigón.**
2. **Caqueo de probetas cilíndricas de hormigón.**
3. **Ensayo de Compresión.**

Dimensiones de las probetas cilíndricas de hormigón.

Equipos y materiales:

- ✚ Flexómetro.
- ✚ Calibrador.
- ✚ Libreta de apuntes.

Procedimiento:

- a) Retirar el número de probetas destinadas al ensayo según la fecha requerida (7, 14, 21 y 28 días).
- b) Registrar el peso de cada uno de los cilindros.
- c) Medir el diámetro de las probetas en la parte media del mismo.
- d) Medir la altura de la probeta.





Figura 34.- Determinación de las dimensiones de las probetas cilíndricas de hormigón.
Elaborado por: Erika Guaño C.

Refrentado de probetas cilíndricas de hormigón.

Equipos y materiales:

- ✚ Platos para refrentado.
- ✚ Dispositivos de alineación.
- ✚ Recipiente para calentar sulfuro.
- ✚ Escuadras Metálicas.
- ✚ Equipo de láminas graduadas.

Procedimiento:

- a) Preparar el mortero de sulfuro por calentamiento a 130°C (265°F).
- b) Comprobar que el plato de refrentado se encuentre caliente.
- c) Aceitar ligeramente el plato de refrentado.
- d) Mezclar el mortero de sulfuro previo a la colocación de cada capa.
- e) Verificar que la cara del espécimen esté libre de grasas, aceites y que no contenga exceso de humedad.

- f) Formar la capa de mortero de sulfuro sobre el cilindro.
- g) Verificar que la capa quede correctamente pegada al espécimen de hormigón y no contenga espacios vacíos, en caso de producirse un sonido hueco, la capa de refrentado deberá ser reemplazado
- h) Verificar las condiciones de planeidad de la capa de sulfuro.
- i) Ingresar al cilindro capeado a un tanque o cámara de curado.



Figura 35.- Capeo de probetas cilíndricas de hormigón.

Elaborado por: Erika Guaño C.

Ensayo de Compresión.

Equipos y materiales:

- ✚ Máquina de ensayo.
- ✚ Especímenes.

Procedimiento:

- a) Ingresar las probetas a la máquina de compresión. Centrar dichas muestras en las circunferencias concéntricas.
- b) Encender la máquina de compresión y aplicar carga a una velocidad constante de 0.25 MPa/s.

- c) Apagar la maquina cuando el indicador de carga empieza a disminuir o cuando la probeta ha fallado.
- d) Registrar el tipo de falla y la carga de máxima obtenida.
- e) Dibujar la curva: Esfuerzo vs Tiempo.



Figura 36.- Ensayo de Compresión de Cilindros de Hormigón.
Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.6. PROGRAMA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN.

➤ **Ensayos Iniciales:**

Lote	Número Probetas	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Ensayo	Edad
1	5	02/10/2014	09/10/2014	Compresión Simple	7 días
	5	02/10/2014	30/10/2014	Compresión Simple	28 días

➤ **Ensayos Finales:**

Lote	Número Probetas	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Ensayo	Edad
1	10	02/11/2014	09/11/2014	Compresión Simple	7 días
2	5	02/11/2014	16/11/2014	Compresión Simple	14 días
	5	02/11/2014	23/11/2014	Compresión Simple	21 días
3	15	02/11/2014	30/11/2014	Compresión Simple	28 días

2.4.7. ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO VS LA DEFORMACIÓN (MÓDULO DE ELASTICIDAD).

Equipos y materiales:

-  Máquina de ensayo.
-  Compresómetro.
-  Probetas cilíndricas de hormigón.

Procedimiento:

- a) Retirar las probetas cilíndricas del tanque de curado 1 hora antes de su ensayo.
- b) Durante el ensayo las probetas de hormigón mantener a temperatura ambiente y húmedo tan constante como sea posible.
- c) Colocar las probetas de hormigón en el compresómetro.
- d) Verificar que el cilindro se encuentre centrado y nivelado.
- e) Colocar el deformímetro para la medición de la deformación y ajustar los ejes.
- f) Colocar las probetas de hormigón en la máquina de ensayo y centrarlo.
- g) Aplicar la primera carga y ajustar los deformímetros sin registrar su deformación.
- h) Aplicar la segunda carga e ir registrando su deformación.



Figura 37.- Colocación de compresómetro y ensayo a compresión simple de probetas cilíndricas de hormigón.
 Elaborado por: Erika Guaño C.

2.4.8. PROGRAMA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE PARA DETERMINAR EL ESFUERZO VS LA DEFORMACIÓN.

➤ **Ensayos Finales:**

Lote	Número Probetas	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Ensayo	Edad
4	10	02/11/2014	30/11/2014	Módulo de Elasticidad	28 días
5	5	02/11/2014	30/11/2014	Módulo de Elasticidad	28 días

2.5.PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS.

Se explica la forma de obtener los resultados de cada ensayo, mediante cálculos tipo, iteraciones, obtención de medias aritméticas, etc., teniendo como referencia las Normas INEN.

2.5.1. Caracterización de Agregados.

a) Análisis Granulométrico de Agregados.

🚧 Agregado Fino:

ITEM	TAMIZ	MASA RETENIDA PARCIAL (g)	MASA RETENIDA ACUMULADA (g)
1	3/8"	0.00	0.00
2	No.4	40.32	40.32
3	No.8	140.82	181.14
4	No.16	170.43	351.57
5	No.30	245.71	597.28
6	No.50	251.28	848.56
7	No.100	110.86	959.42
8	BANDEJA	39.58	999.00

$$P = \frac{B}{A} \times 100$$

Donde:

P = Porcentaje del árido retenido en un determinado tamiz o recogido en el deposito receptor.

B = Masa de la cantidad de material retenida en un determinado Tamiz o recogida en el deposito receptor en g.

A = Masa de la muestra de ensayo original en g.

✚ **Determinación del porcentaje acumulado del árido retenido en un determinado tamiz.**

- **Cálculo Tipo-Tamiz N°.8.**

Masa Inicial: 1000 g

$$P = \frac{181.14 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100 = \mathbf{18\%}$$

ITEM	TAMIZ	PORCENTAJE ACUMUL.	
		% RETENIDO	% PASA
1	3/8"	0	100
2	No.4	4	96
3	No.8	18	82
4	No.16	35	65
5	No.30	60	40
6	No.50	85	15
7	No.100	96	4
8	BANDEJA	100	0

✚ **Determinación del Tamaño Máximo Nominal (TMN).**

“Es la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual se permite que pase la totalidad del árido.”

$$\text{TMN} = 3/8''$$

✚ **Determinación del módulo de finura.**

$$M. F = \frac{\text{Porcentaje Retenido Acumulado en los tamices}}{100}$$

$$M. F = \frac{298}{100} = \mathbf{2.98}$$

✚ Agregado Grueso:

ITEM	TAMIZ	MASA RETENIDA PARCIAL (g)	MASA RETENIDA ACUMULADA (g)
1	2"	0	0
2	1 1/2"	0	0
3	1"	2074	2074
4	3/4"	2164	4238
5	1/2"	2529	6767
6	3/8"	779	7546
7	No.4	424	7970
8	BANDEJA	28	7998

✚ Determinación del porcentaje del árido retenido en un determinado tamiz.

- Cálculo Tipo-Tamiz 3/8".

Masa Inicial: 8000 g

$$P = \frac{7546 \text{ g}}{8000 \text{ g}} \times 100 = 94\%$$

ITEM	TAMIZ	PORCENTAJE ACUMUL.	
		% RETENIDO	% PASA
1	2"	0	100
2	1 1/2"	0	100
3	1"	26	74
4	3/4"	53	47
5	1/2"	85	15
6	3/8"	94	6
7	No.4	100	0
8	BANDEJA	100	0

✚ Determinación del Tamaño Máximo Nominal (TMN).

“Es la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual se permite que pase la totalidad del árido.”

$$\text{TMN}=1 \frac{1}{2}''$$

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

✚ Datos:

Masa Muestra Seca Original	1000.5 g
Masa Muestra Seca después de Lavado	979.1 g

$$A = \frac{B - C}{B} * 100$$

Donde:

A=Porcentaje de material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No.200) mediante lavado.

B=Masa seca original de la muestra en g.

C=Masa seca de la muestra luego de lavado en g.

$$A = \frac{1000.5 \text{ g} - 979.1 \text{ g}}{1000.5 \text{ g}} * 100 = 2.1 \%$$

c) Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Fino.

✚ Determinación de la Densidad (Gravedad Específica).

○ **Datos:**

B=masa del picnómetro calibrado = 1429.8g.

C=Masa del picnómetro + árido en SSS+ agua = 1731.9g.

S= Masa del árido en estado SSS = 500g

$$\text{Densidad SSS} = \frac{997.62 * S}{(B + S - C)}$$

Densidad del Agua 0.99762 g/cm³, (Densidad del agua a 23°C de la norma NTE INEN 858:2010-12).

$$\text{Densidad SSS} = \frac{0.99762 * 500}{(1429.8 + 500 - 1731.9)}$$

$$\text{Densidad SSS} = 2.52 \text{ g/cm}^3$$

Determinación de la Absorción.

○ **Datos:**

S= masa de la muestra saturada superficialmente seca (SSS) = 500g

A= masa de la muestra seca al horno = 490.6 g

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(S - A)}{A} * 100$$

Donde:

S= masa del árido en estado (SSS).

A= masa de la muestra seca.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(500 - 490.6)}{490.6} * 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 1.92 \%$$

d) Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Grueso.

Determinación de la Densidad (Gravedad Específica).

○ **Datos:**

Masa del recipiente = 246g

Masa del árido en SSS = 4003g

Masa de la canastilla sumergida en agua = 681.8g

Masa de la canastilla +árido sumergido = 3203.4g

$$\text{Densidad SSS} = \frac{997.62 * B}{(B - C)}$$

Donde:

Densidad del Agua 0.99762 g/cm³, (Densidad del agua a 23°C de la norma NTE INEN 858:2010-12).

B = Masa de la muestra en estado SSS.

C = Masa del agregado sumergido.

$$\text{Densidad SSS} = \frac{0.99762 * 4003}{4003 - 2521.6}$$

$$\text{Densidad SSS} = 2.70 \text{ g/cm}^3$$

Determinación de la Absorción.

○ **Datos:**

Masa del recipiente = 328g

Masa del árido en SSS = 1028g

Masa del árido seco = 1015g

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

A= Masa de la muestra seca.

B= Masa de la muestra en estado SSS.

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{1028 - 1015}{1015} * 100$$

$$\text{Absorción (\%)} = 1.28\%$$

e) **Determinación de la Masa unitaria suelta, compactada y porcentaje de Vacíos, árido fino.**

 **Masa Unitaria Suelta.**

$$\text{MUS} = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M= Masa unitaria suelta (peso volumétrico) del agregado.

G= Masa del agregado suelto + Molde.

T= Masa del Molde.

V= Volumen del molde.

Volumen del recipiente.

$$V = \frac{B - T}{\text{Densidad del Agua}}$$

Donde:

B= Masa del Molde más agua.

T= Masa del Molde.

Densidad del Agua 997.62 kg/m³, (Densidad del agua a 23°C de la norma NTE INEN 858:2010-12).

Datos:

Masa del Molde = 2.633 kg

Masa Molde + Agua = 5.523 kg

Masa Árido Suelto + Molde = 7.266 kg

$$V = \frac{5.523 \text{ kg} - 2.633 \text{ kg}}{997.62 \text{ g/m}^3}$$

$$V = 0.002897 \text{ m}^3$$

$$\text{MUS} = \frac{(7.266\text{kg} - 2.633\text{kg})}{0.002897 \text{ m}^3}$$

$$\text{MUS} = 1599.24 \text{ kg} / \text{m}^3 = \mathbf{1.60 \text{ g} / \text{cm}^3}$$

 **Masa Unitaria Compactada.**

$$\text{MUC} = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M= Masa unitaria compactada (peso volumétrico) del agregado.

G= Masa del agregado compactado + Molde.

T= Masa del Molde.

V= Volumen del Molde.

Datos:

Masa del Molde = 2.633 kg

Masa Molde + Agua = 5.5227 kg

Masa Árido Suelto + Molde = 7.836 kg

$$\text{MUC} = \frac{7.836\text{kg} - 2.633\text{kg}}{0.002897 \text{ m}^3}$$

$$\text{MUC} = 1795.99 \text{ kg}/\text{m}^3 = \mathbf{1.80 \text{ g} / \text{cm}^3}$$

f) Determinación de la Masa unitaria suelta, compactada y porcentaje de Vacíos, árido grueso.

 **Masa Unitaria Suelta.**

$$\text{MUS} = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M= Masa unitaria suelta (peso volumétrico) del agregado.

G= Masa del agregado suelto + Molde.

T= Masa del Molde.

V= Volumen del molde.

Volumen del recipiente.

$$V = \frac{B - T}{\text{Densidad del Agua}}$$

Donde:

B= Masa del Molde más agua.

T= Masa del Molde.

Densidad del Agua 997.62 kg/m³, (Densidad del agua a 23°C de la norma NTE INEN 858:2010-12).

Datos:

Masa del Molde = 8.00 kg

Masa Molde + Agua = 22.10 kg

Masa Árido Suelto + Molde = 29.25 kg

$$V = \frac{22.10 \text{ kg} - 8.00 \text{ kg}}{997.62 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 0.014134 \text{ m}^3$$

$$MUS = \frac{(29.25 \text{ kg} - 8.00 \text{ kg})}{0.014134 \text{ m}^3}$$

$$MUS = 1503.47 \text{ kg} / \text{m}^3 = \mathbf{1.50 \text{ g} / \text{cm}^3}$$

 **Masa Unitaria Compactada.**

$$MUC = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M= Masa unitaria compactada (peso volumétrico) del agregado.

G= Masa del agregado compactado + Molde.

T= Masa del Molde.

V= Volumen del Molde.

Datos:

Masa del Molde = 8.00 kg

Masa Molde + Agua = 22.10 kg

Masa Árido Suelto + Molde = 31.05 kg

$$\text{MUC} = \frac{31.05 \text{ kg} - 8.00 \text{ kg}}{0.014134 \text{ m}^3}$$

$$\text{MUC} = 1630.82 \text{ kg/m}^3 = 1.63 \text{ g/cm}^3$$

g) Determinación del valor de la degradación del Árido Grueso de Partículas Menores a 37.5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles.

○ **Datos:**

Masa inicial de la muestra= 5000 g.

Masa del agregado retenido en el Tamiz N.12 después de 500 revoluciones = 3813 g.

$$\text{D} = \frac{\text{B} - \text{C}}{\text{B}} \times 100$$

Donde:

D= Valor de la degradación, en porcentaje.

B= Masa inicial de la muestra de ensayo.

C= Masa de la muestra retenida en el tamiz N.12 después de 500 revoluciones.

$$D = \frac{5000 \text{ g} - 3813 \text{ g}}{5000 \text{ g}} \times 100$$

$$D = 23.74 \%$$

h) Determinación del Contenido Total de Humedad.

$$P = 100 * \frac{(W - D)}{D}$$

Donde:

P=Contenido total de humedad evaporable de la muestra, porcentaje.

W= Masa de la muestra original en estado natural.

D=Masa de la muestra seca.

Datos:

Masa de la muestra original en estado natural =123.6 g.

Masa de la muestra seca =119.5 g.

$$P = 100 * \frac{123.6 \text{ g} - 119.5 \text{ g}}{123.6 \text{ g}}$$

$$P = 3.43\%$$

2.5.2. Caracterización del Cemento.

a) Determinación de la Densidad del Cemento.

$$\rho = \frac{\text{Masa del cemento}}{\text{Volumen desplazado}}$$

Datos:

Masa Inicial de Cemento= 64 g.

Lectura Inicial del frasco de Le Chatelier + Gasolina= 0.8ml

Masa del frasco de Le Chatelier + gasolina= 337.9 g.

Lectura Final del frasco de Le Chatelier + gasolina= 21.8ml

Masa Final del frasco de Le Chatelier + cemento + gasolina= 401 g.

✚ Volumen del cemento.

$$V = \text{Lectura Final} - \text{Lectura Inicial}$$

$$V = 21.8\text{ml} - 0.8\text{ml}$$

$$V = \mathbf{21\text{ ml} \text{ ó } 21\text{ cm}^3}$$

✚ Masa del cemento.

$$\mathbf{Masa\ del\ cemento} = \text{Masa final} - \text{Masa inicial}$$

$$\mathbf{Masa\ del\ cemento} = 401\text{ g} - 337.9\text{ g}$$

$$\mathbf{Masa\ del\ cemento} = \mathbf{63.1\text{ g}}$$

✚ Densidad del cemento.

$$\rho = \frac{63.1\text{ g}}{21\text{ cm}^3}$$

$$\rho = \mathbf{3.00\text{g/cm}^3}$$

b) Determinación de la Masa Unitaria Suelta del Cemento.

✚ Masa Unitaria Suelta.

$$\mathbf{MUS} = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M= Masa unitaria suelta (peso volumétrico) del cemento.

G= Masa del cemento suelto + Molde.

T= Masa del Molde.

V= Volumen del molde.

Volumen del molde.

$$V = \frac{B - T}{\text{Densidad del Agua}}$$

Donde:

B= Masa del Molde más agua.

T= Masa del Molde.

Densidad del Agua 997.62 kg/m^3 ó 0.99762 g/cm^3 , (Densidad del agua a 23°C de la norma NTE INEN 858:2010-12).

Datos:

Masa del Molde = 2633 g.

Masa Molde + Agua = 5523 g.

Masa Cemento + Molde = 5366 g.

$$V = \frac{5523 \text{ g} - 2633 \text{ g}}{0.99762 \text{ g/cm}^3}$$

$$V = 2896.89 \text{ cm}^3$$

$$\text{MUS} = \frac{5366 \text{ g} - 2633 \text{ g}}{2896.89 \text{ cm}^3}$$

$$\text{MUS} = 0.94 \text{ g/cm}^3$$

CAPITULO III. RESULTADOS.

En el presente capítulo se detallarán los resultados de los ensayos de laboratorio de los agregados (fino y grueso), cemento, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad. En concordancia con la metodología se presenta los siguientes resultados:

3.1.RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DE AGREGADOS FINO Y GRUESO.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



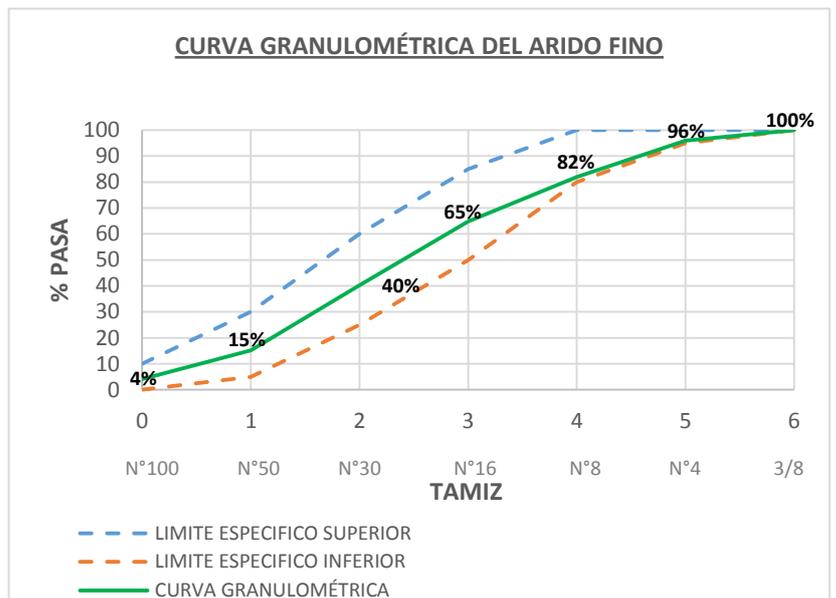
ENSAYO: ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO – ARENA DE RIO.

NORMA: NTE INEN 0696:2011 ASTM C 136-06

ENSAYO N°: 1

TAMIZ	MR+ M Parcial (g)	MASA RETENIDA		PORCENTAJE ACUMUL.		LIMITES ESPECIFICOS
		PARCIAL (g)	ACUMULADA (g)	% RETENIDO	% PASA	
3/8"	609.00	0.00	0.00	0	100	100
No.4	649.32	40.32	40.32	4	96	95-100
No.8	749.82	140.82	181.14	18	82	80-100
No.16	779.43	170.43	351.57	35	65	50-85
No.30	854.71	245.71	597.28	60	40	25-60
No.50	860.28	251.28	848.56	85	15	5-30
No.100	719.86	110.86	959.42	96	4	0-10
BANDEJA	648.58	39.58	999.00	100	0	-
TOTAL		999.00				

MF	TMN
2.98	3/8"





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 75µm (No.200), MEDIANTE LAVADO.

NORMA: NTE INEN 0697:2010 ASTM C 117-04

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 5 **FECHA ENSAYO:** 17/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa Recipiente	211.5	g
B	Masa Recipiente + Muestra Seca Original	1211.4	g
C	Masa Recipiente + Muestra Seca después de Lavado	1191.3	g
D= B-A	Masa Muestra Seca Original	999.9	g
E=C-A	Masa Muestra Seca después de Lavado	979.8	g
$F=((D-E)/D)*100$	Porcentaje de material más fino que paso tamiz N°.200	2.0	%

Resumen:

ENSAYO	PORCENTAJE (%)
1	2.1
2	2.0
3	2.2
4	1.9
5	2.0

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

	Desviación estándar (1s) ^A	Rango aceptable para dos resultados (d2s) ^A
	%	%
Árido grueso ^B		
Precisión para un solo operador	0,10	0,28
Precisión multilaboratorio	0,22	0,62
Árido fino ^C		
Precisión para un solo operador	0,15	0,43
Precisión multilaboratorio	0,29	0,82

^A Estos números representan los límites (1s) y (d2s), como se describen en la norma ASTM C 670.
^B Las estimaciones de precisión se basan en áridos que tienen un tamaño máximo nominal de 19,0 mm con menos de 1,5% de material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200).
^C Las estimaciones de precisión se basan en áridos finos que tienen entre 1,0% a 3,0% de material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200).

DESCRIPCION	CANTIDAD (%)
PROMEDIO	2.05
MAYOR	2.21
MENOR	1.91
RANGO	0.30
DESVIACION STÁNDAR	0.124

- **Desviación:**

“Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación”².

² Norma INEN 697:2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGREGADO FINO-ARENA DE RIO

NORMA: NTE INEN 856:2010 ASTM C 128-07a

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 1 **FECHA ENSAYO:** 19/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	asa del picnómetro vacío	496.1	g
B	Masa del picnómetro + árido en SSS	996.1	g
C	Masa del picnómetro+ árido en SSS+ agua.	1731.7	g
D	Masa del picnómetro calibrado	1429.8	g
E=B-A	Masa del árido en SSS	500.0	g
F=D+E-C	Volumen desalojado	198.1	cm ³
G=E/F	PESO ESPECÍFICO	2.52	g/cm³

ENSAYO N° : 2

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del picnómetro vacío	496.1	g
B	Masa del picnómetro + árido en SSS	996.1	g
C	Masa del picnómetro+ árido en SSS+ agua.	1730.8	g
D	Masa del picnómetro calibrado	1429.8	g
E=B-A	Masa del árdo en SSS	500.0	g
F=D+E-C	Volumen desalojado	199.0	cm ³
G=E/F	PESO ESPECÍFICO	2.51	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGREGADO FINO-ARENA DE RIO

NORMA: NTE INEN 856:2010 ASTM C 128-07a

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 3 **FECHA ENSAYO:** 19/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del picnómetro vacío	496.1	g
B	Masa del picnómetro + árido en SSS	996.1	g
C	Masa del picnómetro+ árido en SSS+ agua.	1731.9	g
D	Masa del picnómetro calibrado	1429.8	g
E=B-A	Masa del árido en SSS	500.0	g
F=D+E-C	Volumen desalojado	197.9	cm ³
G=E/F	PESO ESPECÍFICO	2.53	g/cm³

ENSAYO N° : 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del picnómetro vacío	496.1	g
B	Masa del picnómetro + árido en SSS	996.1	g
C	Masa del picnómetro+ árido en SSS+ agua.	1730.3	g
D	Masa del picnómetro calibrado	1429.8	g
E=B-A	Masa del árido en SSS	500.0	g
F=D+E-C	Volumen desalojado	199.5	cm ³
G=E/F	PESO ESPECÍFICO	2.51	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGREGADO FINO-ARENA DE RIO

NORMA: NTE INEN 856:2010 ASTM C 128-07a

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 5 **FECHA ENSAYO:** 19/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del picnómetro vacío	496.1	g
B	Masa del picnómetro + árido en SSS	996.1	g
C	Masa del picnómetro+ árido en SSS+ agua.	1731.5	g
D	Masa del picnómetro calibrado	1429.8	g
E=B-A	Masa del árido en SSS	500.0	g
F=D+E-C	Volumen desalojado	198.3	cm ³
G=E/F	PESO ESPECÍFICO	2.52	g/cm³

Resumen:

ENSAYO	PESO ESPECÍFICO g/cm ³	PESO ESPECÍFICO Kg/m ³
1	2.52	2520
2	2.51	2510
3	2.53	2530
4	2.51	2510
5	2.52	2520

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

	Desviación estándar (1s) ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A
Precisión para un solo operador:		
Densidad (SH), kg/m ³	11	13
Densidad (SSS), kg/m ³	9,5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9,5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,0095	0,027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,0095	0,027
Absorción, % ^B	0,11	0,31

DESCRIPCION	CANTIDAD kg/m ³
PROMEDIO	2518.00
MAYOR	2530.00
MENOR	2510.00
RANGO	20.00
DESVIACION STÁNDAR	8.37

- **Desviación:**

“Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación”⁴.

⁴ Norma INEN 856:2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO-RIPIO TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 857:2010 ASTM C 127-07

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

ENSAYO N° : 1 **FECHA MUESTREO:** 14/09/2014
FECHA ENSAYO: 20/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	246.0	g
B	Masa del recipiente + árido en SSS	4249.0	g
C	Masa de la canastilla sumergida en agua	681.8	g
D	Masa de la canastilla +árido sumergido	3203.4	g
E=B-A	Masa del árido en SSS	4003.0	g
F=D-C	Masa del árido en agua	2521.6	g
G=E-F	Volumen desalojado	1481.4	cm ³
H=E/G	PESO ESPECÍFICO SSS	2.70	g/cm³

ENSAYO N° : 2

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	246.0	g
B	Masa del recipiente + árido en SSS	4246.0	g
C	Masa de la canastilla sumergida en agua	681.8	g
D	Masa de la canastilla +árido sumergido	3197.8	g
E=B-A	Masa del árido en SSS	4000.0	g
F=D-C	Masa del árido en agua	2516.0	g
G=E-F	Volumen desalojado	1484.0	cm ³
H=E/G	PESO ESPECÍFICO	2.70	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO-RIPIO TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 857:2010 ASTM C 127-07

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 3

FECHA ENSAYO: 20/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	498.0	g
B	Masa del recipiente + árido en SSS	4500.0	g
C	Masa de la canastilla sumergida en agua	681.8	g
D	Masa de la canastilla +árido sumergido	3208.6	g
E=B-A	Masa del árido en SSS	4002.0	g
F=D-C	Masa del árido en agua	2526.8	g
G=E-F	Volumen desalojado	1475.2	cm ³
H=E/G	PESO ESPECÍFICO	2.71	g/cm³

ENSAYO N°: 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	246.0	g
B	Masa del recipiente + árido en SSS	4248.0	g
C	Masa de la canastilla sumergida en agua	681.8	g
D	Masa de la canastilla +árido sumergido	3201.2	g
E=B-A	Masa del árido en SSS	4002.0	g
F=D-C	Masa del árido en agua	2519.4	g
G=E-F	Volumen desalojado	1482.6	cm ³
H=E/G	PESO ESPECÍFICO	2.70	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO-RIPIO TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 857:2010 ASTM C 127-07

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 5 **FECHA ENSAYO:** 20/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	498.0	g
B	Masa del recipiente + árido en SSS	4498.0	g
C	Masa de la canastilla sumergida en agua	681.8	g
D	Masa de la canastilla +árido sumergido	3201.5	g
E=B-A	Masa del árido en SSS	4000.0	g
F=D-C	Masa del árido en agua	2519.7	g
G=E-F	Volumen desalojado	1480.3	cm ³
H=E/G	PESO ESPECÍFICO	2.70	g/cm³

Resumen:

ENSAYO	PESO ESPECÍFICO g/cm ³	PESO ESPECÍFICO kg/m ³
1	2.70	2700
2	2.70	2700
3	2.71	2710
4	2.70	2700
5	2.70	2700

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

	Desviación estándar (1s) ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A
Precisión para un solo operador:		
Densidad (SH), kg/m ³	9	25
Densidad (SSS), kg/m ³	7	20
Densidad aparente, kg/m ³	7	20
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,009	0,025
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,007	0,020
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,007	0,020

DESCRIPCION	CANTIDAD kg/m ³
PROMEDIO	2702.00
MAYOR	2710.00
MENOR	2700.00
RANGO	10.00
DESVIACION STÁNDAR	4.47

- **Desviación:**

“Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación”⁵.

