

I

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón en la provincia de Pichincha elaborado con materiales de la mina Holcim, ubicada en la parroquia Pifo y cemento Holcim

AUTORES

Londoño Doménica

Terán Wilson

DIRECTOR

Ing. Estuardo Páez

Quito-Ecuador

2019

I. Contenido

CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.1.1 JUSTIFICACIÓN	1
1.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.3 OBJETIVOS	2
1.1.3.1 Objetivo General	2
1.1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.1.4 ALCANCE	3
1.1.5 METODOLOGÍA	3
1.1.5.1 Método Experimental	3
1.2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	4
1.2.1 MARCO REFERENCIAL	4
1.2.2 MARCO TEÓRICO	4
1.2.2.1 Parroquia Pifo	4
1.2.2.1.1 Geología	4
1.2.3 MARCO CONCEPTUAL	5
1.2.3.1 Hormigón	5
1.2.3.2 Cemento	6
1.2.3.3 Módulo de Elasticidad	7
1.2.3.4 Parámetros para el cálculo del Módulo de Elasticidad	8
<i>1.2.3.4.1 Altura</i>	8
<i>1.2.3.4.2 Diámetro</i>	8
<i>1.2.3.4.3 Masa</i>	8
<i>1.2.3.4.4 Altura Compresómetro</i>	9

1.2.3.4.5 Tipo de Falla.....	9
1.2.3.4.6 Er	10
1.2.3.4.7 Eg	10
1.2.3.4.7 Carga Máxima	11
1.2.3.4.8 Resistencia	11
1.2.3.5 Obtención del Módulo de Elasticidad Experimental	11
CAPÍTULO II.....	15
2.1 ENSAYOS DE LOS AGREGADOS	15
2.1.1 MUESTREO DE LOS AGREGADOS.....	15
2.1.2 CUARTEO MECÁNICO	15
2.1.3 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.....	16
2.1.3.1 AGREGADO GRUESO	16
2.1.3.2 AGREGADO FINO	18
2.1.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN	19
2.1.4.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	19
2.1.4.2 ABSORCIÓN.....	19
2.1.5 PESO UNITARIO	20
2.1.6 CONTENIDO DE HUMEDAD	22
2.1.7 DESGASTE POR ABRASIÓN.....	22
CAPÍTULO III	25
3.1 DOSIFICACIÓN AL PESO MÉTODO ACI.....	25
3.1.1 ASENTAMIENTO.....	25
3.1.2 AGUA NETA Y CONTENIDO DE AIRE.....	26
3.1.2.1 Tamaño Máximo Nominal del Agregado	26
3.1.3 RESISTENCIA DE DISEÑO	27

3.1.4 RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C)	28
3.1.5 CANTIDAD DE CEMENTO	28
3.1.6 CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO EN ESTADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA	29
3.1.6.1 Módulo de Finura del Agregado Grueso	29
3.1.6.2 Factor Volumétrico del Agregado Grueso con relación al Concreto ..	29
3.1.7 PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN	31
3.1.8 CANTIDAD DE AGREGADO FINO EN ESTADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA	31
3.1.9.1 Método Modificado (Elegido)	31
3.1.9 CANTIDAD DE AGREGADOS EN ESTADO NATURAL	32
3.1.9.1 Cantidad de Agregado en Estado Seco	32
3.1.10 AGUA DE MEZCLA	33
3.1.11 REESTIMACIÓN	33
3.1.12 CÁLCULO DE PREDISEÑO	34
3.1.12.1 Adicionales	35
3.2 ENSAYOS EN EL HORMIGÓN FRESCO	36
3.2.1 CONTENIDO DE AIRE	36
3.2.2 PENETRACIÓN	37
3.2.3 ASENTAMIENTO	37
CAPÍTULO IV	38
4.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN	38
4.1.1 ROTURA DE CILINDROS	39
4.2 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	40

4.3 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	41
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
4.5 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	46
4.5.1 DISTRIBUCIÓN NORMAL	46
Nivel de Confianza.....	47
Variable Tipificada Z	48
Intervalo de Confianza	49
Error Estándar.....	49
Extremos para un intervalo de confianza del 95%	50
Resultados Parciales	51
Resultados Finales	52
CAPÍTULO V	53
5.1 CONCLUSIONES	53
5.2 RECOMENDACIONES	54
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
7. ANEXOS	58
7.1 Ensayos de Agregados	58
7.2 Descarte estadístico de los valores del factor de módulo de elasticidad (kg/cm²)	74
7.3 Descarte estadístico de los valores del factor de módulo de elasticidad (MPa)...	75