⁵ Norma INEN 857:2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN TOTAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD ÁRIDO FINO

NORMA: NTE INEN 862:2011 ASTM C 566 -04

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 1 **FECHA ENSAYO:** 21/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	33.4	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	157.0	g
C	Masa del recipiente + árido seco	152.9	g
D=B-A	Masa árido húmedo	123.6	g
E=C-A	Masa del árido seco	119.5	g
F=D-E	Masa del agua	4.1	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	3.43	%

ENSAYO N° : 2

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	33.2	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	149.7	g
C	Masa del recipiente + árido seco	145.9	g
D=B-A	Masa árido húmedo	116.5	g
E=C-A	Masa del árido seco	112.7	g
F=D-E	Masa del agua	3.8	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	3.37	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN TOTAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD ÁRIDO FINO

NORMA: NTE INEN 862:2011 ASTM C 566 -04

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 3 **FECHA ENSAYO:** 21/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	33.4	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	156.8	g
C	Masa del recipiente + árido seco	152.8	g
D=B-A	Masa árido húmedo	123.4	g
E=C-A	Masa del árido seco	119.4	g
F=D-E	Masa del agua	4.0	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	3.35	%

ENSAYO N° : 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	33.5	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	150.4	g
C	Masa del recipiente + árido seco	146.8	g
D=B-A	Masa árido húmedo	116.9	g
E=C-A	Masa del árido seco	113.3	g
F=D-E	Masa del agua	3.6	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	3.18	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN TOTAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD ÁRIDO FINO

NORMA: NTE INEN 862:2011 ASTM C 566 -04

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 5

FECHA ENSAYO: 21/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	34.1	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	156.4	g
C	Masa del recipiente + árido seco	152.5	g
D=B-A	Masa árido húmedo	122.3	g
E=C-A	Masa del árido seco	118.4	g
F=D-E	Masa del agua	3.9	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	3.29	%

Resumen:

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD %
1	3.43
2	3.37
3	3.35
4	3.18
5	3.29

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

“Se ha encontrado que la desviación estándar para el contenido de humedad de los áridos, para un solo operador y dentro de un mismo laboratorio, es 0.28. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por un mismo operador en el mismo laboratorio, en el mismo tipo de muestra de árido, no debe diferir en más de 0.79% el uno del otro”⁶.

DESCRIPCION	CANTIDAD (%)
PROMEDIO	3.32
MAYOR	3.43
MENOR	3.18
RANGO	0.25
DESVIACION STÁNDAR	0.10

- **Desviación:**

“Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación”. Norma INEN 862:2011.

⁶ Norma INEN 862:2011.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN TOTAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD ÁRIDO GRUESO –RIPIO TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 862:2010 ASTM C 566 -04

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

ENSAYO N° : 1 **FECHA MUESTREO:** 14/09/2014
FECHA ENSAYO: 21/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	32.8	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	239.8	g
C	Masa del recipiente + árido seco	239.5	g
D=B-A	Masa árido húmedo	207.0	g
E=C-A	Masa del árido seco	206.7	g
F=D-E	Masa del agua	0.3	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.15	%

ENSAYO N° : 2

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	32.8	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	210.1	g
C	Masa del recipiente + árido seco	209.9	g
D=B-A	Masa árido húmedo	177.3	g
E=C-A	Masa del árido seco	177.1	g
F=D-E	Masa del agua	0.2	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.11	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN TOTAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD ÁRIDO GRUESO –RIPIO TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 862:2010 ASTM C 566 -04

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 3

FECHA ENSAYO: 21/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	33.1	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	220.5	g
C	Masa del recipiente + árido seco	220.2	g
D=B-A	Masa árido húmedo	187.4	g
E=C-A	Masa del árido seco	187.1	g
F=D-E	Masa del agua	0.3	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.16	%

ENSAYO N° : 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	32.9	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	225.4	g
C	Masa del recipiente + árido seco	225.2	g
D=B-A	Masa árido húmedo	192.5	g
E=C-A	Masa del árido seco	192.3	g
F=D-E	Masa del agua	0.2	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.10	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN TOTAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD ÁRIDO GRUESO –RIPIO TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 862:2010 ASTM C 566 -04

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

ENSAYO N° : 5

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

FECHA ENSAYO: 21/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	33.2	g
B	Masa del recipiente + árido húmedo	235.6	g
C	Masa del recipiente + árido seco	235.4	g
D=B-A	Masa árido húmedo	202.4	g
E=C-A	Masa del árido seco	202.2	g
F=D-E	Masa del agua	0.2	g
G=F*100/E	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.10	%

Resumen:

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD %
1	0.15
2	0.11
3	0.16
4	0.10
5	0.10

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

“Se ha encontrado que la desviación estándar para el contenido de humedad de los áridos, para un solo operador y dentro de un mismo laboratorio, es 0.28. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por un mismo operador en el mismo laboratorio, en el mismo tipo de muestra de árido, no debe diferir en más de 0.79% el uno del otro”⁷.

DESCRIPCION	CANTIDAD (%)
PROMEDIO	0.12
MAYOR	0.16
MENOR	0.10
RANGO	0.06
DESVIACION STÁNDAR	0.03

- **Desviación:**

“Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación”. Norma INEN 862:2011.

⁷ Norma INEN 862:2011.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO – ARENA DE RÍO.

NORMA: NTE INEN 856:2010 ASTM C 128 -07a

PROYECTO : MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

ENSAYO N° 5
:

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

FECHA ENSAYO: 22/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	168.7	g
B	Masa del recipiente + árido en SSS	668.7	g
C	Masa del árido seco + recipiente	656.5	g
D=B-A	Masa del árido en SSS	500.0	g
E=C-A	Masa del árido seco	487.8	g
F=D-E	Masa del agua contenida en el árido	12.2	g
G=F*100/E	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	2.50	%

Resumen:

ENSAYO	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN
1	1.92
2	2.44
3	2.25
4	2.48
5	2.50

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

	Desviación estándar (1s) ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A
Precisión para un solo operador:		
Densidad (SH), kg/m ³	11	13
Densidad (SSS), kg/m ³	9,5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9,5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,0095	0,027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,0095	0,027
Absorción, % ^B	0,11	0,31

DESCRIPCION	CANTIDAD (%)
PROMEDIO	2.32
MAYOR	2.50
MENOR	1.92
RANGO	0.59
DESVIACION STÁNDAR	0.25

- **Desviación:**

“Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación”⁸.

⁸ Norma INEN 856:2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO-RIPIO TRITURADO

NORMA: NTE INEN 857:2010 ASTM C 127 -07

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 3 **FECHA ENSAYO:** 22/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	246.0	g
B	Masa del recipiente + árido en SSS	4250.0	g
C	Masa del árido seco + recipiente	4194.0	g
D=B-A	Masa del árido en SSS	4004.0	g
E=C-A	Masa del árido seco	3948.0	g
F=D-E	Masa del agua contenida en el árido	56.0	g
G=F*100/E	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	1.42	%

ENSAYO N° : 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	498.0	g
B	Masa del recipiente + árido en SSS	4500.0	g
C	Masa del árido seco + recipiente	4449.0	g
D=B-A	Masa del árido en SSS	4002.0	g
E=C-A	Masa del árido seco	3951.0	g
F=D-E	Masa del agua contenida en el árido	51.0	g
G=F*100/E	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	1.29	%



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO-RIPIO TRITURADO

NORMA: NTE INEN 857:2010 ASTM C 127 -07

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 5 **FECHA ENSAYO:** 22/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	329.0	g
B	Masa del recipiente + árido en SSS	1918.0	g
C	Masa del árido seco + recipiente	1898.0	g
D=B-A	Masa del árido en SSS	1589.0	g
E=C-A	Masa del árido seco	1569.0	g
F=D-E	Masa del agua contenida en el árido	20.0	g
G=F*100/E	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	1.27	%

Resumen:

ENSAYO	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN
1	1.28
2	1.37
3	1.42
4	1.29
5	1.27

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

	Desviación estándar (1s) ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A
Precisión para un solo operador:		
Densidad (SH), kg/m ³	11	13
Densidad (SSS), kg/m ³	9,5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9,5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,0095	0,027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,0095	0,027
Absorción, % ^B	0,11	0,31

DESCRIPCION	CANTIDAD (%)
PROMEDIO	1.33
MAYOR	1.42
MENOR	1.28
RANGO	0.14
DESVIACION STÁNDAR	0.06

- **Desviación:**

“Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación”⁹.

⁹ Norma INEN 8576:2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO – ARENA DE RIO

NORMA: NTE INEN 858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 3 **FECHA ENSAYO:** 23/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.0	g
B	Masa Recipiente + agua	5523.0	g
C	Masa Árido Suelto + Recipiente	7293.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2897.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Suelto	4660.0	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	1.61	g/cm³

ENSAYO N°: 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.0	g
B	Masa Recipiente + agua	5523.0	g
C	Masa Árido Suelto + Recipiente	7232.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2897.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Suelto	4599.0	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	1.59	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO – ARENA DE RIO

NORMA: NTE INEN 858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

ENSAYO N° : 5

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

FECHA ENSAYO: 23/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.0	g
B	Masa Recipiente + agua	5523.0	g
C	Masa Árido Suelto + Recipiente	7289.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2897.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Suelto	4656.0	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	1.61	g/cm³

Resumen:

ENSAYO	MUS g/cm ³	MUS kg/m ³
1	1.60	1600
2	1.61	1610
3	1.61	1610
4	1.59	1590
5	1.61	1610

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

“**Precisión para un solo operador.** Se ha encontrado que la desviación estándar para un solo operador es de 14 kg/m^3 (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador, en un material, no deben diferir en más de 40 kg/m^3 ”¹⁰.

DESCRIPCION	MUS kg/m^3
PROMEDIO	1600
MAYOR	1610
MENOR	1590
RANGO	20.00
DESVIACION STÁNDAR	8.94

- **Desviación:**

“El procedimiento de este método de ensayo para la medición de la masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos, no tiene desviación puesto que los valores para masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos pueden ser definidos solamente en términos de un método de ensayo”. Norma INEN 858:2010

¹⁰ Norma INEN 858:2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO RIPIO-TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 1

FECHA ENSAYO: 24/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	8000.0	g
B	Masa Recipiente + agua	22100.0	g
C	Masa Árido Suelto + Recipiente	29250.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	14134.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Suelto	21250.0	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	1.50	g/cm³

ENSAYO N° : 2

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	8000.0	g
B	Masa Recipiente + agua	22100.0	g
C	Masa Árido Suelto + Recipiente	29100.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	14134.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Suelto	21100.0	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	1.49	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO RIPIO-TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

ENSAYO N° : 3

FECHA MUESTREO: 14/09/2014
FECHA ENSAYO: 24/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	8000.0	g
B	Masa Recipiente + agua	22100.0	g
C	Masa Árido Suelto + Recipiente	29100.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	14134.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Suelto	21100.0	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	1.49	g/cm³

ENSAYO N° : 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	8000.0	g
B	Masa Recipiente + agua	22100.0	g
C	Masa Árido Suelto + Recipiente	29200.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	14134.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Suelto	21200.0	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	1.50	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO RIPIO-TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 5 **FECHA ENSAYO:** 24/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	8000.0	g
B	Masa Recipiente + agua	22100.0	g
C	Masa Árido Suelto + Recipiente	29100.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	14134.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Suelto	21100.0	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	1.49	g/cm³

Resumen:

ENSAYO	MUS g/cm ³	MUS kg/m ³
1	1.50	1500
2	1.49	1490
3	1.49	1490
4	1.50	1500
5	1.49	1490

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

“Precisión para un solo operador. Se ha encontrado que la desviación estándar para un solo operador es de 14 kg/m^3 (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador, en un material, no deben diferir en más de 40 kg/m^3 ”.¹¹

DESCRIPCION	MUS kg/m^3
PROMEDIO	1490
MAYOR	1500
MENOR	1490
RANGO	10.00
DESVIACION STÁNDAR	5.48

- **Desviación:**

“El procedimiento de este método de ensayo para la medición de la masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos, no tiene desviación puesto que los valores para masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos pueden ser definidos solamente en términos de un método de ensayo”. Norma INEN 858:2010.

¹¹ Norma INEN 858:2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO- ARENA DE RIO.

NORMA: NTE INEN 858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 1 **FECHA ENSAYO:** 25/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.00	g
B	Masa Recipiente + agua	5522.70	g
C	Masa Árido Compactada + Recipiente	7836.00	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2896.59	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Compactado	5203.00	g
I = E/D	MUC (MASA UNITARIA COMPACTADA)	1.80	g/cm³

ENSAYO N° : 2

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.00	g
B	Masa Recipiente + agua	5522.70	g
C	Masa Árido Compactada + Recipiente	7858.00	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2896.59	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Compactado	5225.00	g
I = E/D	MUC (MASA UNITARIA COMPACTADA)	1.80	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO- ARENA DE RIO.

NORMA: NTE INEN 858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 3 **FECHA ENSAYO:** 25/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.00	g
B	Masa Recipiente + agua	5522.70	g
C	Masa Árido Compactada + Recipiente	7861.00	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2896.59	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Compactado	5228.00	g
I = E/D	MUC (MASA UNITARIA COMPACTADA)	1.80	g/cm³

ENSAYO N° : 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.00	g
B	Masa Recipiente + agua	5522.70	g
C	Masa Árido Compactada + Recipiente	7845.00	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2896.59	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Compactado	5212.00	g
I = E/D	MUC (MASA UNITARIA COMPACTADA)	1.80	g/cm³

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

“**Precisión para un solo operador.** Se ha encontrado que la desviación estándar para un solo operador es de 14 kg/cm³ (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador, en un material, no deben diferir en más de 40 kg/cm³”.¹²

DESCRIPCION	MUC kg/cm ³
PROMEDIO	1800
MAYOR	1800
MENOR	1800
RANGO	0.00
DESVIACION STÁNDAR	0.00

- **Desviación:**

“El procedimiento de este método de ensayo para la medición de la masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos, no tiene desviación puesto que los valores para masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos pueden ser definidos solamente en términos de un método de ensayo”. Norma INEN 858:2010.

¹² Norma INEN 858:2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE
INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO RIPIO TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 3 **FECHA ENSAYO:** 26/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	8000.0	g
B	Masa Recipiente + agua	22100.0	g
C	Masa Árido Compactada + Recipiente	31000.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	14134.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Compactado	23000.0	g
I = E/D	MUC (MASA UNITARIA COMPACTADA)	1.63	g/cm³

ENSAYO N° : 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	8000.0	g
B	Masa Recipiente + agua	22100.0	g
C	Masa Árido Compactada + Recipiente	31000.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	14134.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Compactado	23000.0	g
I = E/D	MUC (MASA UNITARIA COMPACTADA)	1.63	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE
INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO RIPIO TRITURADO.

NORMA: NTE INEN 858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

ENSAYO N° : 5

FECHA MUESTREO: 14/09/2014
FECHA ENSAYO: 26/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	8000.0	g
B	Masa Recipiente + agua	22100.0	g
C	Masa Árido Compactada + Recipiente	31100.0	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	14134.0	cm ³
E=C-A	Masa del Árido Compactado	23100.0	g
I = E/D	MUC (MASA UNITARIA COMPACTADA)	1.63	g/cm³

Resumen:

ENSAYO	MUC g/cm ³	MUC kg/m ³
1	1.63	1630
2	1.64	1640
3	1.63	1630
4	1.63	1630
5	1.63	1630

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

“**Precisión para un solo operador.** Se ha encontrado que la desviación estándar para un solo operador es de 14 kg/m^3 (1s). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador, en un material, no deben diferir en más de 40 kg/m^3 ”.¹³

DESCRIPCION	MUS kg/m^3
PROMEDIO	1630
MAYOR	1640
MENOR	1630
RANGO	10.00
DESVIACION STÁNDAR	4.47

- **Desviación:**

“El procedimiento de este método de ensayo para la medición de la masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos, no tiene desviación puesto que los valores para masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos pueden ser definidos solamente en términos de un método de ensayo”. Norma INEN 858:2010.

¹³ Norma INEN 858:2010.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA ABRASIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTICULAS MENORES A 37.5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES.

NORMA: NTE INEN 860:2011 ASTM C 131 -06

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

ENSAYO N° : 1

FECHA MUESTREO: 14/09/2014
FECHA ENSAYO: 27/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	245.0	g
B	Masa del recipiente + árido	5245.0	g
C	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	5010.0	g
D	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	4058.0	g
E=B-A	Masa del árido inicial	5000.0	g
F=C-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	4765.0	g
G=D-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	3813.0	g
$H=100-(F*100/E)$	Porcentaje de Pérdida después de 100 revoluciones	4.7	%
$I= 100-(G*100/E)$	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	23.74	%
$J=H/I$	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.20	-



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA ABRASIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTICULAS MENORES A 37.5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES.

NORMA: NTE INEN 860:2011 ASTM C 131 -06

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

ENSAYO N° : 2

FECHA MUESTREO: 14/09/2014
FECHA ENSAYO: 27/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	246.0	g
B	Masa del recipiente + árido	5246.0	g
C	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	4995.0	g
D	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	4058.0	g
E=B-A	Masa del árido inicial	5000.0	g
F=C-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	4749.0	g
G=D-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	3812.0	g
$H=100-(F*100/E)$	Porcentaje de Pérdida después de 100 revoluciones	5.02	%
$I= 100-(G*100/E)$	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	23.76	%
$J=H/I$	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.21	-



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA ABRASIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTICULAS MENORES A 37.5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES.

NORMA: NTE INEN 860:2011 ASTM C 131 -06

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 3

FECHA ENSAYO: 27/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	246.0	g
B	Masa del recipiente + árido	5246.0	g
C	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	4994.0	g
D	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	4060.0	g
E=B-A	Masa del árido inicial	5000.0	g
F=C-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	4748.0	g
G=D-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	3814.0	g
$H=100-(F*100/E)$	Porcentaje de Pérdida después de 100 revoluciones	5.04	%
$I= 100-(G*100/E)$	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	23.72	%
J=H/I	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.21	-



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA ABRASIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTICULAS MENORES A 37.5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES.

NORMA: NTE INEN 860:2011 ASTM C 131 -06

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 4

FECHA ENSAYO: 27/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	246.0	g
B	Masa del recipiente + árido	5246.0	g
C	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	5008.0	g
D	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	4055.0	g
E=B-A	Masa del árido inicial	5000.0	g
F=C-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	4762.0	g
G=D-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	3809.0	g
$H=100-(F*100/E)$	Porcentaje de Pérdida después de 100 revoluciones	4.76	%
$I= 100-(G*100/E)$	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	23.82	%
J=H/I	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.20	-



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO:

DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA ABRASIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTICULAS MENORES A 37.5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES.

NORMA:

NTE INEN 860:2011 ASTM C 131 -06

PROYECTO:

MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN:

LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° :

5

FECHA ENSAYO: 27/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del recipiente	246.0	g
B	Masa del recipiente + árido	5246.0	g
C	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	4998.0	g
D	Masa del recipiente + Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	4060.0	g
E=B-A	Masa del árido inicial	5000.0	g
F=C-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 100 revoluciones	4752.0	g
G=D-A	Masa retenido Tamiz N.12 después de 500 revoluciones	3814.0	g
$H=100-(F*100/E)$	Porcentaje de Pérdida después de 100 revoluciones	4.96	%
$I= 100-(G*100/E)$	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	23.72	%
J=H/I	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.21	-

Resumen:

ENSAYO	% DE PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES
1	23.74
2	23.76
3	23.72
4	23.82
5	23.72

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

“Se ha encontrado que el coeficiente de variación para un solo operador, es de 2.0%; por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador, en muestras del mismo árido grueso, no deben diferir en más de 5.7% de su promedio (probabilidad del 95%)”.¹⁴

DESCRIPCION	CANTIDAD (%)
PROMEDIO	24.0
MAYOR	23.8
MENOR	23.7
RANGO	0.10
DESVIACION STÁNDAR	0.04

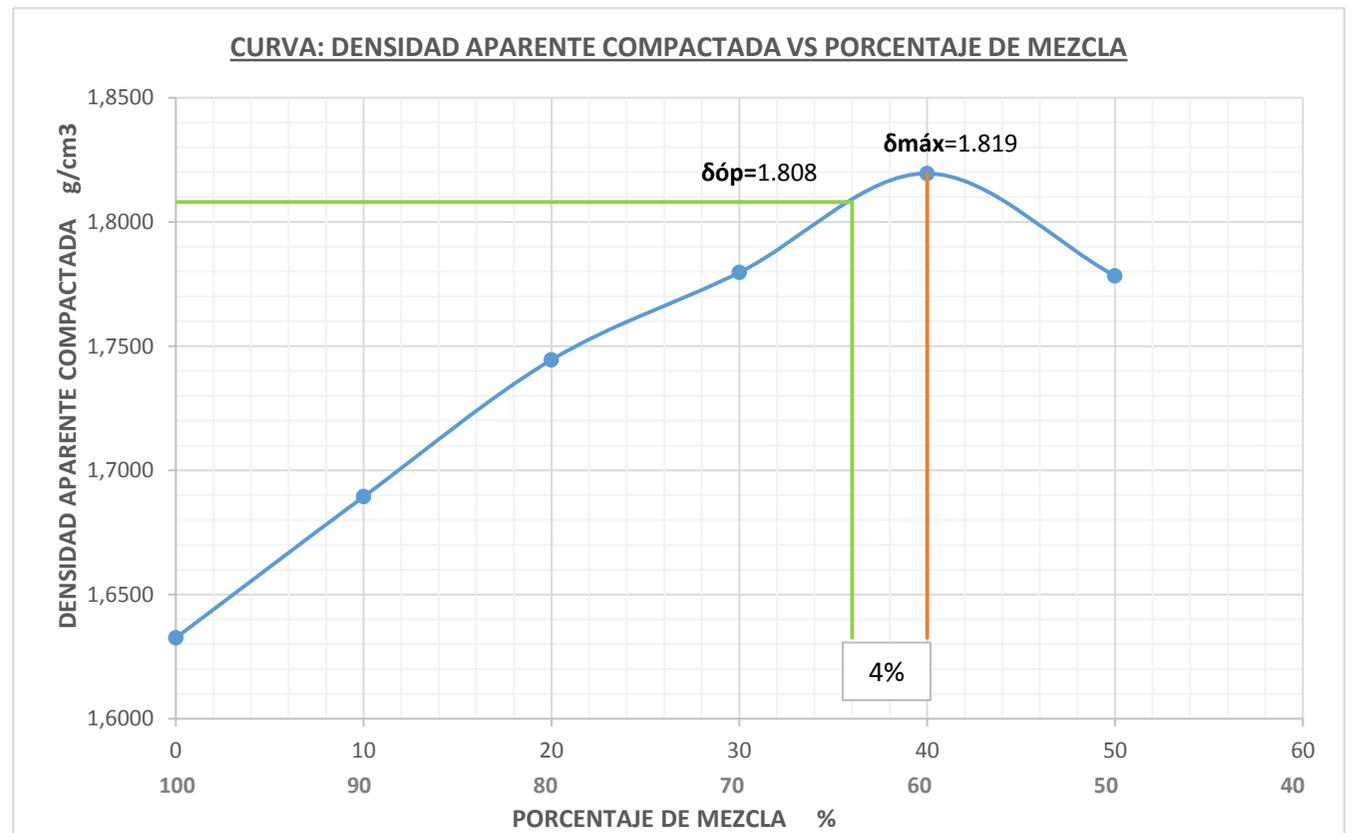
- **Desviación:**

“Puesto que no hay un material de referencia aceptado que sea adecuado para determinar, la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho, ninguna declaración de desviación”. Norma INEN 860: 2011.

¹⁴ Norma INEN 860: 2011.

60	40	35000.00	23333.33	8333.33	33720	25720	25717	1.819
					33720	25720		
					33140	25140		
50	50	35000.00	35000.00	11666.67	33130	25130	25133	1.778
					33130	25130		

DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)		PORCENTAJE DE MEZCLA
MAXIMA	1.819	60% AG-40% AF
OPTIMA	1.808	64% AG-36% AF





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DENSIDAD OPTIMA DE UNA MEZCLA DE AGREGADOS

REFERENCIA: DISEÑO DE MEZCLAS ING. RAUL CAMANIERO.

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ENSAYO N° : 2

FECHA MUESTREO:

14/09/2014

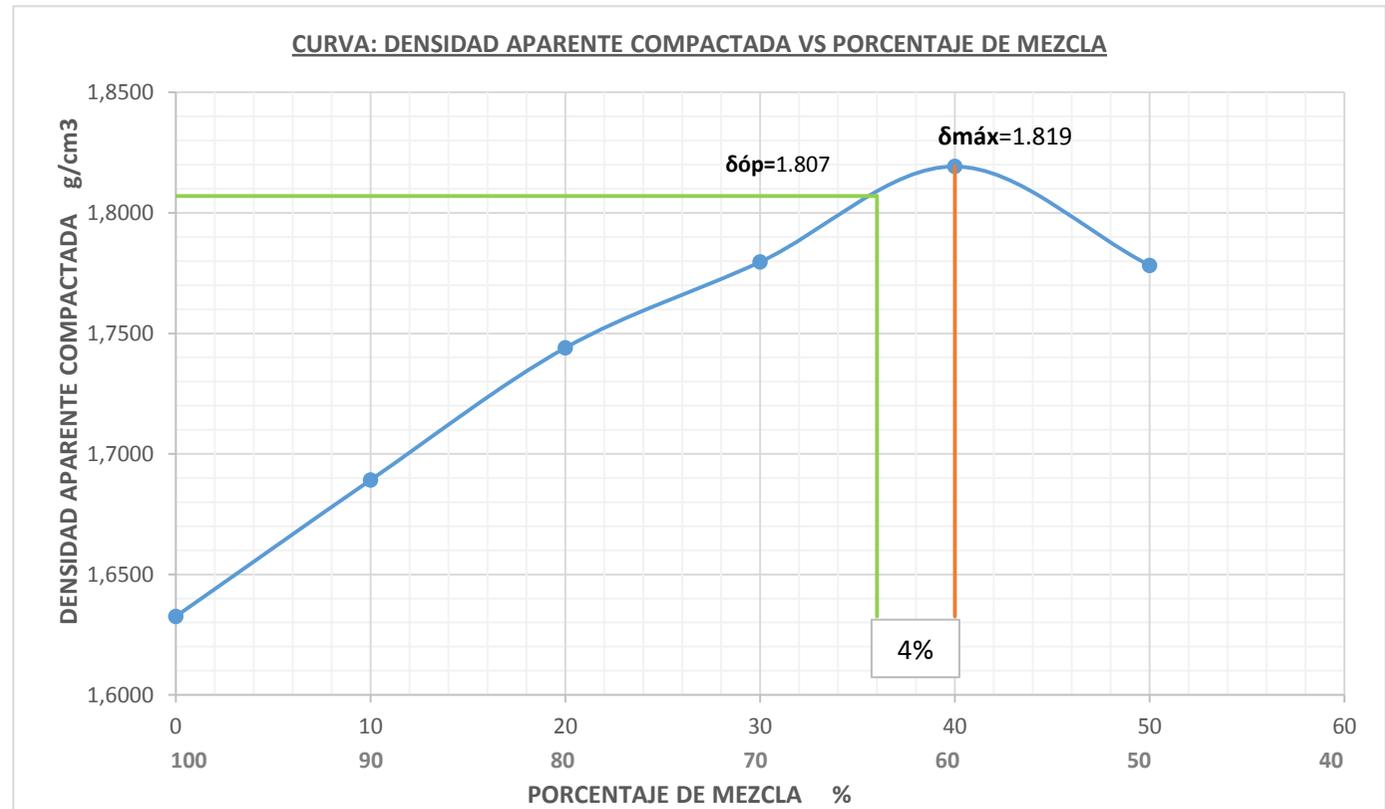
FECHA ENSAYO:

30/10/2014

MEZCLA (%)				MASA (g)		AGREGADO FINO AÑADIR (g)	MASA RECIPIENTE + MEZCLA (g)	MASA MEZCLA (g)	PROMEDIO MASA DE LA MEZCLA (g)	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)
AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO					
MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (g): 8000						VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³): 14134				
100	0	35000.00	0.00	0.00		31040	23040	23075	1.633	
						31100	23100			
						31085	23085			
90	10	35000.00	3888.89	3888.89		31880	23880	23875	1.69	
						31850	23850			
						31895	23895			
80	20	35000.00	8750.00	4861.11		32650	24650	24650	1.74	
						32660	24660			
						32640	24640			
70	30	35000.00	15000.00	6250.00		33150	25150	25153	1.78	
						33160	25160			
						33150	25150			

60	40	35000.00	23333.33	8333.33	33720	25720	25713	1.82
					33710	25710		
					33710	25710		
50	50	35000.00	35000.00	11666.67	33140	25140	25133	1.78
					33140	25140		
					33120	25120		

DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)		PORCENTAJE DE MEZCLA
MAXIMA	1.819	60% AG-40% AF
OPTIMA	1.807	64% AG-36% AF





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DENSIDAD OPTIMA DE UNA MEZCLA DE AGREGADOS

REFERENCIA: DISEÑO DE MEZCLAS ING. RAUL CAMANIERO.

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ENSAYO N° : 3

FECHA MUESTREO:

14/09/2014

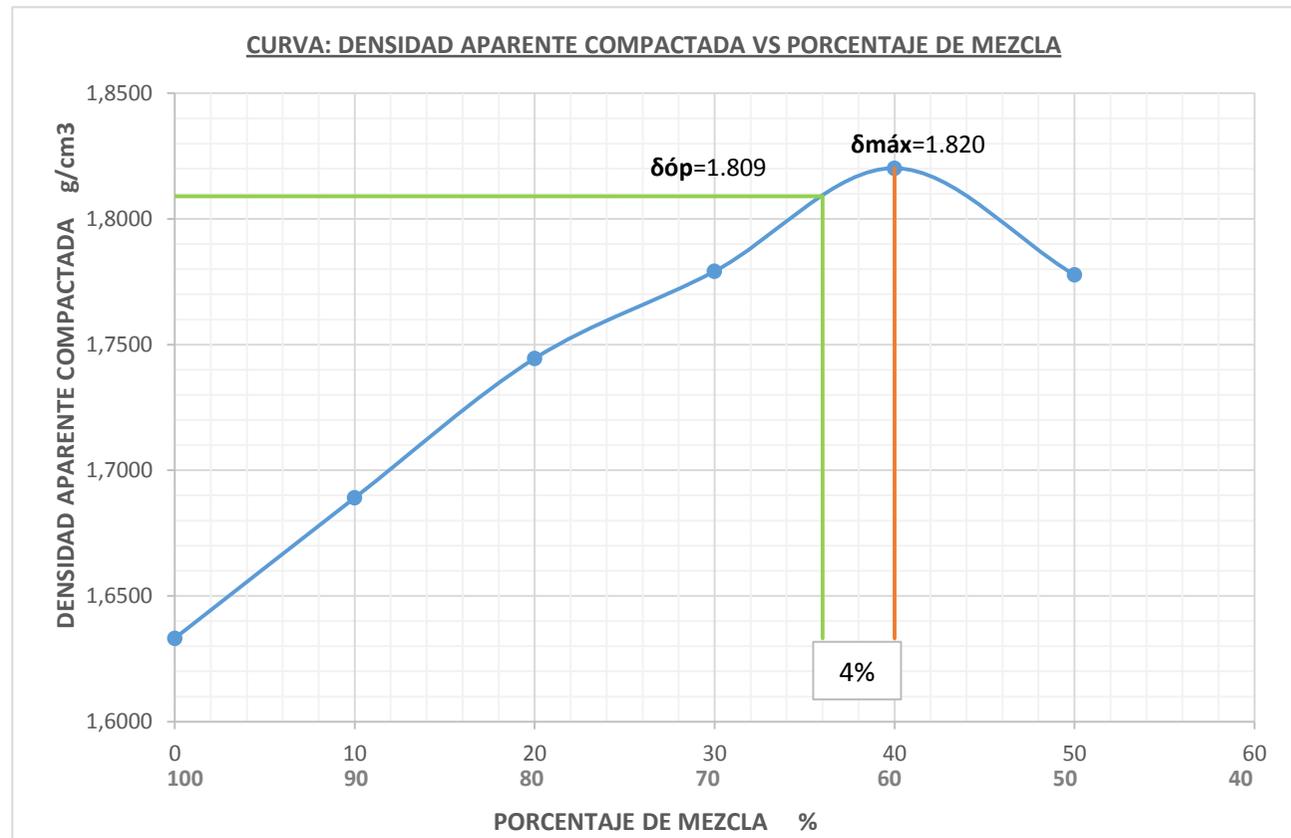
FECHA ENSAYO:

30/10/2014

MEZCLA (%)				MASA (g)		AGREGADO FINO AÑADIR (g)	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³): 14134		PROMEDIO MASA DE LA MEZCLA (g)	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)
AGREGADO GRUESO	AGREGADO O FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	MASA RECIPIENTE + MEZCLA (g)	MASA MEZCLA (g)					
100	0	35000.00	0.00	0.00	31080	23080	23083	1.633		
					31090	23090				
					31080	23080				
90	10	35000.00	3888.89	3888.89	31880	23880	23873	1.69		
					31870	23870				
					31870	23870				
80	20	35000.00	8750.00	4861.11	32650	24650	24657	1.74		
					32660	24660				
					32660	24660				
70	30	35000.00	15000.00	6250.00	33150	25150	25147	1.78		
					33140	25140				
					33150	25150				

60	40	35000.00	23333.33	8333.33	33720	25720	25727	1.82
					33730	25730		
					33730	25730		
50	50	35000.00	35000.00	11666.67	33120	25120	25127	1.78
					33130	25130		
					33130	25130		

DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)		PORCENTAJE DE MEZCLA
MAXIMA	1.820	60% AG-40% AF
OPTIMA	1.809	64% AG-36% AF





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DENSIDAD OPTIMA DE UNA MEZCLA DE AGREGADOS

REFERENCIA: DISEÑO DE MEZCLAS ING. RAUL CAMANIERO.

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

30/10/2014

ENSAYO N° : 4

FECHA MUESTREO:

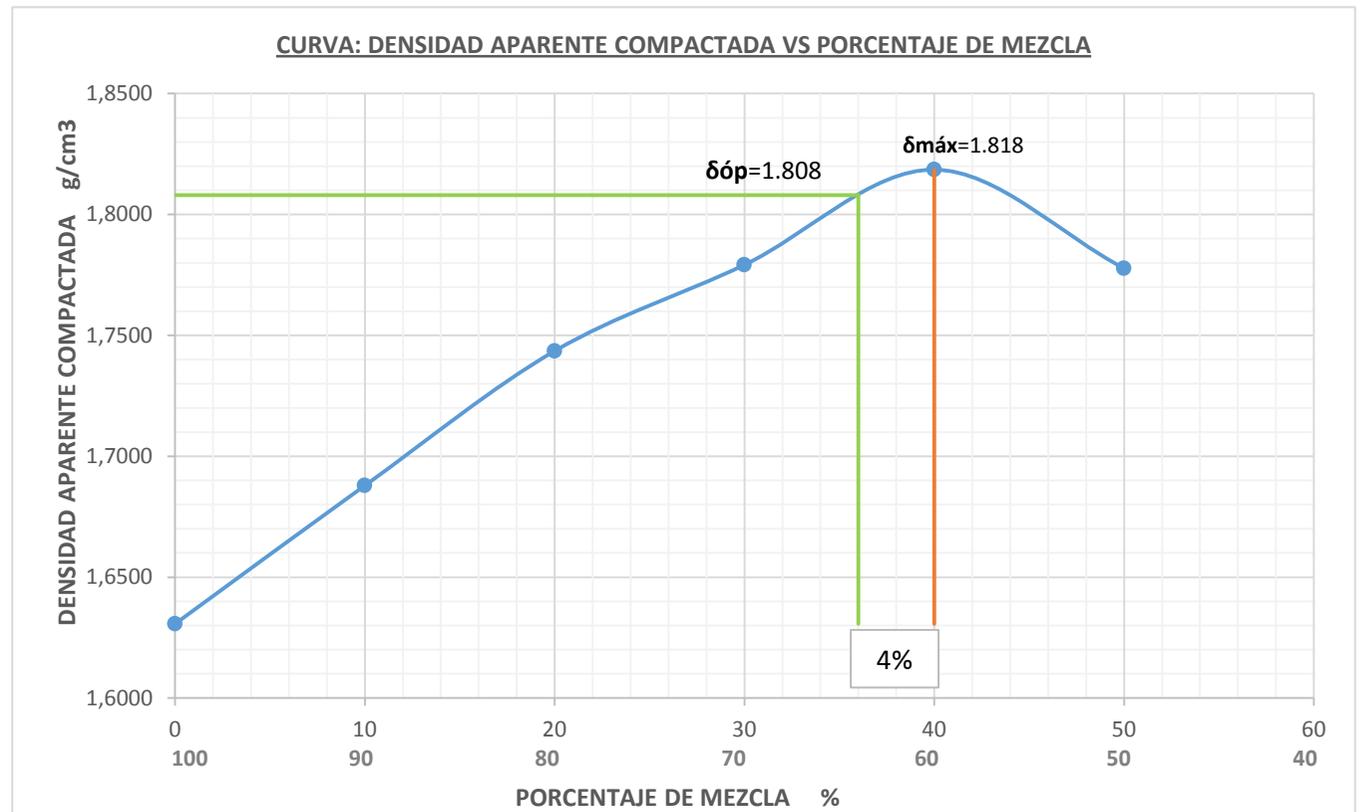
14/09/2014

FECHA ENSAYO:

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (g): 8000				VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³): 14134				
MEZCLA (%)		MASA (g)		AGREGADO FINO AÑADIR (g)	MASA RECIPIENTE + MEZCLA (g)	MASA MEZCLA (g)	PROMEDIO MASA DE LA MEZCLA (g)	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)
AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO					
100	0	35000.00	0.00	0.00	31040	23040	23048	1.631
					31050	23050		
					31055	23055		
90	10	35000.00	3888.89	3888.89	31860	23860	23857	1.688
					31850	23850		
					31860	23860		
80	20	35000.00	8750.00	4861.11	32640	24640	24643	1.744
					32650	24650		
					32640	24640		
70	30	35000.00	15000.00	6250.00	33150	25150	25147	1.779
					33140	25140		
					33150	25150		

60	40	35000.00	23333.33	8333.33	33710	25710	25703	1.819
					33700	25700		
					33700	25700		
50	50	35000.00	35000.00	11666.67	33120	25120	25127	1.778
					33130	25130		
					33130	25130		

DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)		PORCENTAJE DE MEZCLA
MAXIMA	1.818	60% AG-40% AF
OPTIMA	1.808	64% AG-36% AF





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DENSIDAD OPTIMA DE UNA MEZCLA DE AGREGADOS

REFERENCIA: DISEÑO DE MEZCLAS ING. RAUL CAMANIERO.

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ENSAYO N° : 5

FECHA MUESTREO:

14/09/2014

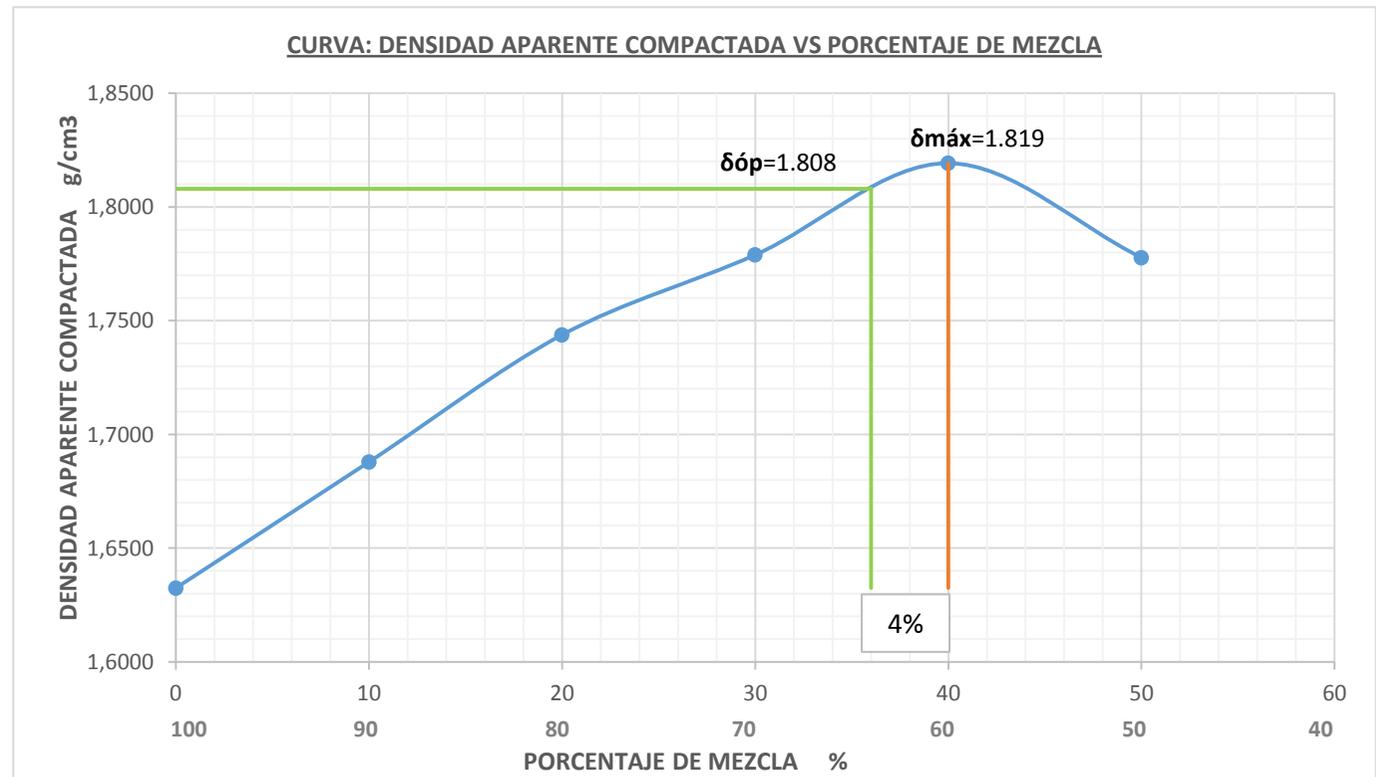
FECHA ENSAYO:

30/10/2014

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (g): 8000				VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³): 14134				
MEZCLA (%)		MASA (g)		AGREGADO FINO AÑADIR (g)	MASA RECIPIENTE + MEZCLA (g)	MASA MEZCLA (g)	PROMEDIO MASA DE LA MEZCLA (g)	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)
AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO					
100	0	35000.00	0.00	0.00	31070	23070	23073	1.632
					31080	23080		
					31070	23070		
90	10	35000.00	3888.89	3888.89	31860	23860	23857	1.688
					31850	23850		
					31860	23860		
80	20	35000.00	8750.00	4861.11	32640	24640	24647	1.744
					32650	24650		
					32650	24650		
70	30	35000.00	15000.00	6250.00	33140	25140	25143	1.779
					33140	25140		
					33150	25150		

60	40	35000.00	23333.33	8333.33	33710	25710	25713	1.819
					33710	25710		
					33720	25720		
50	50	35000.00	35000.00	11666.67	33130	25130	25127	1.778
					33120	25120		
					33130	25130		

DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)		PORCENTAJE DE MEZCLA
MAXIMA	1.819	60% AG-40% AF
OPTIMA	1.808	64% AG-36% AF



Resumen:

ENSAYO	DENSIDAD APARENTE (g/cm³)	
	MAXIMA	OPTIMA
	60% AG-40% AF	64% AG-36% AF
1	1.819	1.808
2	1.819	1.807
3	1.820	1.809
4	1.819	1.808
5	1.819	1.808
PROMEDIO	1.819	1.808

3.2.RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DEL CEMENTO.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO CHIMBORAZO

NORMA: NTE INEN 0156:09 ASTM C 188-03

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N° : 1 **FECHA ENSAYO:** 17/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa Recipiente	125.0	g
B	Masa Recipiente + Cemento Inicial	189.0	g
C	Lectura Inicial del frasco de Le chatelier + gasolina	0.8	ml
D	Masa del frasco de Le chatelier + gasolina	337.9	g
E	Lectura final del frasco de Le chatelier + gasolina	21.8	ml
F	Masa final del frasco de Le chatelier + cemento + gasolina	401.0	g
G=B-A	Masa Inicial de cemento	64.0	g
H=F-D	Masa del cemento en el frasco de Le chatelier	63.1	g
I=E-C	Volumen de cemento	21.0	ml
J= H/I	DENSIDAD DEL CEMENTO	3.00	g/cm³

ENSAYO N° : 2

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa Recipiente	125.0	g
B	Masa Recipiente + Cemento Inicial	189.0	g
C	Lectura Inicial del frasco de Le chatelier + gasolina	0.9	ml
D	Masa del frasco de Le chatelier + gasolina	338.3	g
E	Lectura final del frasco de Le chatelier + gasolina	22.3	ml
F	Masa final del frasco de Le chatelier + cemento + gasolina	402.2	g
G=B-A	Masa Inicial de cemento	64.0	g
H=F-D	Masa del cemento en el frasco de Le chatelier	63.9	g
I=E-C	Volumen de cemento	21.4	ml
J= H/I	DENSIDAD DEL CEMENTO	2.99	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO CHIMBORAZO
NORMA: NTE INEN 0156:09 ASTM C 188-03
PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.
ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO
FECHA MUESTREO: 14/09/2014
ENSAYO N°: 5 **FECHA ENSAYO:** 17/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa Recipiente	125.0	g
B	Masa Recipiente + Cemento Inicial	189.0	g
C	Lectura Inicial del frasco de Le chatelier + gasolina	0.9	ml
D	Masa del frasco de Le chatelier + gasolina	338.4	g
E	Lectura final del frasco de Le chatelier + gasolina	22.1	ml
F	Masa final del frasco de Le chatelier + cemento + gasolina	401.5	g
G=B-A	Masa Inicial de cemento	64.0	g
H=F-D	Masa del cemento en el frasco de Le chatelier	63.1	g
I=E-C	Volumen de cemento	21.2	ml
J= H/I	DENSIDAD DEL CEMENTO	2.98	g/cm³

Resumen:

ENSAYO	DENSIDAD DEL CEMENTO g/cm ³
1	3.00
2	2.99
3	2.99
4	2.98
5	2.98

Precisión y Desviación de Resultados.

- **Precisión:**

“Se ha encontrado que la desviación estándar para un solo operador para cemento portland es de 0.012; por lo tanto, el resultado de dos ensayos adecuadamente realizados por el mismo operador en el mismo material no debe diferir en más de 0.03”.¹⁵

DESCRIPCION	CANTIDAD g/cm³
PROMEDIO	2.99
MAYOR	3.00
MENOR	2.98
RANGO	0.023
DESVIACION STÁNDAR	0.011

- **Desviación:**

“Puesto que no hay un material de referencia aceptado que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación”. Norma INEN 0156:09.

¹⁵ Norma INEN 0156:09.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA DEL CEMENTO CHIMBORAZO

REFERENCIA: NTE INEN 0858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 1 **FECHA ENSAYO:** 17/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.00	g
B	Masa Recipiente + agua	5523.00	g
C	Masa Cemento + Recipiente	5366.00	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2896.89	cm ³
E=C-A	Masa Suelto de Cemento	2733.00	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	0.94	g/cm³

ENSAYO N°: 2

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.00	g
B	Masa Recipiente + agua	5523.00	g
C	Masa Cemento + Recipiente	5347.00	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2896.89	cm ³
E=C-A	Masa Suelto de Cemento	2714.00	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	0.94	g/cm³



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA DEL CEMENTO CHIMBORAZO

REFERENCIA: NTE INEN 0858:2010 ASTM C 29-09

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO

FECHA MUESTREO: 14/09/2014

ENSAYO N°: 3

FECHA ENSAYO: 17/09/2014

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.00	g
B	Masa Recipiente + agua	5523.00	g
C	Masa Cemento + Recipiente	5383.00	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2896.89	cm ³
E=C-A	Masa Suelto de Cemento	2750.00	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	0.95	g/cm³

ENSAYO N° : 4

FORMULA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
A	Masa del Recipiente	2633.00	g
B	Masa Recipiente + agua	5523.00	g
C	Masa Cemento + Recipiente	5367.00	g
D=B-A	Volumen del Recipiente	2896.89	cm ³
E=C-A	Masa Suelto de Cemento	2734.00	g
I = E/D	MUS (MASA UNITARIA SUELTA)	0.94	g/cm³

3.3.RESULTADOS DE DISEÑO DE MEZCLA DEFINITIVA DE HORMIGÓN.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO: DISEÑO DE LA MEZCLA PARA HORMIGÓN $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$.

REFERENCIA: DISEÑO DE MEZCLAS ING. RAUL CAMANIERO.

PROYECTO: MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.

ORIGEN: LA PROVIDENCIA-PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

Resumen de ensayos de agregados.

Ensayo	Agregado Fino	Agregado Grueso
Densidad Relativa SSS (g/cm^3)	2.52	2.70
Contenido de Humedad (%)	3.32	0.12
Porcentaje de Absorción (%)	2.32	1.33
Masa Unitaria Suelta (g/cm^3)	1.603	1.496
Densidad Optima (g/cm^3)	1.808	
Proporción de la mezcla %	36	64

Resumen de ensayos del cemento.

Densidad del cemento (g/cm^3)	2.99
Masa Unitaria Suelta (g/cm^3)	0.942

Datos del Hormigón.

Resistencia característica	21 MPa
Densidad del Hormigón (T/m^3)	2.40
Asentamiento (cm)	8
Relación Agua/Cemento A/C	0.58
Número de Cilindros	10

1.-Cantidad Agregado Grueso (kg).

100 kg

2.-Cantidad Agregado fino (kg).

= 56.3 kg

3.-Porcentaje de vacíos (%).

+

= 2.64 g/cm³

31.75 %

31.75 %

4.- Volumen aparente de la mezcla (cm³).

86854 cm³

5.-Volumen de la pasta (cm³).

27579.74 cm³

6.-Relación de agua (a/c).

Resistencia del Hormigón		A/C
Kg/cm ²	MPa	
180	18	0.60
210	21	0.58
240	24	0.56

A/C= 0.58

7.-Densidad de la pasta (g/cm³).

—
—————
————— —

1.73 g/cm³

8.-Peso Pasta (g).

47634.389 g

9.-Cantidad de agua (g).

—
—————
—

17486.04 g

10.-Cantidad de cemento (g).

—————
—

30148.98 g

11.-Dosificación inicial (kg).

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
17.49	30.15	56.25	100

12.-Corrección por humedad (kg).

—————

56.80 kg

—————

98.81 kg

13.-Dosificación final (kg).

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
18.12	30.15	56.80	98.81

14.-Dosificación final por unidades de cemento.

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
0.60	1.00	1.88	3.28

15.-Número de sacos de cemento.

354.89 kg

7.10 sacos

16.-Dosificación al peso por m3 de hormigón (kg).

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
213.28	354.89	668.66	1163.17

17.-Dosificación al peso por cada saco de cemento de 50 kg.

Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
30.05	50.00	94.21	163.88

3.4.RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN.

Tabla 12.- Resultados de ensayos a compresión a la edad de 7 días.

CILINDRO N°	DESCRIPCIÓN	DIAMETRO		DIAMETRO PROMEDIO	LONGITUD		LONGITUD PROMEDIO	RELACIÓN	SECCIÓN TRANSVERSAL	CARGA	ESFUERZO		PORCENTAJE	TIPO DE FRACTURA
		mm			mm						L/D	mm ²		
L1-1	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.22	150.20	L1	299	299	1.99	17718.61	243708.88	13.75	140.25	66.79	TIPO 3
		Ø2	150.18		L2	300								
					L3	299								
L1-2	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.17	150.21	L1	299	299	1.99	17720.97	234831.24	13.25	135.13	64.35	TIPO 3
		Ø2	150.25		L2	299								
					L3	299								
L1-3	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.00	150.10	L1	299	299	1.99	17695.03	231410.29	13.08	133.35	63.50	TIPO 3
		Ø2	150.20		L2	300								
					L3	299								
L1-4	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.00	150.11	L1	300	300	2.00	17696.21	239153.22	13.51	137.81	65.62	TIPO 3
		Ø2	150.21		L2	300								
					L3	300								
L1-5	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.12	150.15	L1	299	299	1.99	17706.82	234878.34	13.26	135.26	64.41	TIPO 3
		Ø2	150.18		L2	299								
					L3	299								
L1-6	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.45	150.28	L1	300	300	2.00	17736.31	239153.22	13.48	137.49	65.47	TIPO 3
		Ø2	150.10		L2	300								
					L3	300								
L1-7	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	151.51	151.38	L1	300	299	1.98	17998.11	235179.72	13.07	133.24	63.45	TIPO 3
		Ø2	151.25		L2	299								
					L3	299								
L1-8	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.00	149.93	L1	299	299	2.00	17653.79	244357.67	13.84	141.14	67.21	TIPO 3
		Ø2	149.85		L2	300								
					L3	299								
L1-9	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.00	150.05	L1	301	301	2.01	17683.24	236869.03	13.40	136.59	65.04	TIPO 3
		Ø2	150.10		L2	301								
					L3	301								
L1-10	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	151.00	150.92	L1	299	299	1.98	17888.89	246181.93	13.76	140.33	66.82	TIPO 3
		Ø2	150.84		L2	299								
					L3	300								
PROMEDIO											13.44	137.06	65.27	

Elaborado por: Erika Guaño C.

Tabla 13.- Resultados de ensayos a compresión a la edad de 14 días.

CILINDRO N°	DESCRIPCIÓN	DIAMETRO		DIAMETRO PROMEDIO	LONGITUD		LONGITUD PROMEDIO	RELACIÓN	SECCIÓN TRANSVERSAL	CARGA	ESFUERZO		PORCENTAJE	TIPO DE FRACTURA
		mm	mm		mm	mm					L/D	mm ²		
L2-1	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.25	150.68	L1	299	299.33	1.99	17830.86	280450.66	15.73	160.38	76.37	TIPO 3
		Ø2	151.10		L2	300								
					L3	299								
L2-2	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.18	150.21	L1	300	300.00	2.00	17719.79	277883.63	15.68	159.91	76.15	TIPO 3
		Ø2	150.23		L2	300								
					L3	300								
L2-3	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.00	150.06	L1	299	299.00	1.99	17685.60	274002.14	15.49	157.98	75.23	TIPO 3
		Ø2	150.12		L2	299								
					L3	299								
L2-4	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.20	150.19	L1	300	299.67	2.00	17716.25	287726.32	16.24	165.61	78.86	TIPO 3
		Ø2	150.18		L2	299								
					L3	300								
L2-5	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm ²	Ø1	150.24	150.22	L1	301	301.00	2.00	17723.33	284024.73	16.03	163.41	77.82	TIPO 3
		Ø2	150.20		L2	301								
					L3	301								
PROMEDIO											15.83	161.46	76.89	

Elaborado por: Erika Guaño C.