II. Índice de Tablas

Tabla 1: Tipos de Cemento	7
Tabla 2: Requisitos de gradación para áridos grueso	17
Tabla 3: Gradación para áridos finos.....	18

Tabla 4: Gravedad Específica de los agregados	20
Tabla 5: Peso Unitario de los agregados.....	21
Tabla 6: Contenido de Humedad de los agregados	22
Tabla 7: Gradación de las muestras de ensayo de abrasión.....	23
Tabla 8: Desgaste por abrasión del agregado grueso.....	23
Tabla 9: Asentamientos para cada Tipo de Construcción.....	26
Tabla 10: Agua de Neta y Contenido de Aire en base al Asentamiento y Tamaño Máximo Nominal del Agregado.....	27
Tabla 11: Relación agua/cemento para cada resistencia	28
Tabla 12: Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Hormigón.....	30
Tabla 13: Proporciones de Prediseño	34
Tabla 14: Cantidades de material para el prediseño de ambas resistencias.....	35
Tabla 15: Resultados de ensayo de Compresión Simple de Cilindros de Prediseño	35
Tabla 16: Relación agua/cemento modificada	36
Tabla 17: Contenido de Aire en el Hormigón Fresco.....	37
Tabla 18: Penetración en el Hormigón Fresco.....	37
Tabla 19: Cantidades de material para diseño definitivo de ambas resistencias	38
Tabla 20: Parámetros para la Obtención del Módulo de Elasticidad $f'c$ 240.....	39
Tabla 21: Parámetros para la Obtención del Módulo de Elasticidad $f'c$ 210	40
Tabla 22: Parámetros para la determinación del Módulo de Elasticidad del Cilindro 1 de resistencia $f'c$ 210.....	41
Tabla 23: Cálculo del Módulo de Elasticidad y del Factor de su ecuación del Cilindro 1 de $f'c$ 210.....	42
Tabla 24: Módulos de Elasticidad y Factores para 210 kg/cm².....	44
Tabla 25: Módulos de Elasticidad y Factores para 240 kg/cm².....	45
Tabla 26: Parámetros Estadísticos y Factor del Módulo de Elasticidad Definitivo en kg/cm²	50
Tabla 27: Parámetros Estadísticos y Factor del Módulo de Elasticidad Definitivo en MPa.....	51

III. Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Tipos de Falla	9
Ilustración 2: Diagrama de Desplazamientos	10
Ilustración 3: Curva Esfuerzo-Deformación para el Hormigón	12
Ilustración 4: Curva Granulométrica del agregado grueso	17
Ilustración 5: Curva Granulométrica del agregado fino	18
Ilustración 6: Volumen del Agregado Grueso por Unidad de Volumen de Hormigón 30	
Ilustración 7: Parámetros de la Distribución	46
Ilustración 8: Nivel de Confianza y Significación	48
Ilustración 9: Deducción de Variable Tipificada Z para el 95% de Confianza	48
Ilustración 10: Intervalo de Confianza	49

IV. Índice de Fórmulas

Fórmula 1: Deformación total del espécimen.....	13
Fórmula 2: Deformación Unitaria	13
Fórmula 3: Módulo de Estático de Elasticidad.....	14
Fórmula 4: Determinación de la resistencia de diseño	27
Fórmula 5: Relación Agua/Cemento	28
Fórmula 6: Módulo de Finura del Agregado Fino.....	29
Fórmula 7: Cantidad de Agregado Grueso SSS	29
Fórmula 8: Peso Unitario del Hormigón	31
Fórmula 9: Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca de todo el material.....	31
Fórmula 10: Cantidad de Agregado Fino SSS	31
Fórmula 11: Cantidad de Agregados SSS (Modificado)	32
Fórmula 12: Proporción de Agregados (Modificado)	32
Fórmula 13: Cantidad de Agregado en Estado Seco	32
Fórmula 14: Cantidad de Agregado en Estado Natural.....	33
Fórmula 15: Agua de Mezcla	33
Fórmula 16: Factor de reestimación de agua neta	34
Fórmula 17: Agua Neta Nueva.....	34

Fórmula 3: Módulo de Estático de Elasticidad.....	41
Fórmula 18: Factor de la Ecuación del Módulo de Elasticidad.....	41
Fórmula 19: Nivel de Confianza	47
Fórmula 20: Valor Crítico	48
Fórmula 21: Error Estándar	49
Fórmula 22: Extremo Superior e Inferior de la Muestra	50
Fórmula 23: Ecuación del Módulo de Elasticidad 210 kg/cm ²	51
Fórmula 24: Ecuación del Módulo de Elasticidad 21 MPa	51
Fórmula 25: Ecuación del Módulo de Elasticidad 240 kg/cm ²	51
Fórmula 26: Ecuación del Módulo de Elasticidad 24 MPa	51
Fórmula 27: Ecuación del Módulo de Elasticidad kg/cm ²	52
Fórmula 28: Ecuación del Módulo de Elasticidad MPa	52