Tabla 14.- Resultados de ensayos a compresión a la edad de 21 días.

CILINDRO N°	DESCRIPCIÓN	DIAMETRO		DIAMETRO PROMEDIO	LONGITUD		LONGITUD PROMEDIO	RELACIÓN	SECCIÓN TRANSVERSAL	CARGA	ESFUERZO		PORCENTAJE	TIPO DE FRACTURA
		mm	mm		mm	mm					L/D	mm2		
L2-6	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.25	151.01	L1	299	299.33	1.98	17910.24	300870.18	16.80	171.30	81.57	TIPO 3
		Ø2	151.77		L2	300								
L2-7	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.00	150.10	L1	300	299.67	2.00	17695.03	305733.64	17.28	176.18	83.90	TIPO 3
		Ø2	150.20		L2	300								
L2-8	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.56	150.37	L1	300	300.00	2.00	17757.56	299670.46	16.88	172.08	81.94	TIPO 3
		Ø2	150.17		L2	300								
L2-9	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.20	150.19	L1	299	299.33	1.99	17716.25	302879.56	17.10	174.33	83.01	TIPO 3
		Ø2	150.18		L2	299								
L2-10	Probeta Cilíndrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.55	150.29	L1	299	299.00	1.99	17739.85	299913.56	16.91	172.39	82.09	TIPO 3
		Ø2	150.03		L2	299								
PROMEDIO											16.99	173.26	82.50	

Elaborado por: Erika Guaño C.

Tabla 15.- Resultados de ensayos a compresión a la edad de 28 días.

CILINDRO N°	DESCRIPCIÓN	DIAMETRO		DIAMETRO PROMEDIO	LONGITUD		LONGITUD PROMEDIO	RELACIÓN	SECCIÓN TRANSVERSAL	CARGA	ESFUERZO		PORCENTAJE	TIPO DE FRACTURA
		mm	mm	mm	mm	mm	L/D	mm2	N	Mpa	Kg/cm2	%		
L3-1	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.25	151.01	L1	299	299.33	1.98	17910.24	389514.80	21.75	221.77	105.60	TIPO 3
		Ø2	151.77		L2	300								
					L3	299								
L3-2	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.56	150.37	L1	300	300.00	2.00	17757.56	391385.40	22.04	224.75	107.02	TIPO 3
		Ø2	150.17		L2	300								
					L3	300								
L3-3	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	149.01	150.36	L1	300	299.33	1.99	17755.20	385918.50	21.74	221.64	105.54	TIPO 3
		Ø2	151.70		L2	299								
					L3	299								
L3-4	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	151.51	151.74	L1	299	299.33	1.97	18083.81	385731.00	21.33	217.50	103.57	TIPO 3
		Ø2	151.97		L2	300								
					L3	299								
L3-5	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.10	150.81	L1	301	301.00	2.00	17861.64	391463.90	21.92	223.48	106.42	TIPO 3
		Ø2	151.51		L2	301								
					L3	301								
L3-6	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.03	150.29	L1	300	299.33	1.99	17739.85	385731.00	21.74	221.72	105.58	TIPO 3
		Ø2	150.55		L2	299								
					L3	299								
L3-7	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	151.61	151.23	L1	299	299.00	1.98	17961.27	391966.20	21.82	222.53	105.97	TIPO 3
		Ø2	150.84		L2	299								
					L3	299								
L3-8	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.33	149.79	L1	299	299.33	2.00	17620.84	384192.90	21.80	222.33	105.87	TIPO 3
		Ø2	149.24		L2	299								
					L3	300								
L3-9	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	149.68	149.97	L1	300	300.00	2.00	17664.39	383391.85	21.70	221.32	105.39	TIPO 3
		Ø2	150.26		L2	300								
					L3	300								
L3-10	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.48	150.42	L1	300	300.00	1.99	17769.38	374891.95	21.10	215.13	102.44	TIPO 3
		Ø2	150.35		L2	300								
					L3	300								
L3-11	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.03	150.09	L1	299	299.00	1.99	17692.67	385731.00	21.80	222.31	105.86	TIPO 3
		Ø2	150.15		L2	299								
					L3	299								
L3-12	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	149.90	150.08	L1	300	299.67	2.00	17689.13	382551.20	21.63	220.52	105.01	TIPO 3
		Ø2	150.25		L2	299								
					L3	300								
L3-13	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.12	150.69	L1	299	299.67	1.99	17833.23	386292.90	21.66	220.88	105.18	TIPO 3
		Ø2	151.25		L2	300								
					L3	300								
L3-14	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	149.30	149.83	L1	300	299.67	2.00	17630.25	373451.85	21.18	216.00	102.86	TIPO 3
		Ø2	150.35		L2	299								
					L3	300								
L3-15	Probeta Cilindrica f'c= 210kg/cm2	Ø1	150.65	150.55	L1	299	299.33	1.99	17801.29	391491.95	21.99	224.26	106.79	TIPO 3
		Ø2	150.45		L2	299								
					L3	300								
PROMEDIO											21.68	221.08	105.27	

Elaborado por: Erika Guaño C.

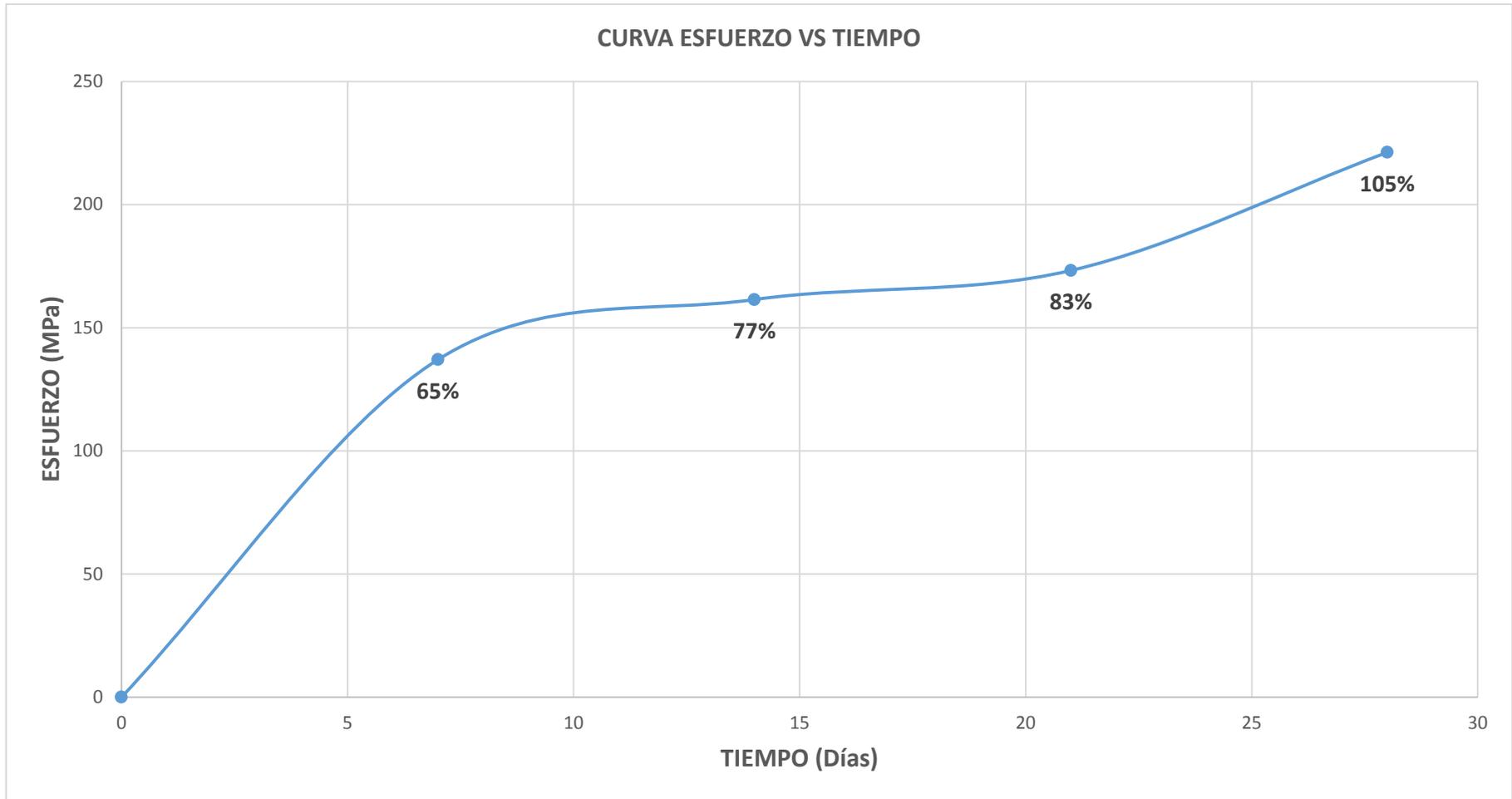


Figura 38.- Curva Esfuerzo vs Tiempo del Hormigón $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$.
Elaborado por: Erika Guaño C.

3.5.DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL, TEÓRICO Y ESTADÍSTICO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.

El Módulo de Elasticidad se calcula aplicando los siguientes métodos:

- Experimental.
- Estadística.
- Teórica.

3.5.1. MÉTODO EXPERIMENTAL.

Para la determinación experimental del Módulo de Elasticidad se aplicó el proceso establecido en la norma ASTM C-469-94, “Método Estándar de ensayo para determinar el Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson del Hormigón en Compresión”.

La norma ASTM C-469-94 establece que para el cálculo del Módulo de Elasticidad se debe tomar dos puntos de referencia en la curva (ζ vs ϵ) del ensayo a compresión de probetas cilíndricas de hormigón.

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

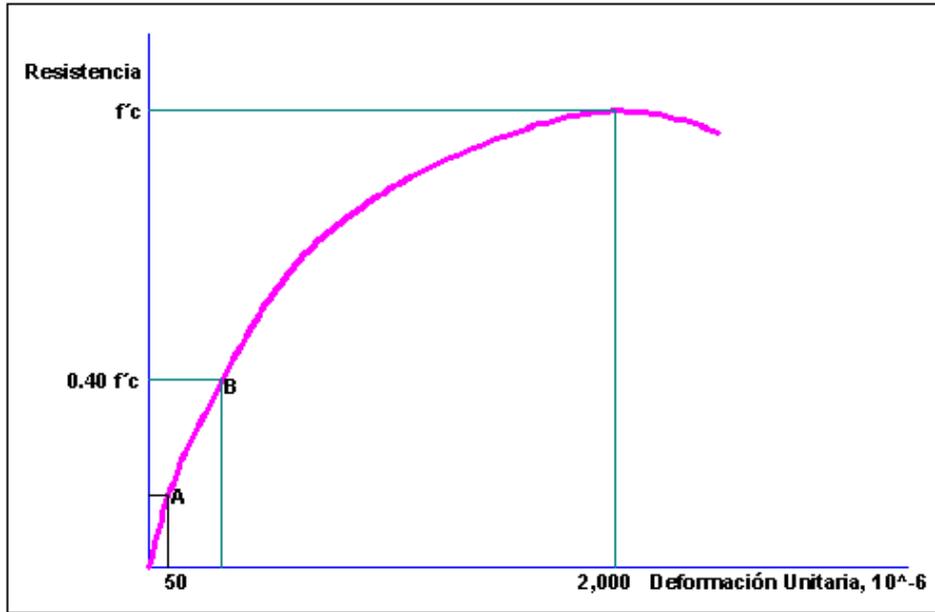


Figura 39.- Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Concreto Bajo Compresión, y Puntos para Definir el Módulo de Elasticidad según ASTM C-469.
Elaborado por: Erika Guaño C.

Por medio de la figura anterior podemos encontrar el valor del Módulo de Elasticidad del Hormigón mediante la tangente trigonométrica de la secante mediante la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Donde:

σ = Esfuerzo.

ε = Deformación.

3.5.1.1. CALCULO TIPO DE LA DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.

- **Datos:**

Lo = 200 mm

Ø = 151.01 mm

L = 299.33 mm

Carga de Rotura = 389514.8 N

✚ **Determinación del área del cilindro.**

$$A = \frac{\pi * \varnothing^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (151.01\text{mm})^2}{4}$$

$$A = 17910.24 \text{ mm}^2$$

✚ **Determinación del Esfuerzo Máximo.**

$$\text{Esfuerzo Máximo } (\sigma) = \frac{\text{Carga de rotura}}{\text{Área}}$$

$$\sigma = \frac{389514.8 \text{ N}}{17910.24\text{mm}^2}$$

$$\sigma = 21.75 \text{ MPa}$$

✚ **Determinación del 40% de la Resistencia Máxima.**

$$40\% \text{ Resistencia Máx.} = 0.4 * \text{Esfuerzo Máximo}$$

$$40\% \text{ Resistencia Máx.} = 0.4 * 21.75 \text{ MPa}$$

$$40\% \text{ Resistencia Máx.} = 8.70 \text{ MPa}$$

✚ **Determinación del esfuerzo a una carga aplicada.**

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

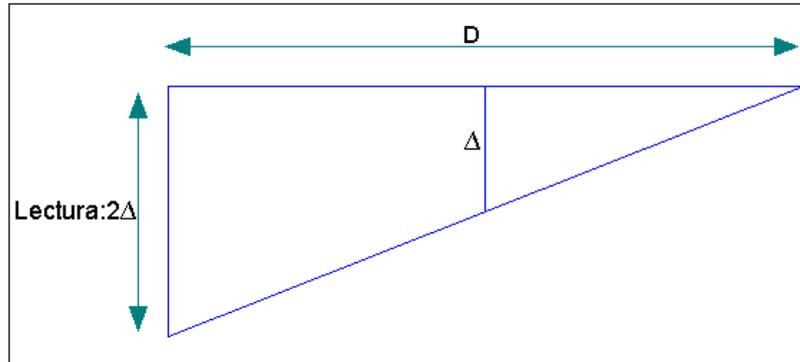
$$\sigma = \frac{10000 \text{ N}}{17910.24 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 0.56 \text{ MPa}$$

✚ **Determinación de la Deformación Específica.**

“Por efectos de montaje del aparato del dial de deformaciones nos da lecturas igual al doble de la deformación verdadera de la probeta, lo cual es ventajoso para mayor sensibilidad de las lecturas, ya que la deformación de necesitaremos será en

el eje de la probeta, además este ensayo se debe tener la precaución de retirar el equipo (anillos) antes de la carga de rotura para precautelar daños en el equipo.”¹⁶



$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L_o}$$

$$\Delta = \frac{\text{Lectura}}{2}$$

$$\varepsilon = \frac{\text{Deformación (Lectura Dial)}}{2 * L_o}$$

Donde:

ε = Deformación Específica.

Δ = Deformación al eje axial de la muestra (Lectura del dial).

L_o = Longitud inicial de mediad (200mm).

$$\varepsilon = \frac{0.010005 \text{ mm}}{2 * 200 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon = 0.000025133 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$\varepsilon = 25.13 * 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

✚ Determinación del primer punto (esfuerzo) a una deformación específica de $50 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$.

¹⁶ Norma ASTM C469-02.

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	10.05	0.56	25.13
3	20	2000	20.10	1.12	50.25

El esfuerzo requerido para la gráfica del primer punto se encuentra entre los valores de 25.13 y 50.25 de deformación específica para la cual se deberá realizar una interpolación.

0.56	25.13
1.11	50.00
1.12	50.25

0.56 \Rightarrow 25.12

X \Rightarrow 24.87

$$x = 0.55$$

Por lo tanto mi primer punto es (1.11MPa ; 50x10⁻⁶mm/mm)

✚ Determinación del segundo punto (deformación) al 40% del Esfuerzo Máximo.

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA
	N (x 10 ³)	Kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
15	140	14000	156.21	7.82	390.53
16	150	15000	169.01	8.38	422.52
17	160	16000	180.45	8.93	451.13
18	170	17000	192.17	9.49	480.43

La deformación específica para la gráfica del segundo punto se encuentra entre los valores de 8.38 y 8.93 de esfuerzo ya que el 40% el esfuerzo máximo es 8.70 para la cual se deberá realizar una interpolación.

8.38	422.52
8.70	439.17
8.93	451.13

0.55 \Rightarrow 28.61

0.32 \Rightarrow X

$$x = 16.65$$

Por lo tanto mi segundo punto es (8.70 MPa ; 439.1750x10⁻⁶mm/mm)

 **Determinación del Módulo de Elasticidad.**

Datos:

$$\sigma_2 = 0.4 \text{ Esfuerzo Máximo} = 8.70 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{0.00005} = 1.11 \text{ MPa.}$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{0.4\sigma_{\text{máx}}} = 439.17 \times 10^{-6} \text{ mm/mm.}$$

$$\varepsilon_1 = 50 \times 10^{-6} \text{ mm/mm.}$$

$$E = \frac{8.70 \text{ MPa} - 1.11 \text{ MPa}}{(439.17 - 50) \times 10^{-6} \text{ mm/mm}}$$

$$E = \frac{7.59 \text{ MPa}}{389.17 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}}$$

$$E = 0.01949833 \times 10^6 \text{ MPa}$$

$$E = 19498.33 \text{ MPa}$$

3.5.1.2.RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESION VS DEFORMACIÓN ESPECÍFICA.

CILINDRO N° 1

Lo=	200.00	mm
Ø=	151.01	mm
L=	299.33	mm

Área=	17910.24	mm ²
Carga de Rotura=	389514.8	N
Esfuerzo Máximo=	21.75	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.70	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	10.05	0.56	25.13
3	20	2000	20.10	1.12	50.25
4	30	3000	31.49	1.68	78.73
5	40	4000	41.99	2.23	104.97
6	50	5000	51.68	2.79	129.20
7	60	6000	65.28	3.35	163.20
8	70	7000	75.48	3.91	188.70
9	80	8000	87.49	4.47	218.73
10	90	9000	96.85	5.03	242.12
11	100	10000	107.46	5.58	268.65
12	110	11000	118.07	6.14	295.18
13	120	12000	131.34	6.70	328.35
14	130	13000	143.42	7.26	358.55
15	140	14000	156.21	7.82	390.53
16	150	15000	169.01	8.38	422.52
17	160	16000	180.45	8.93	451.13
18	170	17000	192.17	9.49	480.43
19	180	18000	205.71	10.05	514.27
20	190	19000	216.98	10.61	542.46
21	200	20000	228.28	11.17	570.70
22	210	21000	245.21	11.73	613.03
23	220	22000	263.84	12.28	659.60
24	230	23000	280.77	12.84	701.93
25	240	24000	300.05	13.40	750.13
26	250	25000	318.68	13.96	796.70
27	260	26000	337.31	14.52	843.27
28	270	27000	355.93	15.08	889.83
29	280	28000	374.77	15.63	936.93
30	290	29000	395.09	16.19	987.73
31	300	30000	415.41	16.75	1038.53
32	310	31000	444.20	17.31	1110.50
33	320	32000	478.07	17.87	1195.17
34	330	33000	531.40	18.43	1328.50
35	340	34000	582.20	18.98	1455.50
36	350	35000	649.93	19.54	1624.83
37	360	36000	717.67	20.10	1794.17
38	370	37000	819.00	20.66	2047.50
39	380	38000	920.60	21.22	2301.50
40	390	39000	1020.51	21.78	2551.27
41	380	38000	1122.11	21.22	2805.27

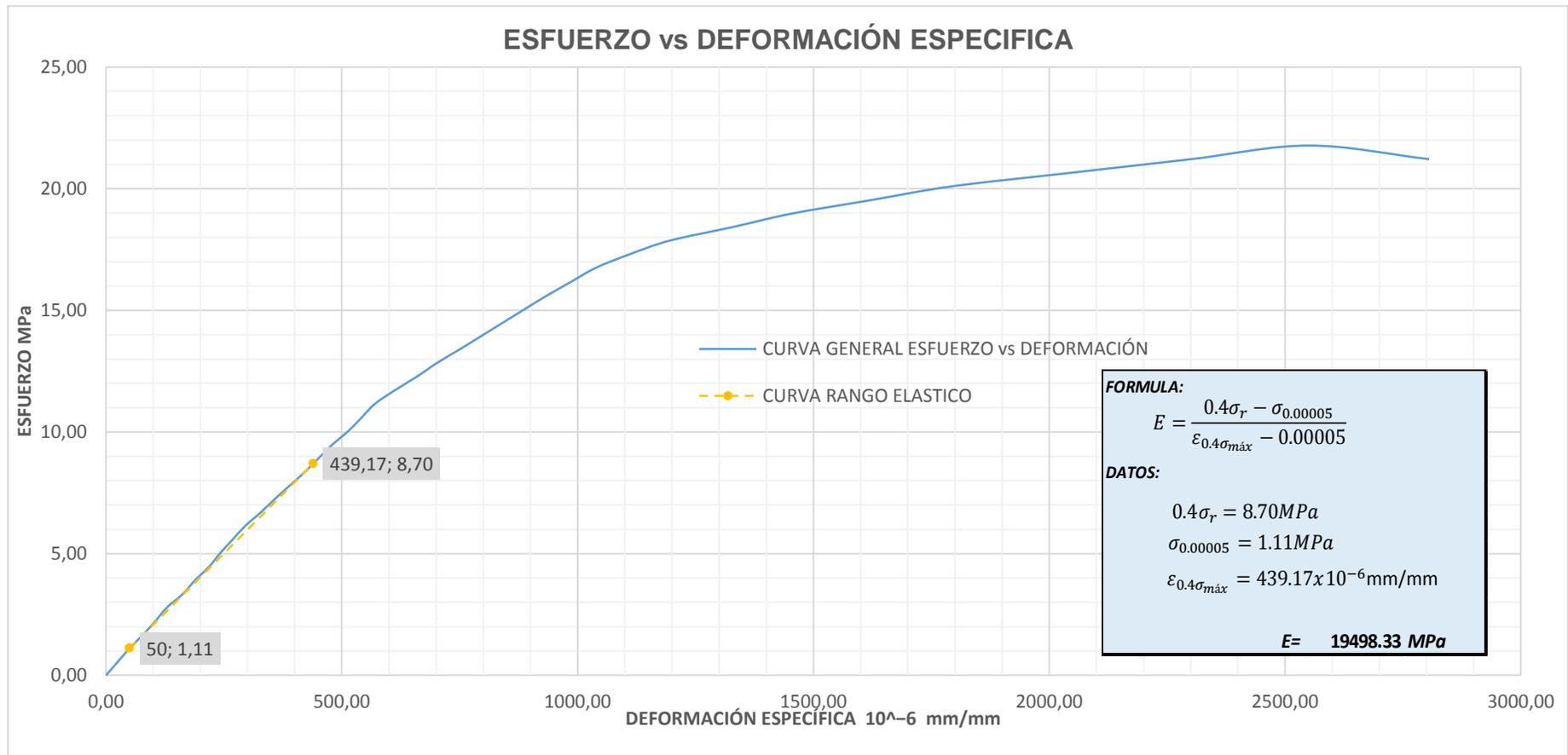


Figura 40.- Curva Esfuerzo vs Deformación Específica del Hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
 Elaborado por: Erika Guaño C.

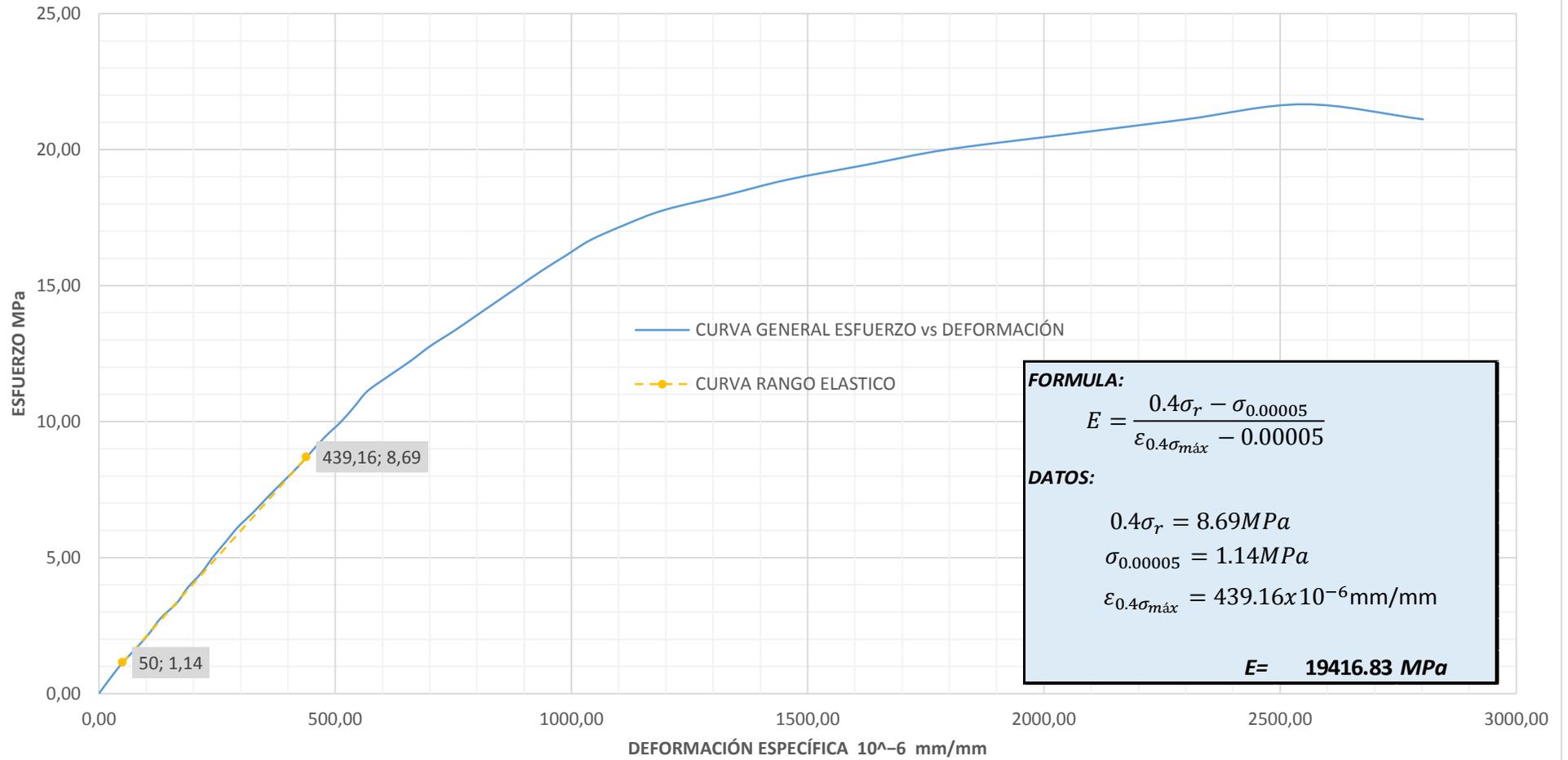
CILINDRO N° 2

Lo=	200.00	mm
Ø=	151.38	mm
L=	299.00	mm

Área=	17998.11	mm ²
Carga de Rotura=	391175.7	N
Esfuerzo Máximo=	21.73	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.69	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	9.38	0.56	23.45
3	20	2000	19.43	1.11	48.58
4	30	3000	31.49	1.67	78.73
5	40	4000	42.66	2.22	106.64
6	50	5000	52.36	2.78	130.90
7	60	6000	65.96	3.33	164.90
8	70	7000	75.03	3.89	187.57
9	80	8000	86.81	4.44	217.03
10	90	9000	96.18	5.00	240.46
11	100	10000	106.80	5.56	266.99
12	110	11000	117.41	6.11	293.53
13	120	12000	130.68	6.67	326.69
14	130	13000	142.75	7.22	356.87
15	140	14000	155.54	7.78	388.85
16	150	15000	168.33	8.33	420.83
17	160	16000	179.78	8.89	449.45
18	170	17000	191.50	9.45	478.74
19	180	18000	205.03	10.00	512.58
20	190	19000	216.31	10.56	540.77
21	200	20000	227.09	11.11	567.73
22	210	21000	244.93	11.67	612.33
23	220	22000	263.56	12.22	658.90
24	230	23000	280.49	12.78	701.23
25	240	24000	300.59	13.33	751.47
26	250	25000	319.21	13.89	798.03
27	260	26000	337.84	14.45	844.60
28	270	27000	356.47	15.00	891.17
29	280	28000	375.17	15.56	937.93
30	290	29000	395.49	16.11	988.73
31	300	30000	415.81	16.67	1039.53
32	310	31000	444.60	17.22	1111.50
33	320	32000	478.47	17.78	1196.17
34	330	33000	531.53	18.34	1328.83
35	340	34000	582.33	18.89	1455.83
36	350	35000	650.07	19.45	1625.17
37	360	36000	717.80	20.00	1794.50
38	370	37000	818.47	20.56	2046.17
39	380	38000	920.07	21.11	2300.17
40	390	39000	1019.97	21.67	2549.93
41	380	38000	1121.57	21.11	2803.93

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA



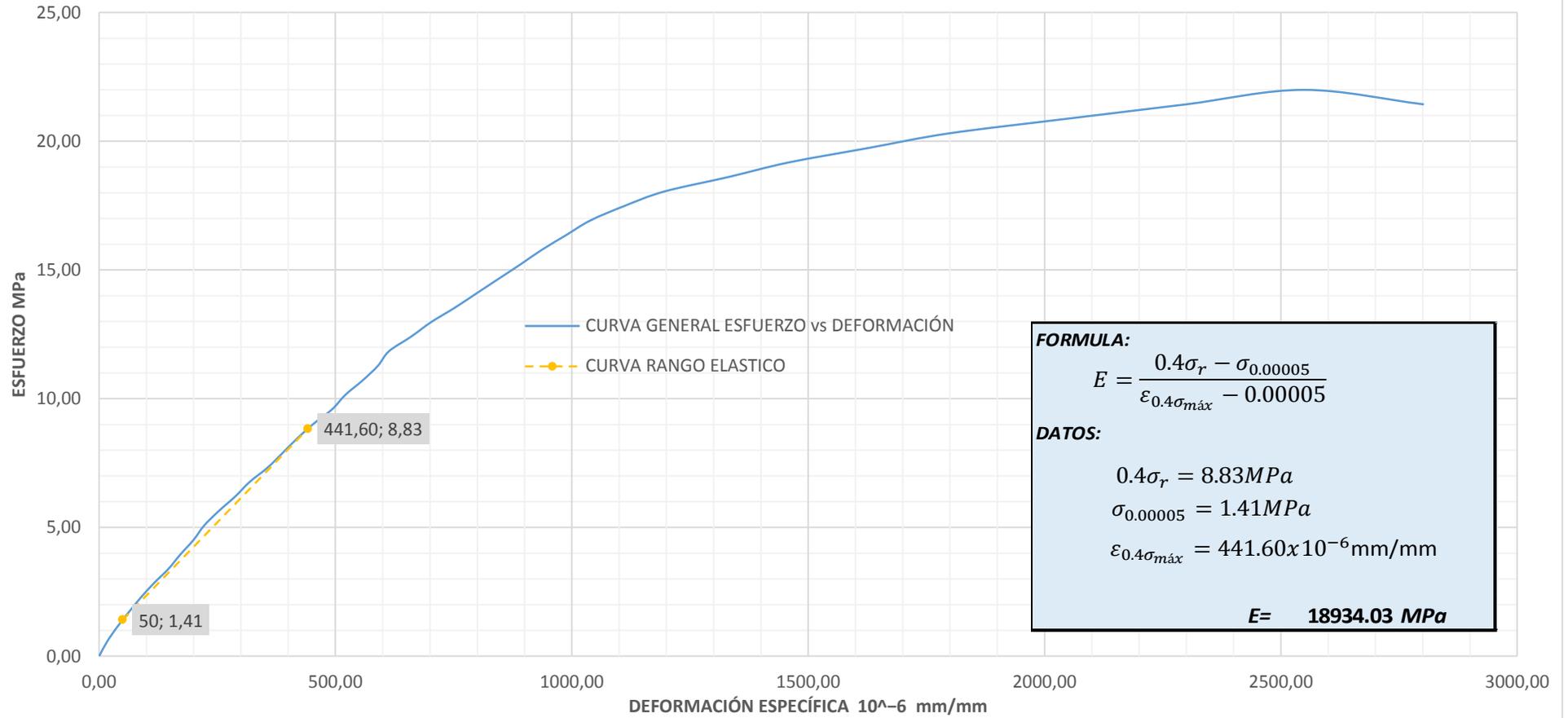
CILINDRO N° 3

Lo=	200.00	mm
Ø=	150.25	mm
L=	300.00	mm

Área=	17730.41	mm ²
Carga de Rotura=	391190.3	N
Esfuerzo Máximo=	22.06	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.83	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	6.70	0.56	16.75
3	20	2000	15.19	1.13	37.97
4	30	3000	24.79	1.69	61.98
5	40	4000	34.84	2.26	87.10
6	50	5000	46.01	2.82	115.03
7	60	6000	58.48	3.38	146.20
8	70	7000	68.68	3.95	171.70
9	80	8000	79.79	4.51	199.47
10	90	9000	88.89	5.08	222.22
11	100	10000	101.27	5.64	253.17
12	110	11000	115.20	6.20	288.00
13	120	12000	127.36	6.77	318.40
14	130	13000	142.75	7.33	356.87
15	140	14000	155.32	7.90	388.29
16	150	15000	167.66	8.46	419.15
17	160	16000	181.35	9.02	453.38
18	170	17000	197.14	9.59	492.84
19	180	18000	208.41	10.15	521.03
20	190	19000	223.07	10.72	557.69
21	200	20000	235.93	11.28	589.83
22	210	21000	245.27	11.84	613.17
23	220	22000	263.89	12.41	659.73
24	230	23000	280.83	12.97	702.07
25	240	24000	300.99	13.54	752.47
26	250	25000	319.61	14.10	799.03
27	260	26000	338.24	14.66	845.60
28	270	27000	356.87	15.23	892.17
29	280	28000	374.91	15.79	937.27
30	290	29000	395.23	16.36	988.07
31	300	30000	415.55	16.92	1038.87
32	310	31000	444.33	17.48	1110.83
33	320	32000	478.20	18.05	1195.50
34	330	33000	532.60	18.61	1331.50
35	340	34000	583.40	19.18	1458.50
36	350	35000	651.13	19.74	1627.83
37	360	36000	718.87	20.30	1797.17
38	370	37000	817.93	20.87	2044.83
39	380	38000	919.53	21.43	2298.83
40	390	39000	1019.44	22.00	2548.60
41	380	38000	1121.04	21.43	2802.60

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA



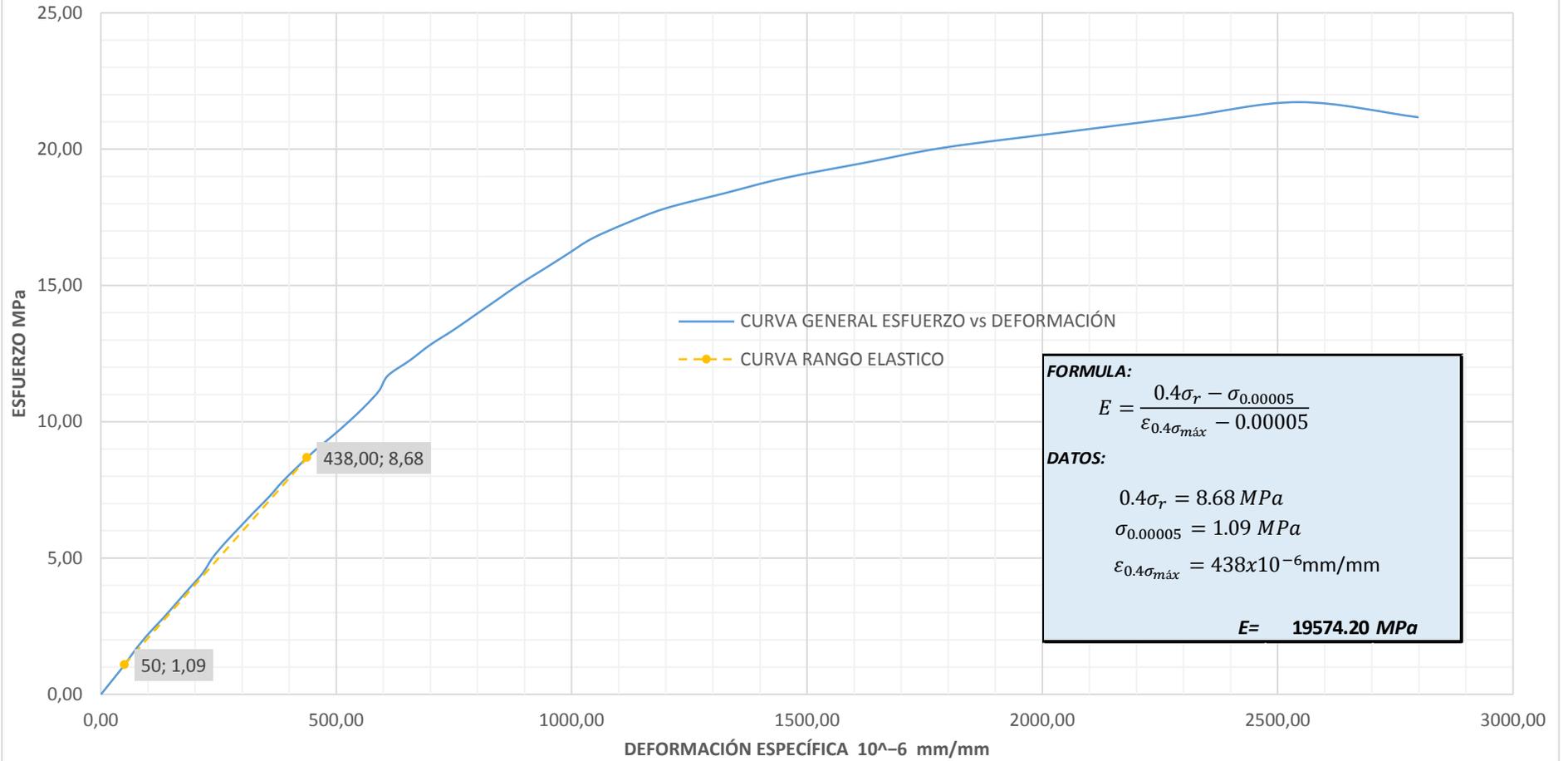
CILINDRO N° 4

Lo=	200.00	mm
Ø=	151.19	mm
L=	300.33	mm

Área=	17951.77	mm ²
Carga de Rotura=	389617.4	N
Esfuerzo Máximo=	21.70	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.68	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10-6mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	10.32	0.56	25.80
3	20	2000	20.50	1.11	51.26
4	30	3000	29.80	1.67	74.50
5	40	4000	40.47	2.23	101.17
6	50	5000	52.59	2.79	131.47
7	60	6000	63.92	3.34	159.80
8	70	7000	75.25	3.90	188.13
9	80	8000	86.59	4.46	216.47
10	90	9000	94.86	5.01	237.14
11	100	10000	105.69	5.57	264.23
12	110	11000	117.85	6.13	294.63
13	120	12000	130.01	6.68	325.03
14	130	13000	142.77	7.24	356.93
15	140	14000	154.09	7.80	385.21
16	150	15000	167.26	8.36	418.14
17	160	16000	180.90	8.91	452.26
18	170	17000	196.46	9.47	491.15
19	180	18000	211.12	10.03	527.80
20	190	19000	224.65	10.58	561.63
21	200	20000	236.38	11.14	590.96
22	210	21000	243.93	11.70	609.83
23	220	22000	262.56	12.26	656.40
24	230	23000	279.49	12.81	698.73
25	240	24000	299.65	13.37	749.13
26	250	25000	318.28	13.93	795.70
27	260	26000	336.91	14.48	842.27
28	270	27000	355.53	15.04	888.83
29	280	28000	376.24	15.60	940.60
30	290	29000	396.56	16.15	991.40
31	300	30000	416.88	16.71	1042.20
32	310	31000	445.67	17.27	1114.17
33	320	32000	479.53	17.83	1198.83
34	330	33000	529.93	18.38	1324.83
35	340	34000	580.73	18.94	1451.83
36	350	35000	648.47	19.50	1621.17
37	360	36000	716.20	20.05	1790.50
38	370	37000	816.60	20.61	2041.50
39	380	38000	918.20	21.17	2295.50
40	390	39000	1018.11	21.72	2545.27
41	380	38000	1119.71	21.17	2799.27

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA



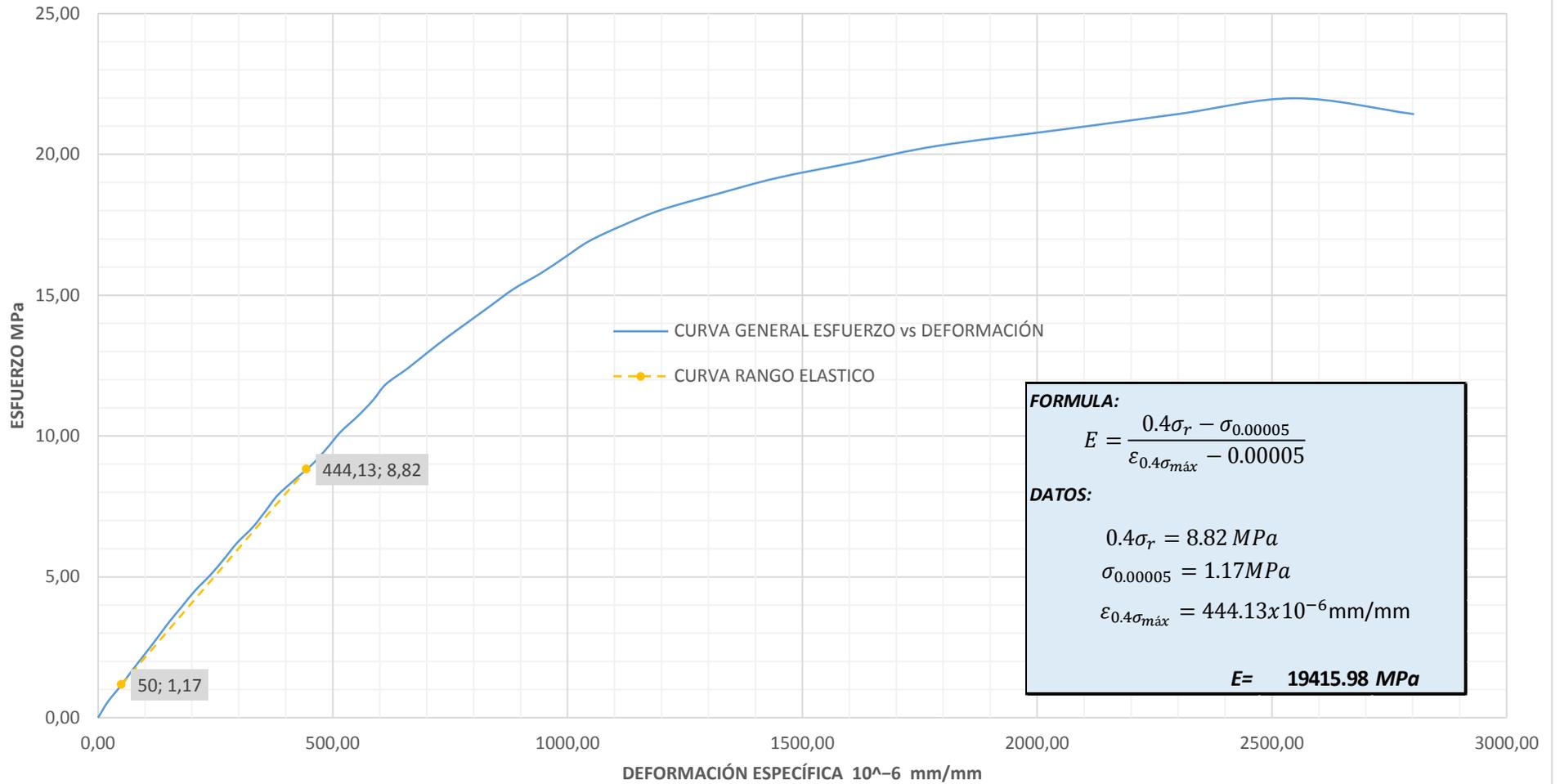
CILINDRO N° 5

Lo=	200.00	mm
Ø=	150.27	mm
L=	299.67	mm

Área=	17733.95	mm ²
Carga de Rotura=	391157.8	N
Esfuerzo Máximo=	22.06	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.82	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	8.36	0.56	20.90
3	20	2000	19.24	1.13	48.09
4	30	3000	29.32	1.69	73.30
5	40	4000	39.80	2.26	99.50
6	50	5000	50.25	2.82	125.63
7	60	6000	60.30	3.38	150.75
8	70	7000	71.47	3.95	178.67
9	80	8000	82.63	4.51	206.58
10	90	9000	95.88	5.08	239.70
11	100	10000	107.44	5.64	268.60
12	110	11000	118.32	6.20	295.80
13	120	12000	131.92	6.77	329.80
14	130	13000	142.55	7.33	356.38
15	140	14000	152.93	7.89	382.32
16	150	15000	167.81	8.46	419.53
17	160	16000	183.15	9.02	457.88
18	170	17000	195.39	9.59	488.47
19	180	18000	206.72	10.15	516.80
20	190	19000	221.45	10.71	553.63
21	200	20000	234.37	11.28	585.93
22	210	21000	245.27	11.84	613.17
23	220	22000	263.89	12.41	659.73
24	230	23000	280.83	12.97	702.07
25	240	24000	298.32	13.53	745.80
26	250	25000	316.95	14.10	792.37
27	260	26000	335.57	14.66	838.93
28	270	27000	354.20	15.23	885.50
29	280	28000	377.57	15.79	943.93
30	290	29000	397.89	16.35	994.73
31	300	30000	418.21	16.92	1045.53
32	310	31000	447.00	17.48	1117.50
33	320	32000	480.87	18.04	1202.17
34	330	33000	528.60	18.61	1321.50
35	340	34000	579.40	19.17	1448.50
36	350	35000	647.13	19.74	1617.83
37	360	36000	714.87	20.30	1787.17
38	370	37000	817.93	20.86	2044.83
39	380	38000	919.53	21.43	2298.83
40	390	39000	1019.44	21.99	2548.60
41	380	38000	1121.04	21.43	2802.60

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



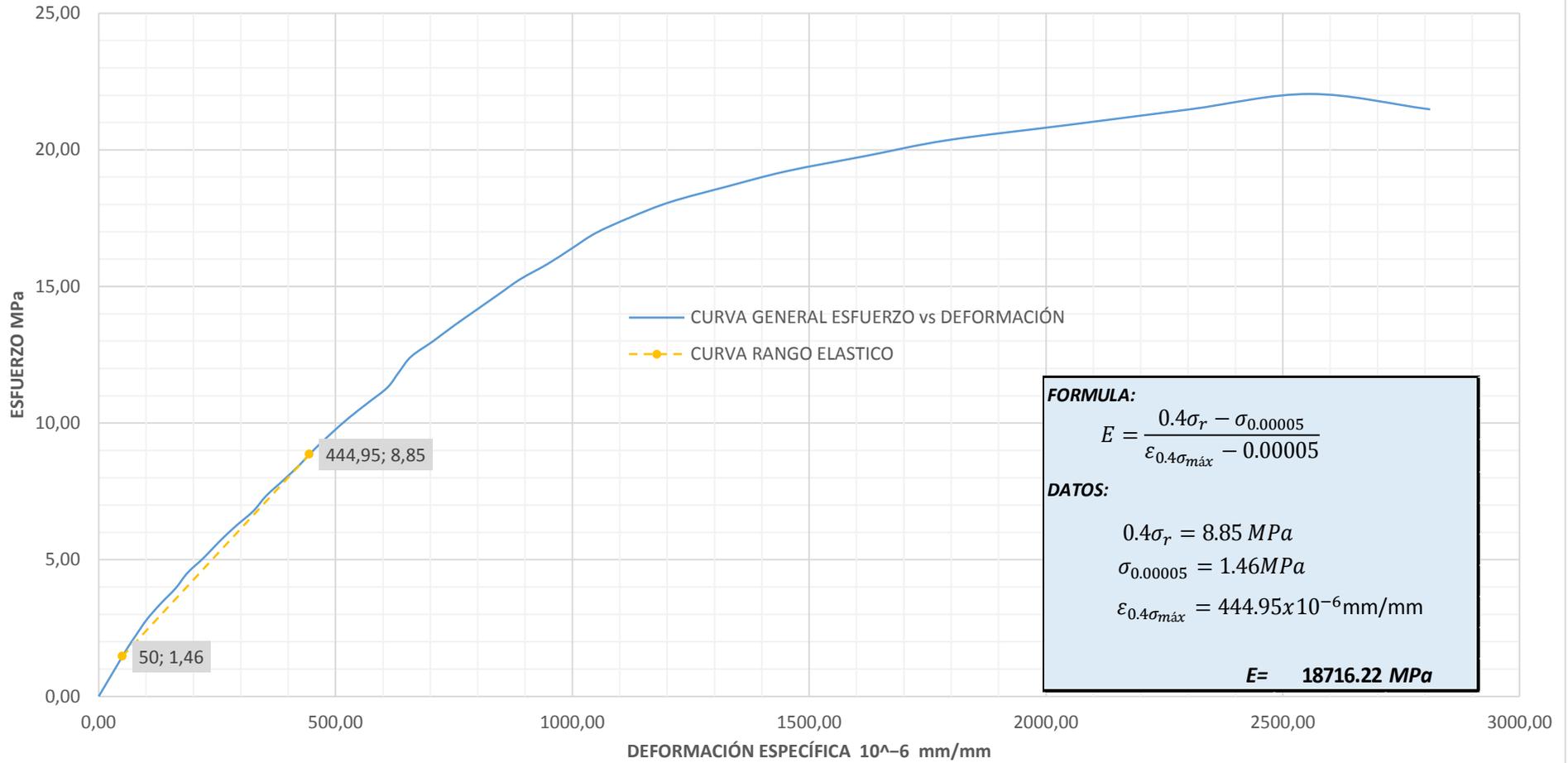
CILINDRO N° 6

Lo=	200.00	mm
Ø=	150.08	mm
L=	299.67	mm

Área=	17690.31	mm ²
Carga de Rotura=	391525.4	N
Esfuerzo Máximo=	22.13	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.85	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	7.74	0.57	19.35
3	20	2000	15.48	1.13	38.69
4	30	3000	23.22	1.70	58.04
5	40	4000	31.84	2.26	79.60
6	50	5000	40.88	2.83	102.19
7	60	6000	52.26	3.39	130.65
8	70	7000	64.98	3.96	162.44
9	80	8000	75.04	4.52	187.60
10	90	9000	89.08	5.09	222.70
11	100	10000	101.57	5.65	253.93
12	110	11000	115.43	6.22	288.57
13	120	12000	130.61	6.78	326.53
14	130	13000	141.65	7.35	354.12
15	140	14000	156.08	7.91	390.21
16	150	15000	169.84	8.48	424.61
17	160	16000	182.25	9.04	455.62
18	170	17000	196.07	9.61	490.17
19	180	18000	210.80	10.18	527.00
20	190	19000	227.35	10.74	568.37
21	200	20000	243.89	11.31	609.73
22	210	21000	253.63	11.87	634.07
23	220	22000	263.89	12.44	659.73
24	230	23000	282.52	13.00	706.30
25	240	24000	300.01	13.57	750.03
26	250	25000	318.64	14.13	796.60
27	260	26000	337.27	14.70	843.17
28	270	27000	355.89	15.26	889.73
29	280	28000	379.27	15.83	948.17
30	290	29000	399.59	16.39	998.97
31	300	30000	419.91	16.96	1049.77
32	310	31000	448.69	17.52	1121.73
33	320	32000	482.56	18.09	1206.40
34	330	33000	530.29	18.65	1325.73
35	340	34000	581.09	19.22	1452.73
36	350	35000	648.83	19.78	1622.07
37	360	36000	716.56	20.35	1791.40
38	370	37000	819.63	20.92	2049.07
39	380	38000	921.23	21.48	2303.07
40	390	39000	1022.83	22.05	2557.07
41	380	38000	1124.43	21.48	2811.07

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA



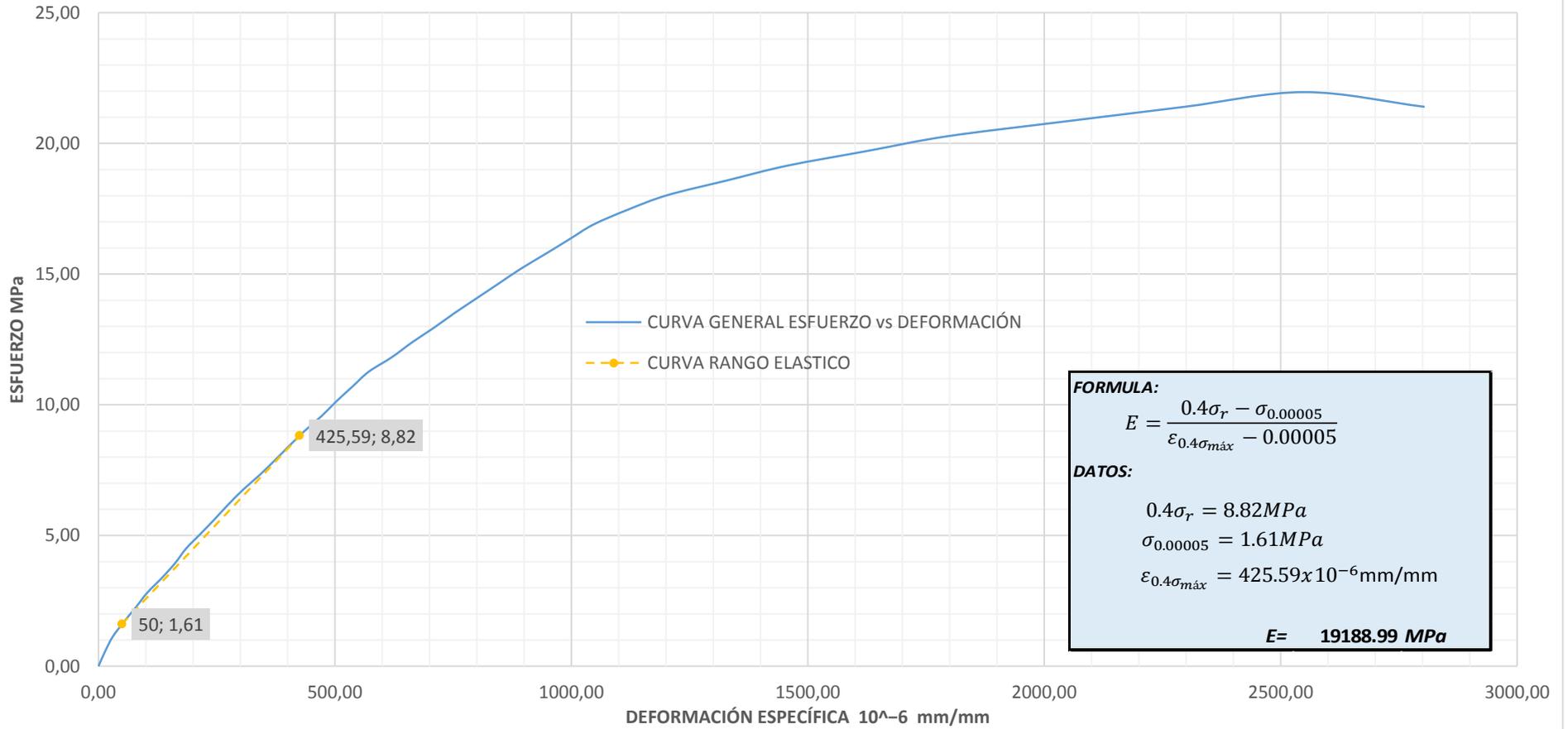
CILINDRO N° 7

Lo=	200.00	mm
Ø=	150.37	mm
L=	300.00	mm

Área=	17757.56	mm ²
Carga de Rotura=	391385.4	N
Esfuerzo Máximo=	22.04	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.82	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	5.56	0.56	13.89
3	20	2000	12.00	1.13	30.00
4	30	3000	21.33	1.69	53.33
5	40	4000	31.56	2.25	78.89
6	50	5000	41.32	2.82	103.29
7	60	6000	53.60	3.38	134.00
8	70	7000	64.77	3.94	161.92
9	80	8000	74.15	4.51	185.37
10	90	9000	86.36	5.07	215.90
11	100	10000	98.37	5.63	245.93
12	110	11000	109.93	6.19	274.83
13	120	12000	122.40	6.76	306.00
14	130	13000	136.46	7.32	341.15
15	140	14000	149.32	7.88	373.29
16	150	15000	161.72	8.45	404.31
17	160	16000	174.58	9.01	436.45
18	170	17000	188.81	9.57	472.03
19	180	18000	201.28	10.14	503.20
20	190	19000	214.88	10.70	537.20
21	200	20000	228.48	11.26	571.20
22	210	21000	248.29	11.83	620.73
23	220	22000	265.23	12.39	663.07
24	230	23000	283.85	12.95	709.63
25	240	24000	301.35	13.52	753.37
26	250	25000	319.97	14.08	799.93
27	260	26000	338.60	14.64	846.50
28	270	27000	357.23	15.20	893.07
29	280	28000	377.93	15.77	944.83
30	290	29000	398.25	16.33	995.63
31	300	30000	418.57	16.89	1046.43
32	310	31000	447.36	17.46	1118.40
33	320	32000	481.23	18.02	1203.07
34	330	33000	531.63	18.58	1329.07
35	340	34000	582.43	19.15	1456.07
36	350	35000	650.16	19.71	1625.40
37	360	36000	717.89	20.27	1794.73
38	370	37000	816.96	20.84	2042.40
39	380	38000	918.56	21.40	2296.40
40	390	39000	1020.16	21.96	2550.40
41	380	38000	1121.76	21.40	2804.40

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



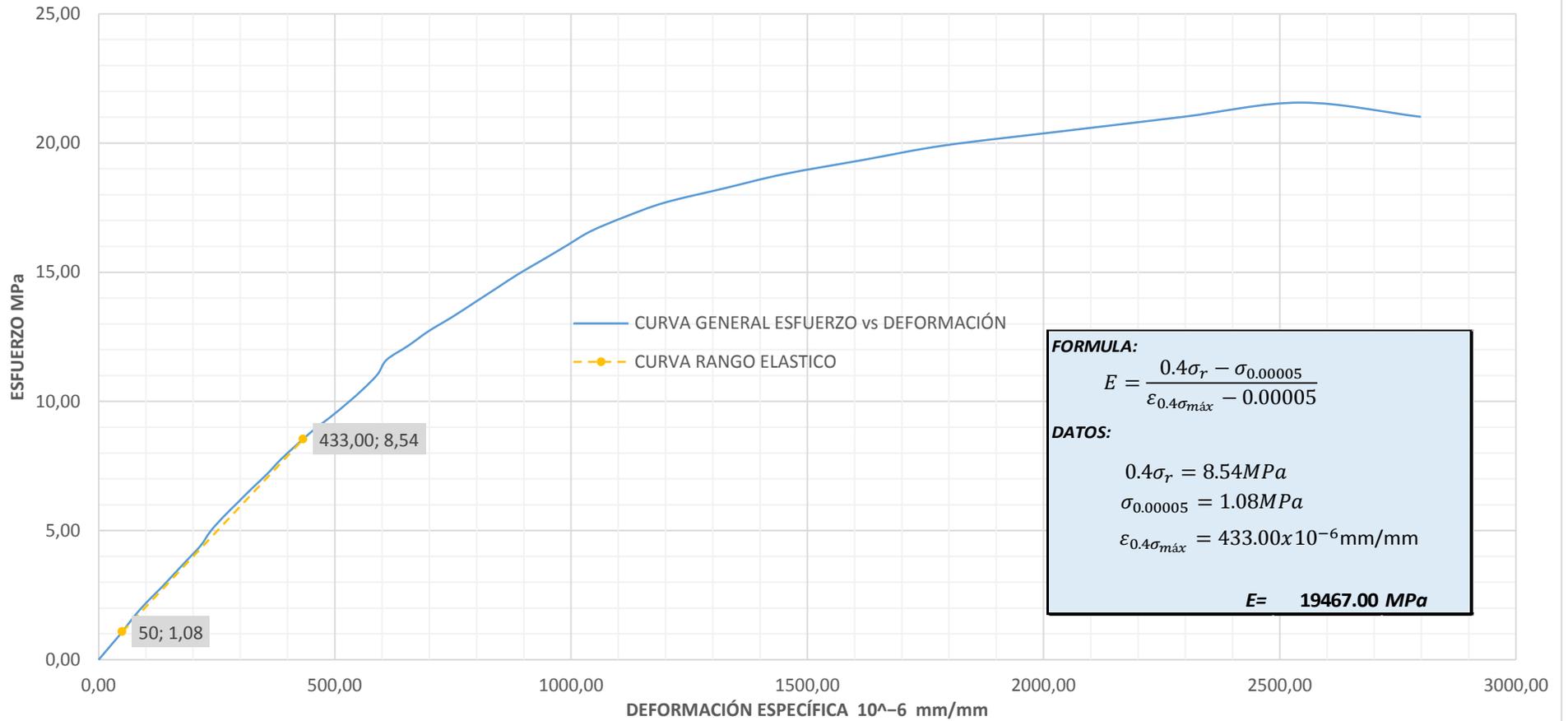
CILINDRO N° 8

Lo=	200.00	mm
Ø=	151.74	mm
L=	300.00	mm

Área=	18083.81	mm ²
Carga de Rotura=	385918.5	N
Esfuerzo Máximo=	21.34	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.54	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	10.29	0.55	25.72
3	20	2000	20.47	1.11	51.18
4	30	3000	29.77	1.66	74.43
5	40	4000	40.44	2.21	101.09
6	50	5000	52.50	2.76	131.26
7	60	6000	63.84	3.32	159.59
8	70	7000	75.17	3.87	187.92
9	80	8000	86.50	4.42	216.26
10	90	9000	94.77	4.98	236.93
11	100	10000	105.61	5.53	264.02
12	110	11000	117.74	6.08	294.36
13	120	12000	129.90	6.64	324.76
14	130	13000	142.66	7.19	356.66
15	140	14000	153.98	7.74	384.94
16	150	15000	167.15	8.29	417.87
17	160	16000	180.79	8.85	451.98
18	170	17000	196.44	9.40	491.11
19	180	18000	211.10	9.95	527.76
20	190	19000	224.64	10.51	561.59
21	200	20000	236.37	11.06	590.92
22	210	21000	243.92	11.61	609.79
23	220	22000	262.45	12.17	656.12
24	230	23000	279.38	12.72	698.45
25	240	24000	299.54	13.27	748.85
26	250	25000	318.17	13.82	795.42
27	260	26000	336.79	14.38	841.99
28	270	27000	355.40	14.93	888.50
29	280	28000	376.11	15.48	940.27
30	290	29000	396.43	16.04	991.07
31	300	30000	416.75	16.59	1041.87
32	310	31000	445.53	17.14	1113.83
33	320	32000	479.40	17.70	1198.50
34	330	33000	529.80	18.25	1324.50
35	340	34000	580.60	18.80	1451.50
36	350	35000	648.33	19.35	1620.83
37	360	36000	716.07	19.91	1790.17
38	370	37000	816.47	20.46	2041.17
39	380	38000	918.07	21.01	2295.17
40	390	39000	1017.97	21.57	2544.93
41	380	38000	1119.57	21.01	2798.93

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



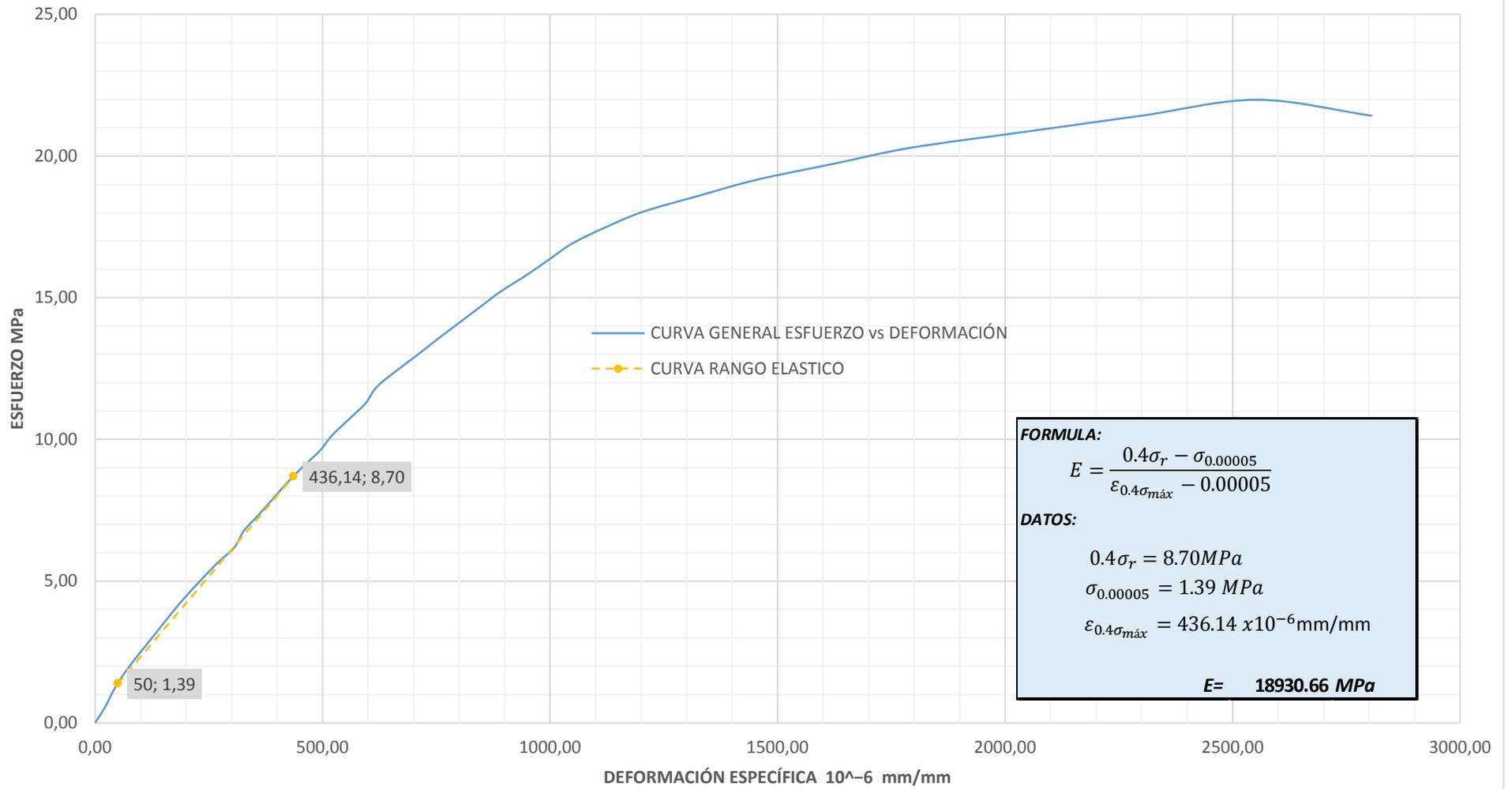
CILINDRO N° 9

Lo=	200.00	mm
Ø=	150.29	mm
L=	299.33	mm

Área=	17739.85	mm ²
Carga de Rotura=	385731	N
Esfuerzo Máximo=	21.74	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.70	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	8.89	0.56	22.22
3	20	2000	16.00	1.13	40.00
4	30	3000	24.67	1.69	61.67
5	40	4000	35.11	2.25	87.78
6	50	5000	46.45	2.82	116.13
7	60	6000	57.62	3.38	144.05
8	70	7000	68.79	3.95	171.97
9	80	8000	80.85	4.51	202.12
10	90	9000	93.84	5.07	234.60
11	100	10000	107.44	5.64	268.60
12	110	11000	122.63	6.20	306.57
13	120	12000	130.56	6.76	326.40
14	130	13000	143.45	7.33	358.63
15	140	14000	156.08	7.89	390.21
16	150	15000	168.49	8.46	421.23
17	160	16000	182.25	9.02	455.62
18	170	17000	197.14	9.58	492.84
19	180	18000	208.41	10.15	521.03
20	190	19000	223.07	10.71	557.69
21	200	20000	237.74	11.27	594.34
22	210	21000	247.25	11.84	618.13
23	220	22000	264.19	12.40	660.47
24	230	23000	282.81	12.97	707.03
25	240	24000	300.68	13.53	751.70
26	250	25000	319.31	14.09	798.27
27	260	26000	337.93	14.66	844.83
28	270	27000	356.56	15.22	891.40
29	280	28000	378.73	15.78	946.83
30	290	29000	399.05	16.35	997.63
31	300	30000	419.37	16.91	1048.43
32	310	31000	448.16	17.47	1120.40
33	320	32000	482.03	18.04	1205.07
34	330	33000	531.09	18.60	1327.73
35	340	34000	581.89	19.17	1454.73
36	350	35000	649.63	19.73	1624.07
37	360	36000	717.36	20.29	1793.40
38	370	37000	818.03	20.86	2045.07
39	380	38000	919.63	21.42	2299.07
40	390	39000	1021.23	21.98	2553.07
41	380	38000	1122.83	21.42	2807.07

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



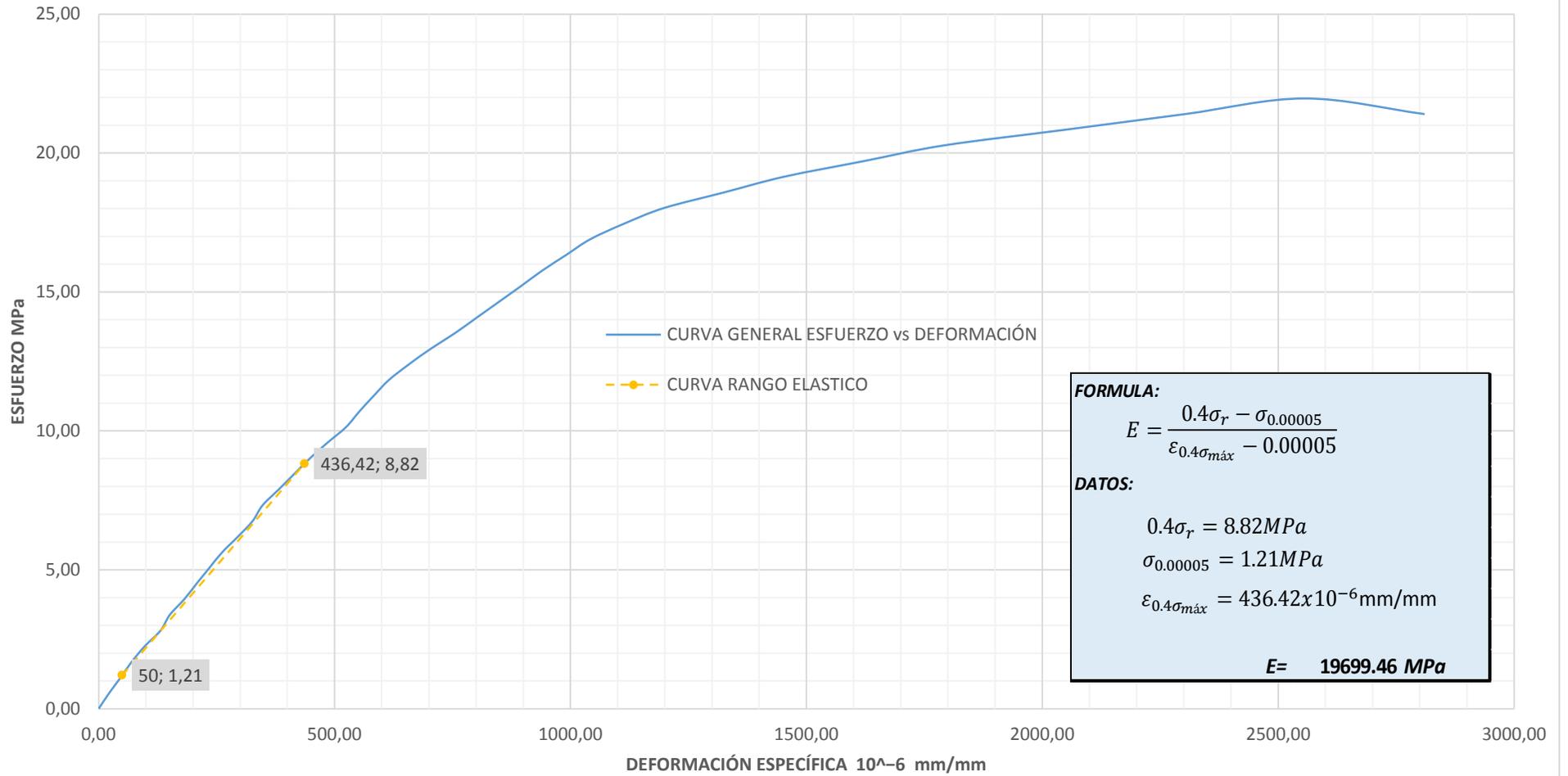
CILINDRO N° 10

Lo=	200.00	mm
Ø=	150.36	mm
L=	299.33	mm

Área=	17755.20	mm ²
Carga de Rotura=	391463.9	N
Esfuerzo Máximo=	22.05	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.82	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	8.89	0.56	22.22
3	20	2000	18.67	1.13	46.67
4	30	3000	28.00	1.69	70.00
5	40	4000	39.11	2.25	97.78
6	50	5000	52.48	2.82	131.21
7	60	6000	60.30	3.38	150.75
8	70	7000	72.58	3.94	181.46
9	80	8000	83.08	4.51	207.70
10	90	9000	93.84	5.07	234.60
11	100	10000	104.72	5.63	261.80
12	110	11000	118.09	6.20	295.23
13	120	12000	130.56	6.76	326.40
14	130	13000	138.94	7.32	347.36
15	140	14000	152.48	7.89	381.19
16	150	15000	165.78	8.45	414.46
17	160	16000	179.09	9.01	447.73
18	170	17000	193.98	9.57	484.94
19	180	18000	209.77	10.14	524.42
20	190	19000	221.04	10.70	552.61
21	200	20000	233.22	11.26	583.06
22	210	21000	245.92	11.83	614.80
23	220	22000	262.85	12.39	657.13
24	230	23000	281.48	12.95	703.70
25	240	24000	302.01	13.52	755.03
26	250	25000	320.64	14.08	801.60
27	260	26000	339.27	14.64	848.17
28	270	27000	357.89	15.21	894.73
29	280	28000	376.07	15.77	940.17
30	290	29000	396.39	16.33	990.97
31	300	30000	416.71	16.90	1041.77
32	310	31000	445.49	17.46	1113.73
33	320	32000	479.36	18.02	1198.40
34	330	33000	530.41	18.59	1326.03
35	340	34000	581.21	19.15	1453.03
36	350	35000	648.95	19.71	1622.37
37	360	36000	716.68	20.28	1791.70
38	370	37000	819.36	20.84	2048.40
39	380	38000	920.96	21.40	2302.40
40	390	39000	1022.56	21.97	2556.40
41	380	38000	1124.16	21.40	2810.40

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



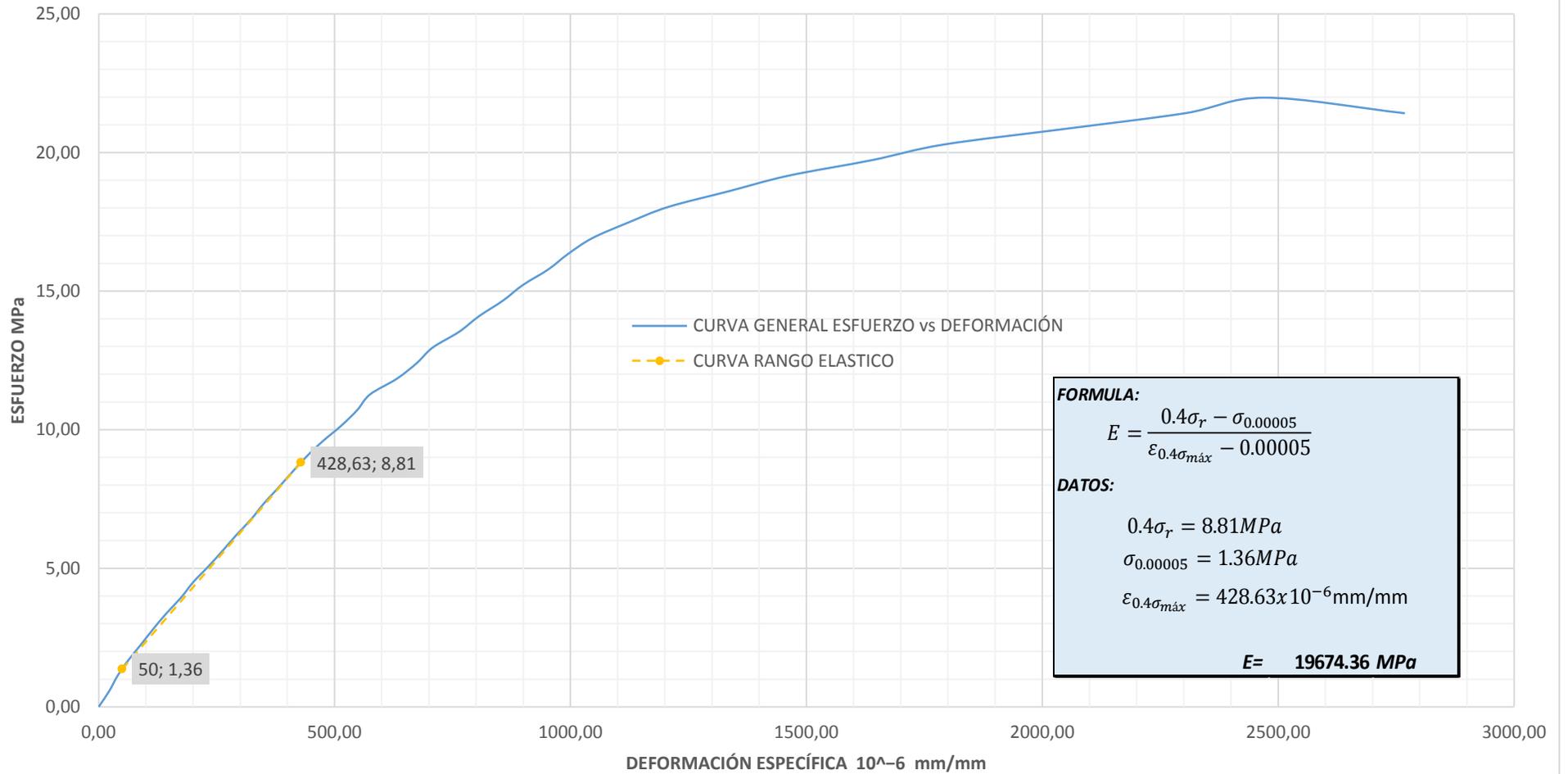
CILINDRO N° 11

Lo=	200.00	mm
Ø=	150.31	mm
L=	301.00	mm

Área=	17743.40	mm ²
Carga de Rotura=	390943.2	N
Esfuerzo Máximo=	22.03	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.81	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	8.89	0.56	22.22
3	20	2000	16.13	1.13	40.33
4	30	3000	25.33	1.69	63.33
5	40	4000	36.00	2.25	90.00
6	50	5000	46.45	2.82	116.13
7	60	6000	57.62	3.38	144.05
8	70	7000	69.90	3.95	174.76
9	80	8000	80.40	4.51	201.00
10	90	9000	93.16	5.07	232.90
11	100	10000	105.17	5.64	262.93
12	110	11000	116.73	6.20	291.83
13	120	12000	129.20	6.76	323.00
14	130	13000	139.84	7.33	349.61
15	140	14000	152.02	7.89	380.06
16	150	15000	163.75	8.45	409.38
17	160	16000	175.93	9.02	439.83
18	170	17000	189.92	9.58	474.79
19	180	18000	205.71	10.14	514.27
20	190	19000	219.24	10.71	548.10
21	200	20000	230.07	11.27	575.17
22	210	21000	252.69	11.84	631.73
23	220	22000	269.63	12.40	674.07
24	230	23000	283.17	12.96	707.93
25	240	24000	305.40	13.53	763.50
26	250	25000	322.33	14.09	805.83
27	260	26000	342.65	14.65	856.63
28	270	27000	359.59	15.22	898.97
29	280	28000	381.15	15.78	952.87
30	290	29000	398.08	16.34	995.20
31	300	30000	418.40	16.91	1046.00
32	310	31000	448.88	17.47	1122.20
33	320	32000	482.75	18.03	1206.87
34	330	33000	533.80	18.60	1334.50
35	340	34000	584.60	19.16	1461.50
36	350	35000	655.72	19.73	1639.30
37	360	36000	716.68	20.29	1791.70
38	370	37000	819.36	20.85	2048.40
39	380	38000	920.96	21.42	2302.40
40	390	39000	988.69	21.98	2471.73
41	380	38000	1107.39	21.42	2768.47

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



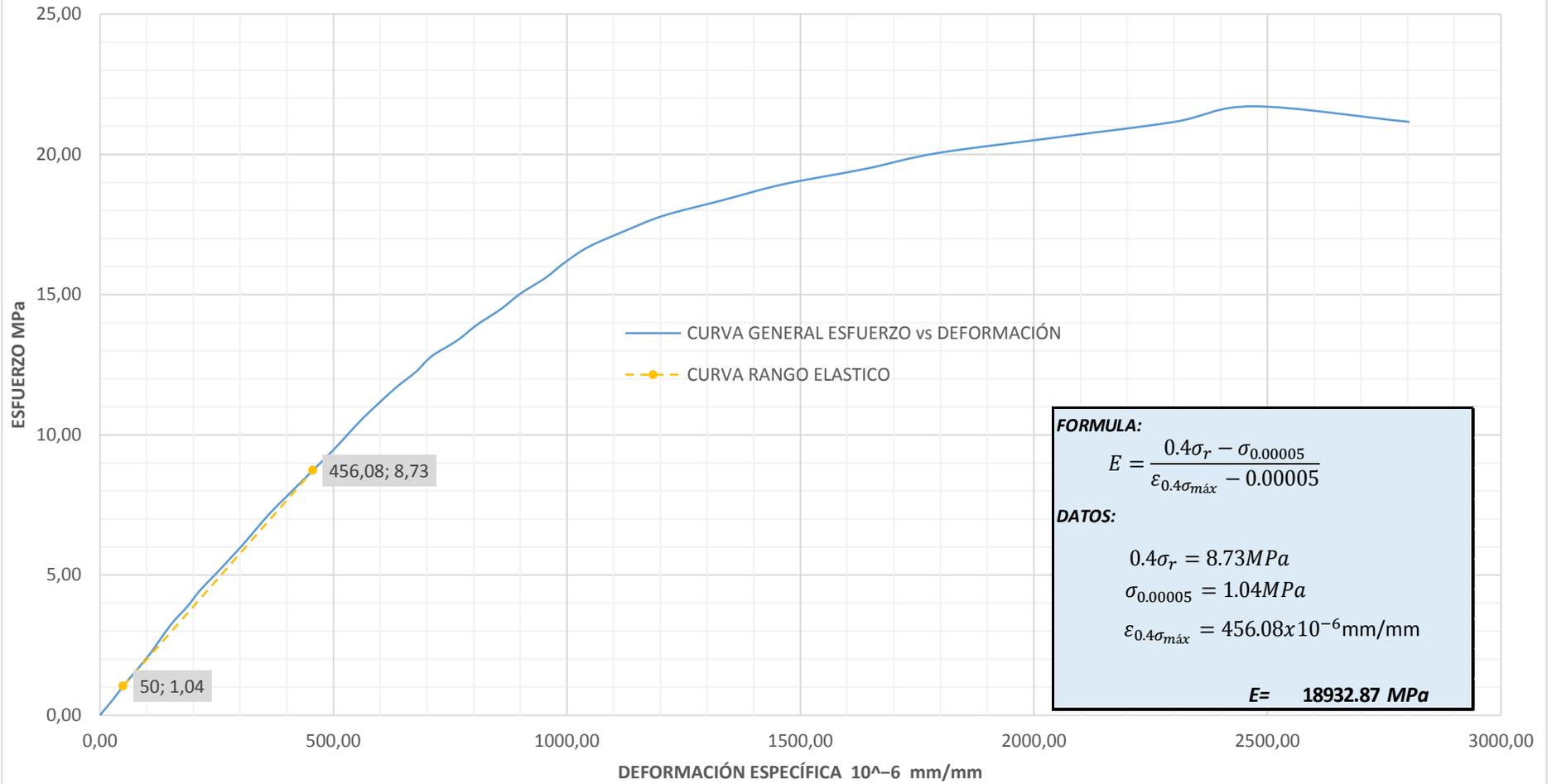
CILINDRO N° 12

Lo=	200.00	mm
Ø=	151.23	mm
L=	299.00	mm

Área=	17961.27	mm ²
Carga de Rotura=	391966.2	N
Esfuerzo Máximo=	21.82	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.73	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	11.11	0.56	27.78
3	20	2000	21.33	1.11	53.33
4	30	3000	32.67	1.67	81.67
5	40	4000	43.56	2.23	108.89
6	50	5000	52.93	2.78	132.33
7	60	6000	62.98	3.34	157.45
8	70	7000	75.26	3.90	188.16
9	80	8000	85.76	4.45	214.40
10	90	9000	98.60	5.01	246.50
11	100	10000	111.07	5.57	277.67
12	110	11000	123.31	6.12	308.27
13	120	12000	134.64	6.68	336.60
14	130	13000	146.39	7.24	365.96
15	140	14000	159.69	7.79	399.23
16	150	15000	173.23	8.35	433.07
17	160	16000	186.76	8.91	466.90
18	170	17000	200.07	9.46	500.17
19	180	18000	212.47	10.02	531.18
20	190	19000	224.88	10.58	562.20
21	200	20000	239.09	11.14	597.72
22	210	21000	253.76	11.69	634.40
23	220	22000	270.69	12.25	676.73
24	230	23000	284.24	12.81	710.60
25	240	24000	305.93	13.36	764.83
26	250	25000	322.87	13.92	807.17
27	260	26000	343.19	14.48	857.97
28	270	27000	360.12	15.03	900.30
29	280	28000	381.32	15.59	953.30
30	290	29000	398.25	16.15	995.63
31	300	30000	418.57	16.70	1046.43
32	310	31000	449.05	17.26	1122.63
33	320	32000	482.92	17.82	1207.30
34	330	33000	534.07	18.37	1335.17
35	340	34000	584.87	18.93	1462.17
36	350	35000	655.99	19.49	1639.97
37	360	36000	716.95	20.04	1792.37
38	370	37000	818.43	20.60	2046.07
39	380	38000	920.03	21.16	2300.07
40	390	39000	987.76	21.71	2469.40
41	380	38000	1121.67	21.16	2804.17

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



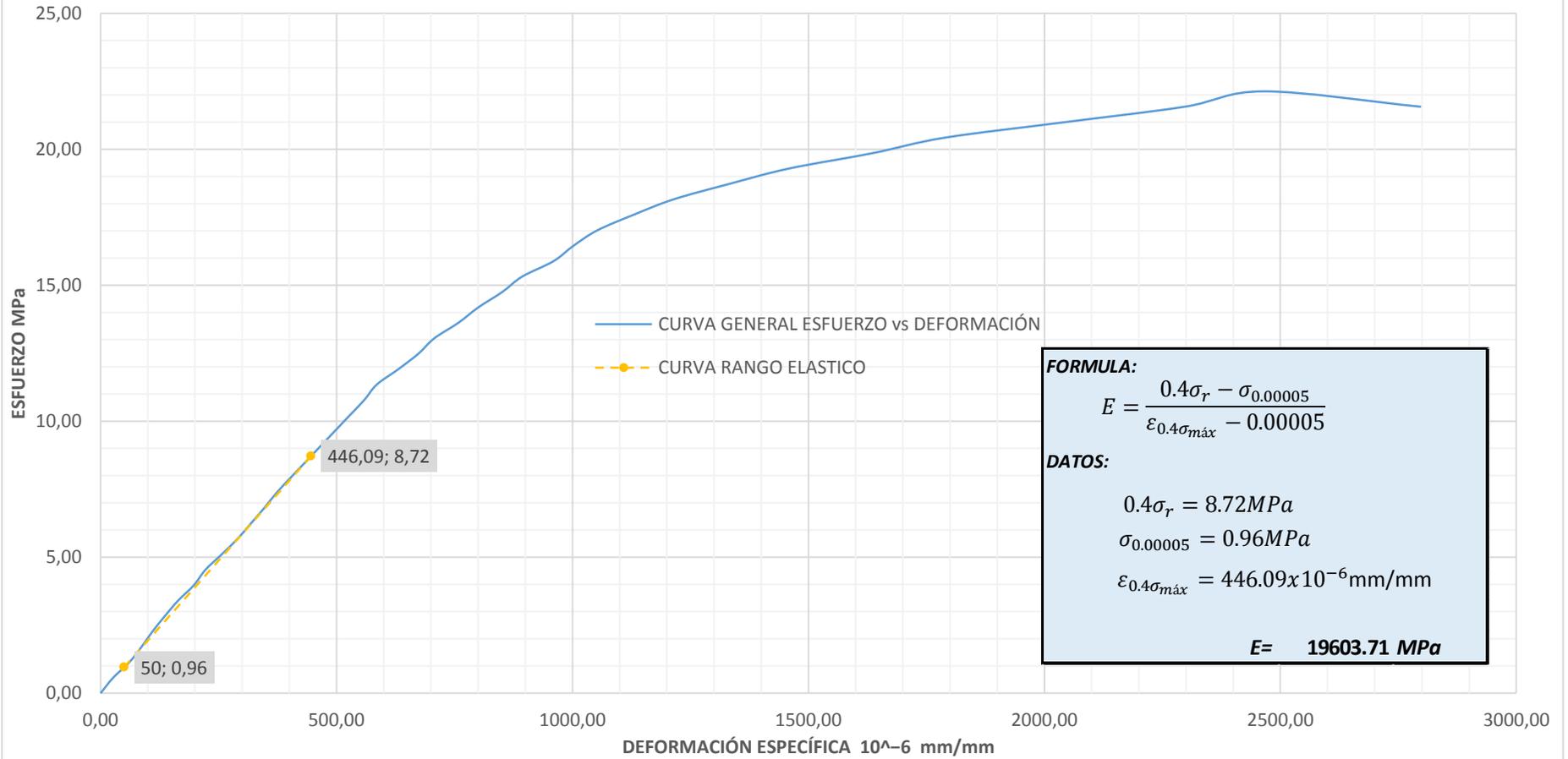
CILINDRO N° 13

Lo=	200.00	mm
Ø=	149.79	mm
L=	299.33	mm

Área=	17620.84	mm ²
Carga de Rotura=	384192.9	N
Esfuerzo Máximo=	21.80	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.72	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	10.59	0.57	26.47
3	20	2000	24.32	1.14	60.80
4	30	3000	34.67	1.70	86.67
5	40	4000	44.00	2.27	110.00
6	50	5000	54.49	2.84	136.23
7	60	6000	65.66	3.41	164.15
8	70	7000	79.06	3.97	197.65
9	80	8000	88.89	4.54	222.22
10	90	9000	102.68	5.11	256.70
11	100	10000	116.05	5.68	290.13
12	110	11000	127.39	6.24	318.47
13	120	12000	138.72	6.81	346.80
14	130	13000	149.32	7.38	373.29
15	140	14000	161.50	7.95	403.74
16	150	15000	173.90	8.51	434.76
17	160	16000	186.31	9.08	465.77
18	170	17000	198.71	9.65	496.79
19	180	18000	211.12	10.22	527.80
20	190	19000	223.53	10.78	558.81
21	200	20000	234.13	11.35	585.32
22	210	21000	252.43	11.92	631.07
23	220	22000	269.36	12.49	673.40
24	230	23000	282.91	13.05	707.27
25	240	24000	303.23	13.62	758.07
26	250	25000	320.16	14.19	800.40
27	260	26000	340.48	14.76	851.20
28	270	27000	357.41	15.32	893.53
29	280	28000	383.99	15.89	959.97
30	290	29000	400.92	16.46	1002.30
31	300	30000	421.24	17.03	1053.10
32	310	31000	451.72	17.59	1129.30
33	320	32000	485.59	18.16	1213.97
34	330	33000	532.73	18.73	1331.83
35	340	34000	583.53	19.30	1458.83
36	350	35000	654.65	19.86	1636.63
37	360	36000	715.61	20.43	1789.03
38	370	37000	817.09	21.00	2042.73
39	380	38000	918.69	21.57	2296.73
40	390	39000	986.43	22.13	2466.07
41	380	38000	1119.24	21.57	2798.10

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



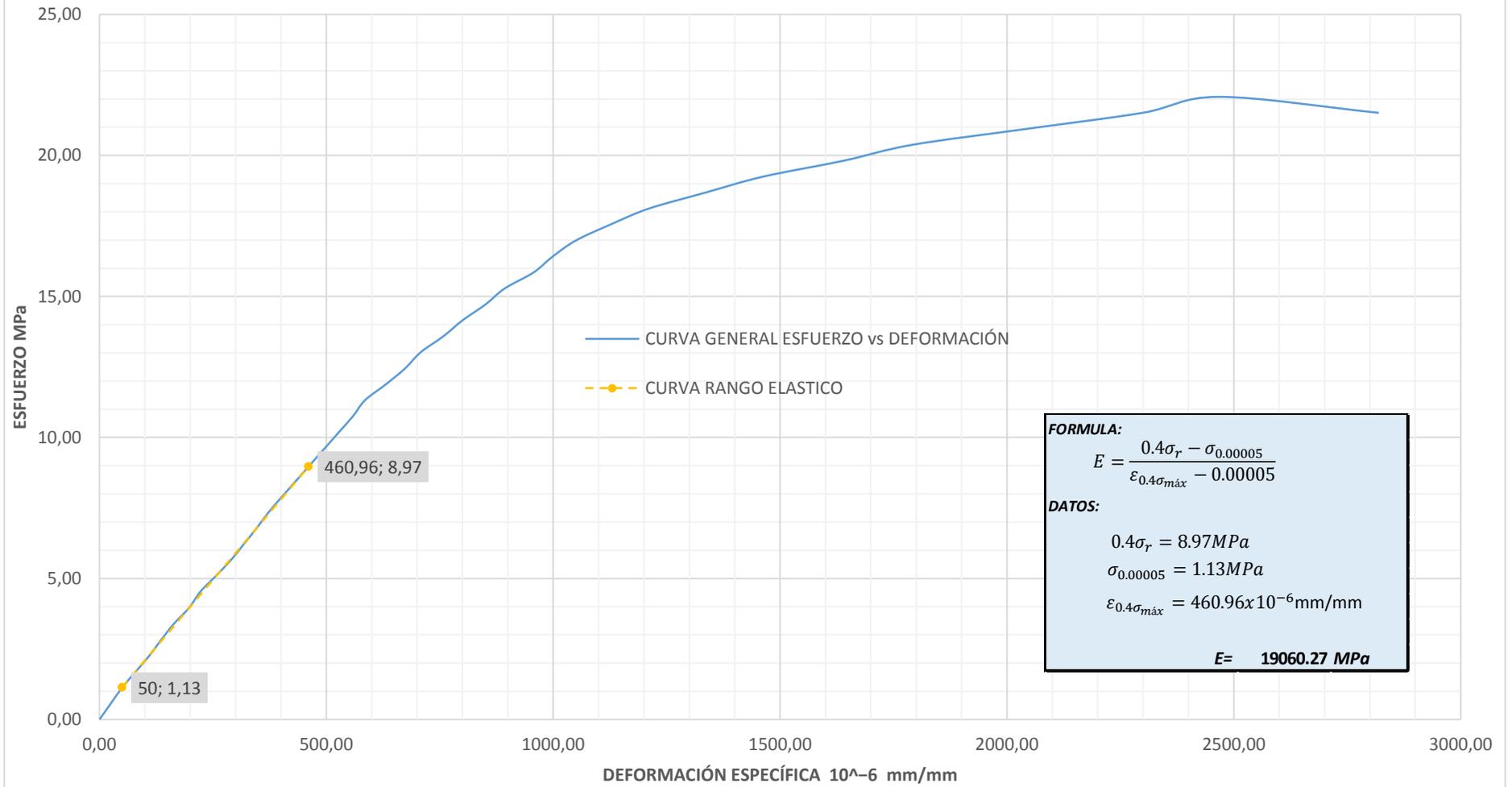
CILINDRO N° 14

Lo=	200.00	mm
Ø=	149.97	mm
L=	300.00	mm

Área=	17664.39	mm ²
Carga de Rotura=	395916.5	N
Esfuerzo Máximo=	22.41	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.97	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	10.00	0.57	25.00
3	20	2000	20.00	1.13	50.00
4	30	3000	32.00	1.70	80.00
5	40	4000	44.00	2.26	110.00
6	50	5000	54.49	2.83	136.23
7	60	6000	65.66	3.40	164.15
8	70	7000	79.06	3.96	197.65
9	80	8000	88.89	4.53	222.22
10	90	9000	102.68	5.09	256.70
11	100	10000	116.05	5.66	290.13
12	110	11000	127.39	6.23	318.47
13	120	12000	138.72	6.79	346.80
14	130	13000	149.32	7.36	373.29
15	140	14000	161.50	7.93	403.74
16	150	15000	173.90	8.49	434.76
17	160	16000	186.31	9.06	465.77
18	170	17000	198.71	9.62	496.79
19	180	18000	211.12	10.19	527.80
20	190	19000	223.53	10.76	558.81
21	200	20000	234.13	11.32	585.32
22	210	21000	252.63	11.89	631.57
23	220	22000	269.56	12.45	673.90
24	230	23000	283.11	13.02	707.77
25	240	24000	303.11	13.59	757.77
26	250	25000	320.04	14.15	800.10
27	260	26000	340.36	14.72	850.90
28	270	27000	357.29	15.28	893.23
29	280	28000	382.65	15.85	956.63
30	290	29000	399.59	16.42	998.97
31	300	30000	419.91	16.98	1049.77
32	310	31000	450.39	17.55	1125.97
33	320	32000	484.25	18.12	1210.63
34	330	33000	534.07	18.68	1335.17
35	340	34000	584.87	19.25	1462.17
36	350	35000	655.99	19.81	1639.97
37	360	36000	716.95	20.38	1792.37
38	370	37000	818.03	20.95	2045.07
39	380	38000	919.63	21.51	2299.07
40	390	39000	987.36	22.08	2468.40
41	380	38000	1127.71	21.51	2819.27

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



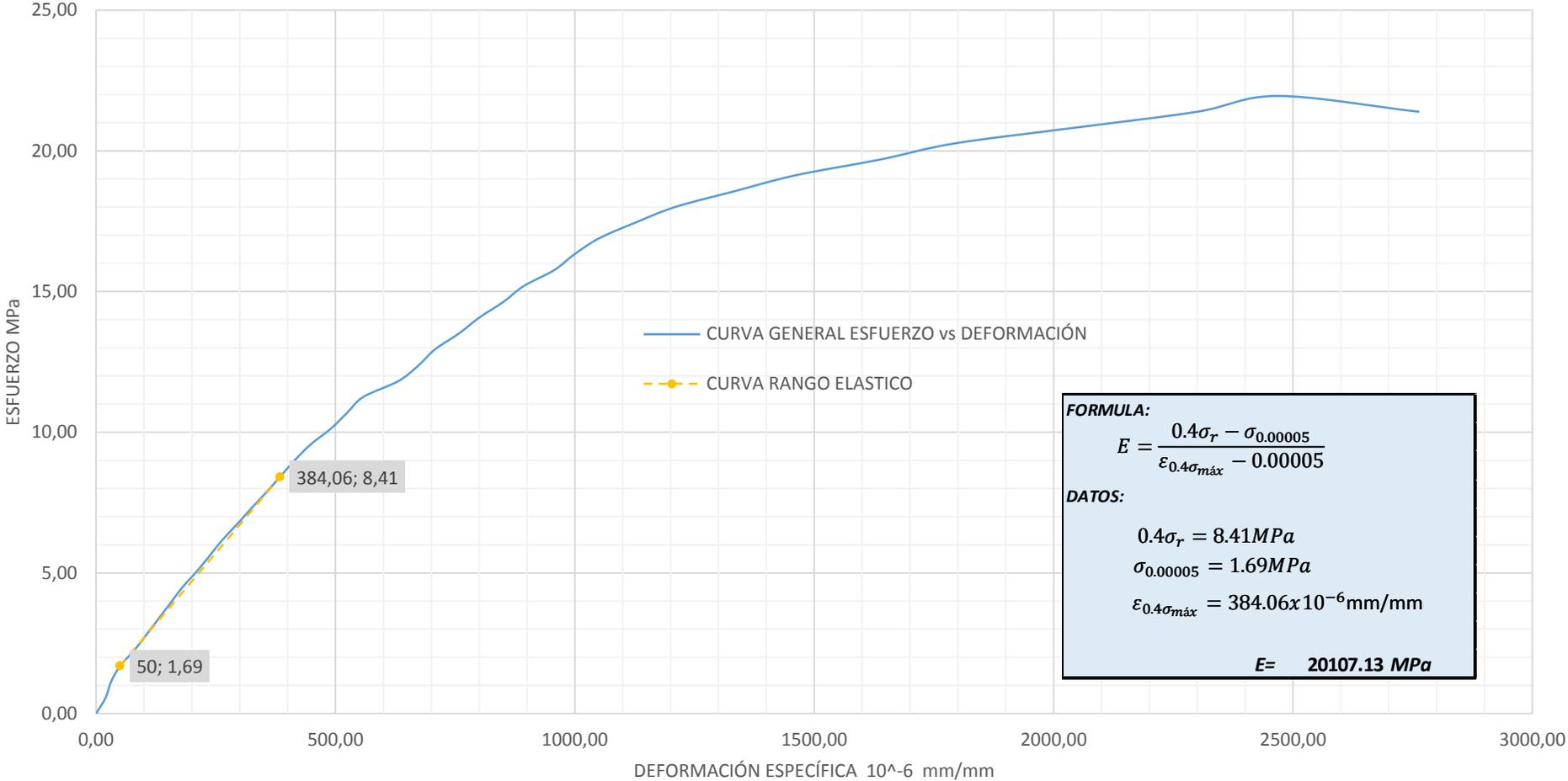
CILINDRO N° 15

Lo=	200.00	mm
Ø=	150.42	mm
L=	299.33	mm

Área=	17769.38	mm ²
Carga de Rotura=	373391	N
Esfuerzo Máximo=	21.01	MPa
40% Resistencia Máx.=	8.41	MPa

N° LECTURA	CARGA APLICADA		DEFORMACIÓN LONGITUDINAL	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECIFICA (ε)
	N (x 10 ³)	kg	1 x 10 ⁻³ mm	MPa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0.00	0.00	0.00
2	10	1000	7.93	0.56	19.83
3	20	2000	12.44	1.13	31.11
4	30	3000	20.00	1.69	50.00
5	40	4000	32.00	2.25	80.00
6	50	5000	42.21	2.81	105.53
7	60	6000	52.26	3.38	130.65
8	70	7000	62.31	3.94	155.78
9	80	8000	72.36	4.50	180.90
10	90	9000	84.32	5.06	210.80
11	100	10000	95.20	5.63	238.00
12	110	11000	105.85	6.19	264.63
13	120	12000	118.32	6.75	295.80
14	130	13000	130.15	7.32	325.36
15	140	14000	142.55	7.88	356.38
16	150	15000	154.28	8.44	385.70
17	160	16000	166.01	9.00	415.02
18	170	17000	179.32	9.57	448.29
19	180	18000	196.23	10.13	490.58
20	190	19000	209.77	10.69	524.42
21	200	20000	223.30	11.26	558.25
22	210	21000	252.63	11.82	631.57
23	220	22000	269.56	12.38	673.90
24	230	23000	283.11	12.94	707.77
25	240	24000	303.11	13.51	757.77
26	250	25000	320.04	14.07	800.10
27	260	26000	340.36	14.63	850.90
28	270	27000	357.29	15.19	893.23
29	280	28000	382.65	15.76	956.63
30	290	29000	399.59	16.32	998.97
31	300	30000	419.91	16.88	1049.77
32	310	31000	450.39	17.45	1125.97
33	320	32000	484.25	18.01	1210.63
34	330	33000	534.07	18.57	1335.17
35	340	34000	584.87	19.13	1462.17
36	350	35000	655.99	19.70	1639.97
37	360	36000	716.95	20.26	1792.37
38	370	37000	818.03	20.82	2045.07
39	380	38000	919.63	21.39	2299.07
40	390	39000	987.36	21.95	2468.40
41	380	38000	1105.47	21.39	2763.67

ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECIFICA



Resumen:

Tabla 16.- Resumen de Módulo de Elasticidad Experimental.

N° CILINDRO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	MÓDULO DE ELASTICIDAD	
	MPa	MPa	GPa
1	21.75	19498.33	19.50
2	21.73	19416.83	19.42
3	22.06	18934.03	18.93
4	21.70	19574.20	19.57
5	22.06	19415.98	19.42
6	22.13	18716.22	18.72
7	22.04	19188.99	19.19
8	21.34	19467.00	19.47
9	21.74	18930.66	18.93
10	22.05	19699.46	19.70
11	22.03	19674.36	19.67
12	21.82	18932.87	18.93
13	21.80	19603.71	19.60
14	22.41	19060.27	19.06
15	21.01	20107.13	20.11
PROMEDIO	21.85	19348.00	19.35

Elaborado por: Erika Guaño C.

3.5.2. MÉTODO ESTADÍSTICO.

La media aritmética resultante del grupo de datos obtenidos mediante los ensayos es la resistencia promedio (f'_{cm}):

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde:

X = Promedio de los n resultados de ensayos.

n = Número de resultados de los ensayos.

X_i = Resultados de ensayos.

Tabla 17.- Método Estadístico del Módulo de Elasticidad Experimental.

N° CILINDRO	MÓDULO DE ELASTICIDAD	CALCULOS	
	MPa		
1	19498.33	150.33	22598.89
2	19416.83	68.83	4737.24
3	18934.03	-413.97	171368.46
4	19574.20	226.20	51165.74
5	19415.98	67.97	4620.47
6	18716.22	-631.78	399151.01
7	19188.99	-159.01	25285.30
8	19467.00	118.99	14159.59
9	18930.66	-417.34	174174.18
10	19699.46	351.46	123521.84
11	19674.36	326.35	106507.32
12	18932.87	-415.13	172334.53
13	19603.71	255.71	65385.08
14	19060.27	-287.73	82789.02
15	20107.13	759.13	576276.78
PROMEDIO	19348.00	TOTAL	1994075.45

Elaborado por: Erika Guaño C.

Con los valores de resistencia promedio, se determina la desviación estándar mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} X_i - X^2}}{n - 1}$$

$$S = \frac{\sqrt{1994075.45}}{14}$$

$$S = 377.40 \text{ MPa}$$

Donde:

n = Número de ensayos.

X_i = Resultado de ensayos individuales.

X = Promedio de los n resultados de ensayos.

Además se debe establecer el coeficiente de variación, para poder comparar dos grupos de valores de carácter diferente. El coeficiente de variación es la relación entre la desviación estándar y la media aritmética.

$$C_v = \frac{S}{X}$$

$$C_v = \frac{377.40 \text{ MPa}}{19348.00 \text{ MPa}} = 0.0195 * 100 = 1.95\%$$

Donde:

- S** = Resultado de ensayos individuales.
- X** = Promedio de los n resultados de ensayos.

Resumen:

MEDIA ARITMETICA:	19348.00 MPa
DESVIACIÓN ESTANDAR:	377.40 MPa
COEFICIENTE DE VARIACION:	1.95%

3.5.3. MÉTODO TEÓRICO.

Las normas del A.C.I. y del NEC dan las siguientes expresiones para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón (E_c).

- **Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).**

$$E_c = 4.7 * \overline{f'_c} \text{ en GPa}$$

- **Norma A.C.I 318-08.**

$$E_c = 4700 * \overline{f'_c} \text{ en MPa}$$

- **Norma A.C.I 363-92.**

$$E_c = 3320 * \overline{f'_c} + 6900 \text{ en MPa}$$

A continuación se presenta los resultados obtenidos mediante la aplicación de las expresiones anteriores en los datos de los cilindros ensayados a compresión.

Tabla 18.- Método Teórico del Módulo de Elasticidad del Hormigón.

No.	ESFUERZO		A.C.I 318-08	A.C.I 363-92	NEC
	MPa	kg/cm ²	MPa	MPa	GPa
1	21.75	221.77	21918.42	22382.80	21.92
2	21.73	224.75	21911.41	22377.85	21.91
3	22.06	221.64	22076.61	22494.54	22.08
4	21.70	217.50	21895.93	22366.91	21.90
5	22.06	223.48	22073.49	22492.34	22.07
6	22.13	221.72	22111.09	22518.89	22.11
7	22.04	222.53	22065.23	22486.50	22.07
8	21.34	222.33	21712.04	22237.02	21.71
9	21.74	221.32	21916.19	22381.23	21.92
10	22.05	215.13	22068.91	22489.10	22.07
11	22.03	222.31	22061.57	22483.91	22.06
12	21.82	220.52	21956.02	22409.36	21.96
13	21.80	220.88	21946.20	22402.42	21.95
14	22.41	216.00	22251.04	22617.76	22.25
15	21.01	224.26	21544.86	22118.92	21.54
VALOR PROMEDIO			21967.27	22417.30	21.97
VALOR MÁXIMO			22251.04	22617.76	22.25
VALOR MÍNIMO			21544.86	22118.92	21.54

Elaborado por: Erika Guaño C.

3.6.COMPARACIÓN ENTRE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD, TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES.

Una vez obtenidos los Módulos de Elasticidad del Hormigón mediante los métodos teóricos y experimentales, se muestra a continuación, un cuadro de comparación para cada una de las resistencias especificadas; con el fin de determinar la expresión que nos permita calcular el valor del Módulo de Elasticidad para hormigones fabricados con los agregados de la mina del sector La Providencia y Cemento Chimborazo.

$$\%Relaci3n = \frac{ME_{ASTM-EXPERIMENTAL}}{ME_{TEORICO}}$$

Tabla 19.- Comparaci3n entre los m3dulos de elasticidad te3ricos y experimentales.

PARAMETRO	RESISTENCIA A LA COMPRESI3N	MODULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL	MODULO DE ELASTICIDAD TEORICO					
			ASTM C-469-94		A.C.I 318-08		A.C.I 363-92	
	MPa	MPa	MPa	%	MPa	%	GPa	%
MAXIMO	22.41	19725.41	22251.04	88.65	22617.76	87.21	22.25	88.65
PROMEDIO	21.85	19348.00	21967.27	88.08	22417.30	86.31	21.97	88.08
MINIMO	21.01	18970.60	21544.86	88.05	22118.92	85.77	21.54	88.05

Elaborado por: Erika Guaño C.

CAPITULO IV. DISCUSION.

4.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS APLICADOS EN AGREGADOS FINO Y GRUESO PARA LA DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN.

- El agregado fino (arena de río) del sector La Providencia, que se utiliza en la elaboración de hormigón, cumple con el requisito de gradación, ya que la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites específicos establecidos, el TMN es de 3/8" y tiene un módulo de finura de 2.98. El porcentaje de material más fino que el tamiz con aberturas de 75µm (No.200) es del 2.05%. Por lo tanto cumple con los requisitos de agregado fino para la elaboración de hormigón establecido en la norma NTE INEN 872:2011.
- El contenido de materia orgánica del agregado fino es aceptable: Amarillo Claro (Color Normalizado Escala de Gardner: # 8) esto ocurre porque el agregado es lavado en el sitio de extracción con agua, esto nos indica de que, el material no presenta materia orgánica; lo que permitirá que el hormigón tenga una correcta adherencia entre los componentes del hormigón en la etapa de fraguado.
- La gradación del agregado grueso (ripió triturado) del sector La Providencia en su mayor parte se encuentra comprendida dentro de los límites establecidos, el TMN es de 1 ½", tiene un porcentaje de pérdida por abrasión del 23.75%. Por lo tanto cumple con los requisitos de agregado grueso para la elaboración de hormigón establecido en la norma NTE INEN 872:2011.
- El diseño de las mezclas de las pruebas iniciales y finales se realizó mediante el Método de la Densidad Óptima; debido a las aceptables propiedades físicas y mecánicas que presentaron los agregados. Se

tomaron valores de tablas de relación agua-cemento de 0.58, las cuales, presentaron buena trabajabilidad y asentamientos dentro del rango establecido; esto nos aseguraba obtener la resistencia esperada a los 28 días.

4.2.ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA LA DETERMINACION DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL DEL HORMIGÓN $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

- La mezcla diseñada para $f'_c = 21 \text{ MPa}$, alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 21.68 MPa (105%), resistencia superior a la especificada. Esto refleja la idoneidad de los materiales para fabricar, hormigones con resistencias de uso general en nuestro medio.
- El Módulo de Elasticidad del hormigón obtenido experimentalmente según la norma ASTM C 469, es menor en comparación con los calculados al aplicar las ecuaciones planteadas por el ACI y NEC. Esto se debe a que las mismas fueron desarrolladas por materiales de mejor calidad. La comparación en porcentaje de los valores obtenidos entre el método teórico y experimental elegido según el criterio de la Norma Ecuatoriana nos indica lo siguiente:

Alcanza el 88.08% del propuesto por el ACI 318-08 y NEC.	Alcanza el 86.31% del propuesto por el ACI 363-92.
--	--

- Esto significa que con los resultados obtenidos del valor Módulo de Elasticidad, la rigidez real de las estructuras construidas con los agregados de la Mina La Providencia se encontrarían por debajo del valor adoptado en el diseño y cálculo estructural utilizando las ecuaciones de los Códigos A.C.I y NEC, que se encuentran en vigencia, por lo que disminuye la capacidad de sus elementos y el valor de sus deformaciones horizontales y derivas de piso son mucho mayores a las que estamos considerando.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1.CONCLUSIONES.

- En el presente proyecto se determinó experimentalmente el Módulo de Elasticidad del Hormigón, utilizando agregados extraídos del sector la Providencia y Cemento Chimborazo.
- El diseño de las mezclas de hormigón se realizó mediante el Método de la Densidad Optima. Los diseños alcanzaron las resistencias requeridas, obteniendo en promedio 65% de resistencia a los 7 días y mayores al 100% a los 28 días.
- El valor promedio del módulo de elasticidad obtenido experimentalmente en esta investigación con los materiales extraídos del sector la Providencia y Cemento Chimborazo es de: **19348.00 MPa**.
- Al comparar las ecuaciones del Código A.C.I. 318-08 y 363-92, se observó que los valores de E_c , obtenidos con la ecuación del A.C.I 318-08 se acercan más al valor de E_c experimental obtenido en este trabajo, en un 88.08%.
- En el control de calidad del hormigón en las obras civiles se da mayor importancia al valor de la resistencia a la compresión, sin tomar en cuenta que el valor del módulo de elasticidad real del hormigón es igual de importante ya que tiene por objeto asegurar que los diseños estén acorde con lo construido.

5.2.RECOMENDACIONES.

- Sugerir que las canteras cuenten con suficiente documentación actualizada sobre ensayos físicos y mecánicos, de los agregados que comercializan para su fácil entendimiento y comprensión de los mismos, para que los compradores tengan una idea clara del tipo de material que van a utilizar para la elaboración de hormigón y para el diseño estructural.
- El control de calidad del hormigón no solo debe estar enfocado a obtener la resistencia a compresión a los 28 días, se debe además establecer el Módulo de Elasticidad del hormigón.
- Utilizar las ecuaciones y gráficas planteadas en esta investigación para el cálculo del Módulo de Elasticidad del hormigón, siempre y cuando los agregados tengan propiedades semejantes a los agregados utilizados en esta investigación.
- Se recomienda a los Ingenieros Diseñadores tomar en consideración la importancia que tiene el valor del Módulo de Elasticidad del Hormigón con los cuales realizan sus diseños estructurales, ya que estos valores varían de acuerdo a las características de los agregados, y de la calidad y tipo de cemento que se utilice.
- Esta investigación nos permite tener conocimiento del módulo de elasticidad del hormigón bajo condiciones de carga lenta, la misma puede emplearse como base para futuras investigaciones sobre el módulo de elasticidad dinámico del hormigón (cargas rápidas), con el fin de conocer el comportamiento real del hormigón bajo la acción de un sismo.
- Se recomienda realizar estudios similares en otras canteras de la provincia de Chimborazo para garantizar mejores diseños y evaluar las ecuaciones propuestas por el código A.C.I y NEC.

CAPITULO VI. PROPUESTA.

6.1.TÍTULO DE LA PROPUESTA.

Ecuación del Módulo de Elasticidad en base a la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas elaboradas con agregados extraídos del sector la Providencia y Cemento Chimborazo.

6.2.INTRODUCCIÓN.

El hormigón puede definirse como un conglomerado fabricado artificialmente, compuesto de partículas inertes (agregados fino y grueso), unidas por una matriz de material cementante o aglutinante; (cemento portland y agua) y la adición eventual de “aditivos”, con el objeto de darle ciertas propiedades, que el hormigón por sí mismo no las posee.

Una de las propiedades primordiales del hormigón es el Módulo de Elasticidad, es un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras ya que se emplean en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales.

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

6.3.OBJETIVOS.

6.3.1. GENERAL.

Determinar la ecuación del Módulo de Elasticidad en base a la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas elaboradas con agregados extraídos del sector la Providencia y Cemento Chimborazo.

6.3.2. ESPECIFICOS.

- Comparar los resultados obtenidos para el Módulo de Elasticidad con los agregados en estudio y los propuestos por los comités del A.C.I.
- Aportar con datos para determinar una constante para el Módulo de Elasticidad, que sea aplicable a nuestro medio.
- Plantear la ecuación del Módulo de Elasticidad en base a la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas elaboradas con agregados extraídos del sector la Providencia y Cemento Chimborazo.

6.4.FUNDAMENTACION CIENTÍFICO-TÉCNICA.

6.4.1. Determinación del Módulo de Elasticidad Experimental del Hormigón.

La norma ASTM C469-94, establece el método para la determinación del módulo de elasticidad del hormigón, en base a una relación entre el esfuerzo y su deformación unitaria, para el hormigón endurecido a cualquier edad y condiciones de curado.

Además para la determinación experimental del módulo de elasticidad se consideraron las siguientes definiciones:

“Módulo tangente: Es la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo deformación, en cualquier punto de ella”.¹⁷

$$E_c = \frac{d_\sigma}{d_\epsilon}$$

“Módulo tangente inicial: Es el valor de la pendiente de la tangente en el origen de la curva. Corresponde a un esfuerzo nulo.”¹⁸

¹⁷ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>.

¹⁸ http://www.demecanica.com/Consultas/E10_EstCons.htm

“**Módulo secante:** Es la pendiente de la recta secante a la curva, que une el origen con otro cualquiera de la curva”.¹⁹

$$Ec = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

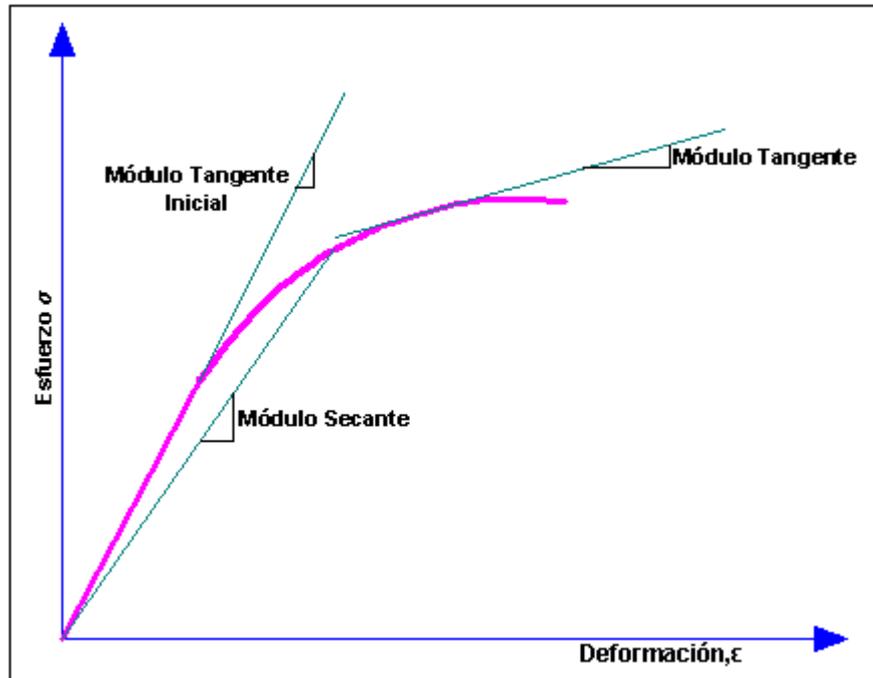


Figura 41.- Módulo Tangente, Tangente inicial y secante del hormigón.
Extraído de: <http://www.demecanica.com/Consultas/images/ModDeform1.jpg>.

“El módulo de elasticidad, aplicable dentro de los rangos de esfuerzos de trabajo acostumbrados son del 0.00005 de deformación unitaria a 40% de la resistencia última del concreto, son usados para el dimensionamiento de elementos reforzados o no reforzados, para establecer la cantidad de refuerzo y para calcular los esfuerzos para las deformaciones unitarias observadas.

Los valores de módulo de elasticidad obtenidos usualmente serán menores a los módulos obtenidos bajo una aplicación de carga rápida (por ejemplo a velocidades dinámicas o sísmicas) y serán más grandes que los valores bajo aplicación de carga lenta o de mayor duración, siempre que otras condiciones de ensayo sean las mismas.”²⁰

¹⁹ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>

²⁰ Norma ASTM C469-94

“Para medir las variaciones de deformación por compresión, se acoplará a la probeta estándar de hormigón un sistema que consta de dos anillos, uno superior y otro inferior los mismos que se aseguran a la probeta llamado compresómetro.

El compresómetro es un dispositivo que se adapta a los cilindros de prueba y sirven para medir su deformación, axial y transversal, bajo la aplicación de la carga.”²¹

6.4.2. Determinación del Módulo de Elasticidad del hormigón según el Código ACI 318-08.

El Código ACI 318-08 en el capítulo 8, para el cálculo del Módulo de Elasticidad, enuncia en el numeral 8.5.1, lo siguiente: “El Módulo de elasticidad E_c para el concreto puede tomarse como $W_c^{1.5} 0.043 \overline{f'_c}$ (en MPa), para valores de W_c comprendidos entre 1440 y 2560 Kg/m³. Para concreto de densidad normal, E_c puede considerarse como $4700 \overline{f'_c}$.”

6.4.3. Determinación del Módulo de Elasticidad del hormigón según el Código ACI 363-92.

El Comité ACI 363-92 en el capítulo 5, para el cálculo del Módulo de Elasticidad, enuncia en la página 23, lo siguiente:

“Para el cálculo del módulo de elasticidad se puede usar la siguiente expresión: $E_c = 3320 \overline{f'_c} + 6900$ (MPa)”.²²

Esta última expresión fue propuesta por: Russell, Sausier y Pfeiffer, siendo una ecuación empírica, por lo cual no se le considera como una estricta norma, más bien como un parámetro de comparación con la expresión del ACI 318-08.

²¹ Norma ASTM C469-94

²² Comité ACI 363-92

6.5.DESCRIPCION DE LA PROPUESTA.

Para la determinación de la Ecuación del Módulo de Elasticidad en base a la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas elaboradas con agregados extraídos del sector la Providencia y Cemento Chimborazo se ejecutó el siguiente proceso:

6.5.1. Objetivo: Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados a utilizarse.

- **Actividades:** Recolectar los agregados (fino y grueso) y realizar los ensayos que establecen las Normas INEN.
- **Recursos:** Laboratorio de Ensayo de Materiales.
- **Responsables:** Investigador.
- **Tiempo:** 45 días.

6.5.2. Objetivo: Definir las cantidades de los componentes que deben combinarse para producir una mezcla que cumpla con las condiciones de la resistencia establecida, de 21 MPa.

- **Actividades:** Establecer un método de dosificación y elaboración de probetas cilíndricas.
- **Recursos:** Laboratorio de Ensayo de Materiales.
- **Responsables:** Director, Investigador.
- **Tiempo:** 15 días.

6.5.3. Objetivo: Determinar las propiedades mecánicas del hormigón de resistencia 21MPa.

- **Actividades:** Ensayar las probetas cilíndricas a compresión simple para la determinación de deformaciones del hormigón.
- **Recursos:** Laboratorio de Ensayo de Materiales.
- **Responsables:** Director, Laboratoristas, Investigador.
- **Tiempo:** 5 días.

6.5.4. Objetivo: Plantear la ecuación del Módulo de Elasticidad en base a la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas elaboradas con agregados extraídos del sector la Providencia y Cemento Chimborazo.

- **Actividades:** Realizar los cálculos matemáticos y estadístico de los resultados obtenidos.
- **Recursos:** Internet, computadora, libros.
- **Responsables:** Director, Investigador.
- **Tiempo:** 5 días.

6.5.5. DATOS PRELIMINARES.

Para el planteamiento de la Ecuación del Módulo de Elasticidad en base a la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas elaboradas con agregados extraídos del sector la Providencia y Cemento Chimborazo, se presenta un cuadro resumen de los valores del módulo de elasticidad experimental obtenidos mediante ensayos a compresión simple.

Tabla 20.- Resumen de Módulo de Elasticidad Experimental.

N° CILINDRO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD MPa
1	21.75	19498.33
2	21.73	19416.83
3	22.06	18934.03
4	21.70	19574.20
5	22.06	19415.98
6	22.13	18716.22
7	22.04	19188.99
8	21.34	19467.00
9	21.74	18930.66
10	22.05	19699.46
11	22.03	19674.36
12	21.82	18932.87
13	21.80	19603.71
14	22.41	19060.27
15	21.01	20107.13
VALOR PROMEDIO	21.85	19348.00

Elaborado por: Erika Guaño C.

6.5.6. PLANTEAMIENTO DE LA ECUACIÓN EXPERIMENTAL DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.

Para este procesos se requiere de la aplicación de una ecuación general típica, la misma que es determinada con la resistencia característica, según la Norma Ecuatoriana, obteniendo para los materiales en análisis un factor específico, el mismo que está en función de las propiedades de nuestros agregados tanto fino, como grueso.

6.5.1. Ecuación planteada en función del A.C.I 318-08.

La ecuación planteada por el comité ACI 318-08 es la expresión típica del cálculo del módulo de elasticidad. Para el efecto se determinará el factor, relacionando el módulo experimental con la raíz cuadrada de cada resistencia característica para cada criterio o caso.

$$E_c = \text{Factor } k * \sqrt{f'_c}$$

$$\text{Factor } k = \frac{E_c}{\sqrt{f'_c}}$$

Donde:

Ec: Módulo de Elasticidad Experimental.

f'c: Resistencias Características.

Tabla 21.- Cálculo del valor del factor (k).

RESISTENCIA		MÓDULO DE ELASTICIDAD		FACTOR (k)	FACTOR (k)
MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	PARA MPa	PARA kg/cm ²
21.75	221.77	19498.33	198824.47	4181.06	13351.26120
21.73	221.62	19416.83	197993.42	4164.91	13299.70614
22.06	224.98	18934.03	193070.30	4030.96	12871.95916
21.70	221.31	19574.20	199598.12	4201.64	13416.97789
22.06	224.92	19415.98	197984.75	4134.15	13201.47035
22.13	225.68	18716.22	190849.30	3978.38	12704.04846
22.04	224.75	19188.99	195670.13	4087.35	13052.01953
21.34	217.61	19467.00	198505.00	4214.02	13456.51066
21.74	221.72	18930.66	193035.94	4059.74	12963.87153
22.05	224.82	19699.46	200875.39	4195.38	13396.99785
22.03	224.67	19674.36	200619.45	4191.43	13384.38314
21.82	222.53	18932.87	193058.48	4052.85	12941.86565
21.80	222.33	19603.71	199899.03	4198.33	13406.42787
22.41	228.55	19060.27	194357.57	4026.03	12856.20502
21.01	214.27	20107.13	205032.40	4386.36	14006.84947
PROMEDIO				4140.17	13220.70

Elaborado por: Erika Guaño C.

Con los resultados de la tabla anterior de los ensayos obtenidos en el laboratorio y sus respectivos análisis, al planteamiento de la siguiente ecuación.

- **En MPa:**

$$E_c = 4140.20 * \overline{f'_c}$$

- **En Kg/cm²:** Equivalencia: 1 MPa = 10.197 kg/cm²

$$E_c = 13220.70 * \overline{f'_c}$$

Con los valores propuestos por el grupo de tesis, se tiene una relación aproximada del 88.08% con respecto a los valores propuestos por el A.C.I 318-08.

$$\text{Relación} = \frac{4140.20}{4700.00} * 100\%$$

$$\text{Relación} = 88.08\%$$

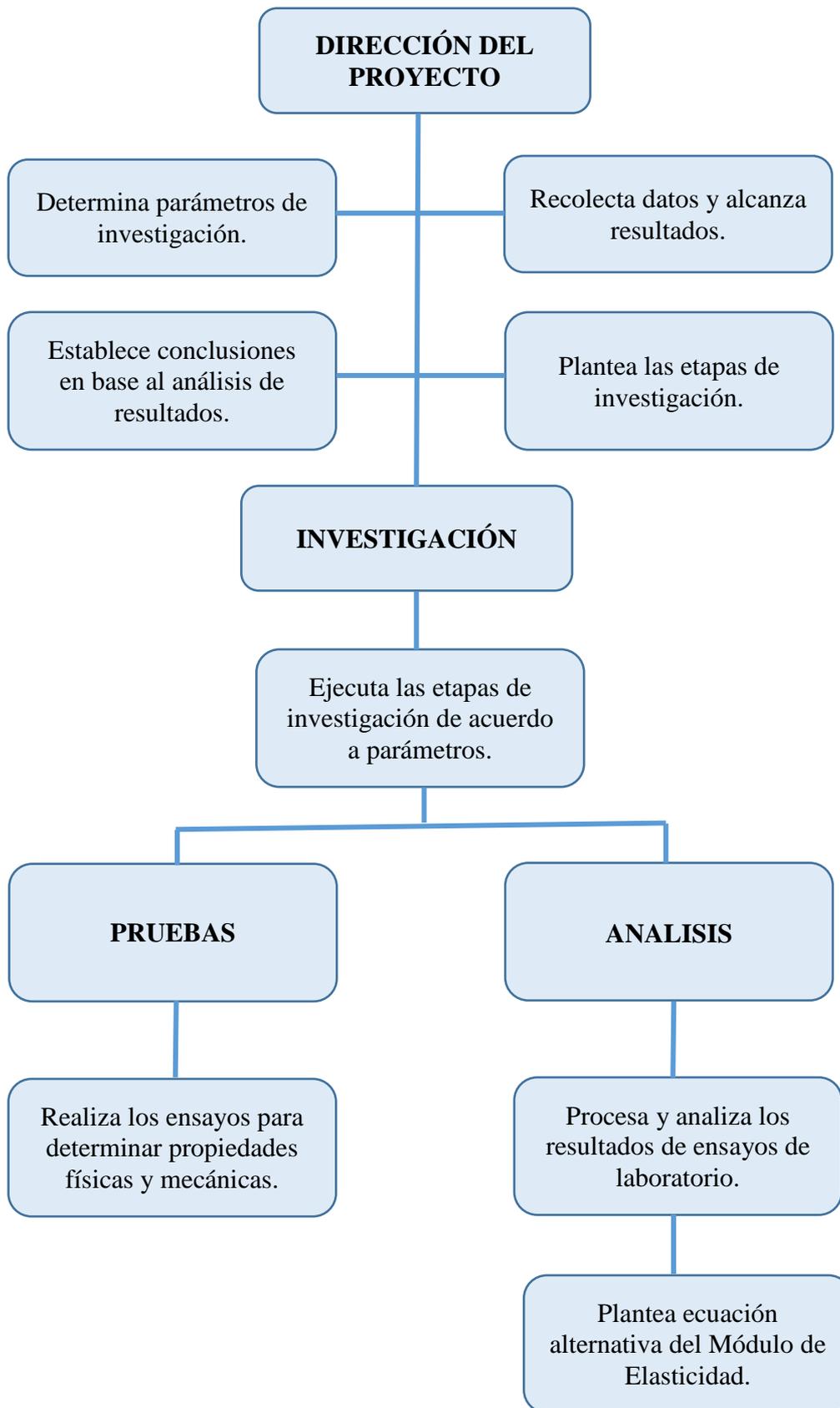
6.5.2. Curva de relación entre el módulo de elasticidad experimental y la resistencia a la compresión del hormigón.

EDAD Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MPa	MÓDULO DE ELASTICIDAD MPa
7	13.44	15178.22
14	15.83	16472.59
21	16.99	17065.46
28	21.68	19277.51



**Figura 42.- Curva de relación entre Módulo de Elasticidad Experimental y la Resistencia a la Compresión para un hormigón de 21 MPa.
Elaborado por: Erika Guaño C.**

6.6. DISEÑO ORGANIZACIONAL.



6.7. MONITOREO Y EVALUACION DE LA PROPUESTA.

En base al procesamiento de los datos obtenidos en la investigación se obtuvieron resultados que después de analizarlos se consiguieron diferentes conclusiones y recomendaciones que conllevaron a plantear la ecuación del Módulo de Elasticidad en base a la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas elaboradas con agregados extraídos del sector la Providencia y Cemento Chimborazo.

La presente investigación servirá como guía para la correcta utilización del Módulo de Elasticidad de Hormigón en las obras civiles, permitiendo que profesionales de la construcción concienticen que a más del valor de la resistencia a la compresión, el valor del Módulo de Elasticidad Estático es otro indicativo de la calidad del hormigón.

De acuerdo a los resultados obtenidos y conclusiones de la investigación realizada el módulo de elasticidad del hormigón es un parámetro de diseño importante que no solo depende de la resistencia a la compresión del hormigón sino de la calidad de sus componentes, además que los valores del módulo de elasticidad encontrados experimentalmente difieren de los valores (Código A.C.I) comúnmente utilizados por profesionales diseñadores/calculistas en nuestro medio, por lo que la correcta utilización del valor adecuado desarrollará un buen diseño, obteniendo así la seguridad de que las propiedades del hormigón en obra serán las mismas utilizadas en el diseño.

CAPITULO VII. BILIOGRAFIA.

1. A.C.I, American Concrete Institute. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural A.C.I 318S-8. Impreso en U.S.A Preparado por el Comité A.C.I 318-08. Año 2008.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, ASTM C 469-94, “Módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto en compresión”, 1994.
3. CAMANIERO, Raúl. Dosificación de Mezclas. Quito, 2006.
4. CEVALLOS, Oscar (2007-2008), Cátedra impartida en aulas de clase, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador.
5. CHILQUINGA J, SANCHEZ D, OROSCO M, FLORES E.: Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón en Base a su resistencia a la Compresión $f_c = 21$ y 28 MPa. Fabricado con materiales de la mina San Roque-Imbabura y cemento Selva Alegre. Quito: Tesis, Universidad Central del Ecuador.
6. CORDOVA, MANZANO, VILLALBA. Módulo estático de elasticidad del hormigón. Quito: Tesis, Universidad Central del Ecuador, 2010
7. Fabrica Cemento de Chimborazo-Departamento de Control de Calidad, 2014.
8. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 695:2010, “Áridos. Muestreo”, 1era edición, 2010.
9. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 2 566:2010, “Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo”, 1era edición, 2010.
10. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 696:2011, “Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso”, 1era edición, 2011.
11. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 697:2010, “Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas $75 \mu\text{m}$ (No 200) mediante lavado.”, 1era edición, 2010.

12. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 855:2010, “Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.”,1era edición, 2010.
13. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 856:2010, “Áridos. Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Fino.”,1era edición, 2010.
14. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 857:2010, “Áridos. Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Grueso.”,1era edición, 2010.
15. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 858:2010, “Áridos. Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y el Porcentaje de Vacíos.”,1era edición, 2010.
16. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 860:2011, “Áridos. Determinación del valor de la degradación del Árido Grueso de Partículas Menores a 37.5mm mediante el uso de la Máquina de los Angeles.”,1era edición, 2011.
17. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 862:2011, “Áridos. Determinación del Contenido Total de Humedad.”,1era edición, 2011.
18. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 156:2009, “Cemento Hidráulico. Determinación de la Densidad.”,1era edición, 2009.
19. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 1762:1990, “Hormigones. Definición y Terminología.”,1era edición, 1990.
20. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 1573:2010, “Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidraulico.”,1era edición, 2010.
21. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 2649:2012, “Hormigón de Cemento Hidráulico. Refrentado de Especímenes Cilíndricos para la Determinación de la Resistencia a la Compresion.”,1era edición, 2012.

22. LLANGA, Víctor, (2006), Manual del laboratorista de Hormigones, 1era Edición, Editorial Centro S.A, Ecuador.
23. ROMO, Marcelo, (2008), Temas de Hormigón Armado, 1era Edición, Quito-Ecuador.
24. TROXELL, Davis, (1970), Ensaye e Inspección de los materiales de Ingeniería, 3era edición, Editorial Continental S.A, México.
25. <http://www.lorenzoservidor.com.ar/facu01/modulo6/modulo6.htm>.
26. <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n>.

CAPITULO VIII. APENDICES O ANEXOS.

ANEXO 1: ELABORACIÓN Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS EN MAQUINA UNIVERSAL.



ELABORACIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS



CURADO DE PROBETAS CILINDRICAS



LECTURA DE CARGA DE ENSAYO A COMPRESIÓN



TIPO DE FRACTURA: 3 COLUMNAR

ANEXO 2: CAPEO DE PROBETAS CILINDRICAS



PREPARACIÓN DE MOLDE PARA CAPEO



COLOCACIÓN DE MORTERO DE SULFURO



CAPEO DE PROBETAS CILIDRICA



PROBETAS CILIDRICAS CAPEADAS PARA ENSAYO

ANEXO 3: ENSAYO DE PROBETAS CILINDRICAS PARA LA DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGON EN MAQUINA UNIVERSAL.



COLOCACIÓN DEL APARATO DE MEDICIÓN



NIVELACION Y AJUSTE DE DEFORMÍMETROS



ENSAYO DE COMPRESION PARA LA DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGON