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 JUSTIFICACIÓN

La importancia del módulo de elasticidad del hormigón dentro de la ingeniería radica en que este es un parámetro que relaciona el esfuerzo con la deformación unitaria del mismo, el cual servirá para determinar la rigidez de este material bajo la acción de una carga aplicada en él. Por lo tanto, necesitaremos analizar los componentes del hormigón que son el cemento y los agregados fino y grueso. La elección de la mina Holcim y del cemento Holcim se basó en la alta demanda que estos tienen en la provincia de Pichincha dentro del campo constructivo.

Actualmente en nuestro país siempre se ha utilizado el hormigón con un módulo de elasticidad calculado en base a ensayos realizados con materiales cuyas propiedades son distintas a los existentes en nuestro país. Por ello se consideró necesaria la aproximación hacia un valor de módulo de elasticidad que represente las características de los materiales propios del país.

La necesidad de obtener un nuevo módulo fue el mejorar el tipo de evaluación aplicado en el concreto utilizado en las edificaciones de la provincia con el fin de que los resultados obtenidos reflejen la realidad de los materiales usados y con ello lograr mayor seguridad para los usuarios.

Además de ser una de las principales empresas productoras de concreto a nivel nacional, el motivo por el cual se decidió utilizar los agregados y el cemento de la empresa Holcim se debe al apoyo que brindará la misma con dichos materiales y sus instalaciones.

1.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la sismicidad del país y especialmente a la geología de la provincia de Pichincha se consideró importante la obtención de esta ecuación con el objetivo de mejorar el diseño estructural de las futuras construcciones ya que no disponemos de parámetros propios para determinar las propiedades mecánicas del hormigón.

En base a investigaciones previas del módulo de elasticidad realizadas en el país, se identificó que la fórmula actual no refleja la realidad de las condiciones existentes ya que la deducción de esta ecuación fue determinada en EEUU cuyas características de los materiales son totalmente distintas a las de Ecuador, por lo cual se creyó conveniente realizar un estudio completo de las propiedades de los agregados para la obtención de la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón que represente los atributos de la provincia de Pichincha.

1.1.3 OBJETIVOS

1.1.3.1 Objetivo General

Determinar la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón dosificado con agregados provenientes de la mina Holcim ubicada en la parroquia Pifo y cemento Holcim, utilizado en la provincia de Pichincha.

1.1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades de los agregados utilizados en la preparación del hormigón a analizar a través de ensayos normados.
- Definir la dosificación óptima del hormigón para los materiales usados según sus propiedades y para las resistencias de 210 kg/cm^2 y 240 kg/cm^2 .

-Comparar la ecuación del módulo de elasticidad obtenida con la existente propuesta por la ACI 318-14.

1.1.4 ALCANCE

Para llegar a obtener la ecuación del módulo de elasticidad descrita anteriormente, se deberá llevar a cabo un proceso en el cual a partir de los materiales pétreos (agregado grueso y fino) extraídos de la mina de la parroquia Pifo y cemento Portland tipo I marca Holcim, se realizará una cantidad determinada de cilindros de hormigón dosificados al peso con resistencias específicas para luego someterlos al ensayo de resistencia a la compresión luego de 28 días de fraguado, con lo cual se definirá la ecuación a través de los datos obtenidos en dicho ensayo.

Con la finalidad de conseguir resultados óptimos y equilibrados, se ejecutará un total de 120 cilindros de los cuales 60 corresponderán a cilindros elaborados para una resistencia de 210 kg/cm², mientras que la mitad restante corresponderá a una resistencia de 240 kg/cm².

1.1.5 METODOLOGÍA

1.1.5.1 Método Experimental

Para encontrar el módulo de elasticidad del hormigón, nuestra metodología se basó primeramente en la realización de los ensayos de caracterización de los agregados fino y grueso, para luego utilizar estos resultados en los cálculos de dosificación al peso por el método ACI, con la finalidad de fabricar 30 cilindros para una resistencia de 210 kg/cm² y 30 cilindros para una resistencia de 240 kg/cm²; y posteriormente ensayarlos a los 28 días.

1.2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.2.1 MARCO REFERENCIAL

En los últimos años en nuestro país se han llevado a cabo investigaciones referentes al estudio y determinación de la ecuación del módulo de elasticidad donde los resultados obtenidos en la aplicación del ensayo de resistencia a la compresión de hormigón en cilindros indicaron que la ecuación obtenida a partir de estos arrojó valores distintos del módulo de elasticidad utilizado actualmente, mismo que está en función de la resistencia a la compresión correspondiente a las ecuaciones de la ACI 318-14¹. Esta diferencia radica principalmente en que al utilizar materiales propios de nuestro país cuyas propiedades y comportamiento serán distintos al de otros países, el valor de este módulo experimentará una variación considerable la cual influirá notablemente en el comportamiento a futuro que tendrá una estructura durante su vida útil ya que este dependerá de cada mina de la cual se extraigan los agregados para la elaboración del hormigón.

Por ello, se creyó esencial analizar este parámetro con los materiales pétreos característicos de la provincia de Pichincha y una de las marcas de cemento más utilizadas en esta zona, con el fin de poder analizar y definir una ecuación del módulo de elasticidad que se acerque más a la realidad de los atributos de la provincia y que los represente de mejor manera.

1.2.2 MARCO TEÓRICO

1.2.2.1 Parroquia Pifo

1.2.2.1.1 Geología

Los suelos de esta zona se caracterizan por ser principalmente inceptisoles, es decir, que se están empezando a desarrollar ya que aún son suelos jóvenes. Presentan texturas medias francolimosas que poseen una gran cantidad de materiales amorfos y carbono orgánico, así como una cantidad considerable de vidrio volcánico.

¹ American Concrete Institute (ACI). Capítulo 19: Concreto: Requisitos de Diseño y Durabilidad. Sección 19.2.2: Módulo de Elasticidad. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). Edición 2014. [Internet]. 2016 [citado 10 Ene 2020]. Disponible en: https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf

La mayor parte del territorio de la parroquia corresponderá a zonas de páramo poco intervenidas con una susceptibilidad moderada a la erosión.

En cuanto al tipo de árido encontrado en la zona, la mayoría de estos son de origen ígneo, los cuales han atravesado un proceso lento de enfriamiento lo que los convierte en materiales pétreos que poseen características óptimas para su uso en la fabricación de concreto, pero que al mismo tiempo pueden presentar la desventaja en cuanto a su transporte ya que se encuentran a una mayor distancia que el resto de los agregados en otras canteras de la provincia.

1.2.3 MARCO CONCEPTUAL

1.2.3.1 Hormigón

Primeramente, se define al hormigón como “un conglomerado pétreo artificial, que se prepara mezclando una pasta de cemento y agua, con arena y piedra triturada, grava, u otro material inerte.” (Parker, Diseño Simplificado de Concreto Reforzado, 1971). Por tanto, esta es una mezcla que se une de manera física y químicamente debido al cemento.

Al ser este el material usado principalmente para la edificación de todo tipo de obra civil, la determinación de las propiedades de los materiales que intervienen en su elaboración será de gran relevancia para entender el comportamiento final que tendrá una estructura realizada con concreto.

Es importante destacar que de una buena dosificación dependerá del cumplimiento de ciertos requerimientos como: resistencia, trabajabilidad y durabilidad.

Resistencia: Esta se establece mediante la relación agua-cemento seleccionada, ya que la resistencia viene dada por los geles de cemento debido a la hidratación que se obtendrá cuando el agua sea del 40% aproximadamente; pero de igual manera a pesar de que los agregados no intervengan en la reacción química, influirán para evitar y reducir fisuras que se pueden producir por la contracción del hormigón debido a cambios bruscos de

temperatura, así como también permiten un considerable ahorro de la cantidad de cemento requerida.

Trabajabilidad: Es el factor más importante para comprender el método de dosificación ACI, entendiéndose como la facilidad para transportar hormigón en estado fresco sin que se lleguen a separar los componentes del mismo, y que una vez colocado, la fluidez (que es medida por la consistencia), permita que el hormigón pueda envolver las armaduras totalmente sin dejar vacíos.

Durabilidad: Al ser la capacidad que tiene el hormigón para soportar la acción de agentes nocivos existentes en el ambiente, esta característica dependerá de las condiciones ambientales, materiales utilizados, calidad en la ejecución de la obra, diseño estructural entre otros. Asimismo, esta propiedad depende también de la relación agua-cemento utilizada ya que, a relaciones más bajas, la cantidad de vacíos disminuirá y por tanto aumentará la resistencia del hormigón frente a diversos factores climáticos.

1.2.3.2 Cemento

“El cemento portland se fabrica con una mezcla de materiales que contienen cal y arcilla que se calcinan hasta formar una escoria que consiste esencialmente de silicato de calcio hidratado. Luego, se pulveriza esta escoria hasta tener una finura que le permita pasar a la casi totalidad de sus partículas por una criba de 40000 aberturas por pulgada cuadrada.” (Larson, 1966). La influencia que este material tiene sobre el hormigón se evidencia principalmente en el calor de hidratación, mismo que proporciona un efecto autoacelerador en el cemento cuando se trabaja con hormigón en condiciones ambientales frías; el proceso de fraguado, en el cual se deberá procurar mantener un grado de humedad alto durante los primeros días para evitar fisuras; constancia del volumen y durabilidad. Asimismo, una falta de uniformidad en el cemento es uno de los motivos principales para que el hormigón no pueda conseguir una resistencia uniforme y con ello, no poder cumplir con las especificaciones.

Dentro del mercado laboral se presentan cinco tipos distintos de cemento Portland especificados por la ASTM C 150-61, cuyas propiedades varían de acuerdo con el uso y tipo de construcción:

Tabla 1: Tipos de Cemento

Cemento	Característica	Tipo de Uso
Tipo I	Normal	Ordinario. Sin necesidad de una propiedad especial.
Tipo II	Modificado	Pequeña variación del Tipo I, con una ligera necesidad de obtener un menor calor de hidratación o de resistir a los sulfatos.
Tipo III	Elevada resistencia inicial	Debido a una construcción con situación especial.
Tipo IV	De Bajo Calor	Requerimiento de un mínimo calor de hidratación.
Tipo V	Resistente a los Sulfatos	Estructuras altamente expuestas a los sulfatos como por ejemplo ciertas obras hidráulicas.

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

Debido al objetivo del estudio, para el desarrollo y realización de los cilindros requeridos se optó por el uso de cemento Portland Tipo I.

1.2.3.3 Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad de un material hace referencia al resultado de la división entre el esfuerzo y la deformación unitaria del mismo, asumiéndose y presentándose en la mayoría de los textos como un valor que representa el grado de rigidez de dicho material. Asimismo, se deduce que los hormigones con resistencias distintas poseerán módulos de elasticidad

diferentes ya que, al poseer grados de rigidez heterogéneos, bajo la acción de esfuerzos iguales las deformaciones producidas no serán las mismas.

Desde el punto de vista práctico, este módulo es un parámetro fundamental para el diseño estructural, lo que ayudará a determinar el efecto del flujo plástico que experimentará el concreto con las deformaciones que se producirán inmediatamente después de las cargas de servicio aplicadas. Aunque habitualmente se admite la hipótesis de que el módulo de elasticidad en las estructuras de hormigón es constante, cabe recalcar que en la realidad este módulo varía en función de varios parámetros como del tipo de agregado, sección y su forma, humedad, edad del concreto y el tiempo de aplicación de las cargas.

1.2.3.4 Parámetros para el cálculo del Módulo de Elasticidad

1.2.3.4.1 Altura

Medición necesaria de mínimo tres alturas (mm), con el objetivo de utilizar su promedio a fin de calibrar correctamente el compresómetro y procurar que este se sitúe a una misma distancia en ambos extremos del cilindro. (Ver *Tabla 20* y *Tabla 21*)

1.2.3.4.2 Diámetro

Obtención del promedio de mínimo dos diámetros (mm) para determinar el área del cilindro, utilizando este dato junto a la carga máxima para conseguir la resistencia de este. (Ver *Tabla 20* y *Tabla 21*)

1.2.3.4.3 Masa

Toma de la masa del cilindro de prueba (gr) para determinar la densidad del cilindro. (Ver *Tabla 20* y *Tabla 21*)

1.2.3.4.4 Altura Compresómetro

Longitud constante de la altura del compresómetro (mm) que junto a la deformación total calculada sirve para determinar la deformación unitaria siendo esta altura la longitud inicial del cilindro. (Ver *Tabla 20* y *Tabla 21*)

1.2.3.4.5 Tipo de Falla

El tipo de falla en un cilindro de hormigón se representa como un conjunto de grietas paralelas entre ellas que reflejan la pérdida de rigidez que sufre el material al ser sometido a compresión, de manera que cuando se ha llevado a cabo un adecuado proceso de fabricación y curado del concreto, se origina un plano de falla vertical que se considera como el tipo de falla ideal. (Ver *Tabla 20* y *Tabla 21*)

Ilustración 1: Tipos de Falla

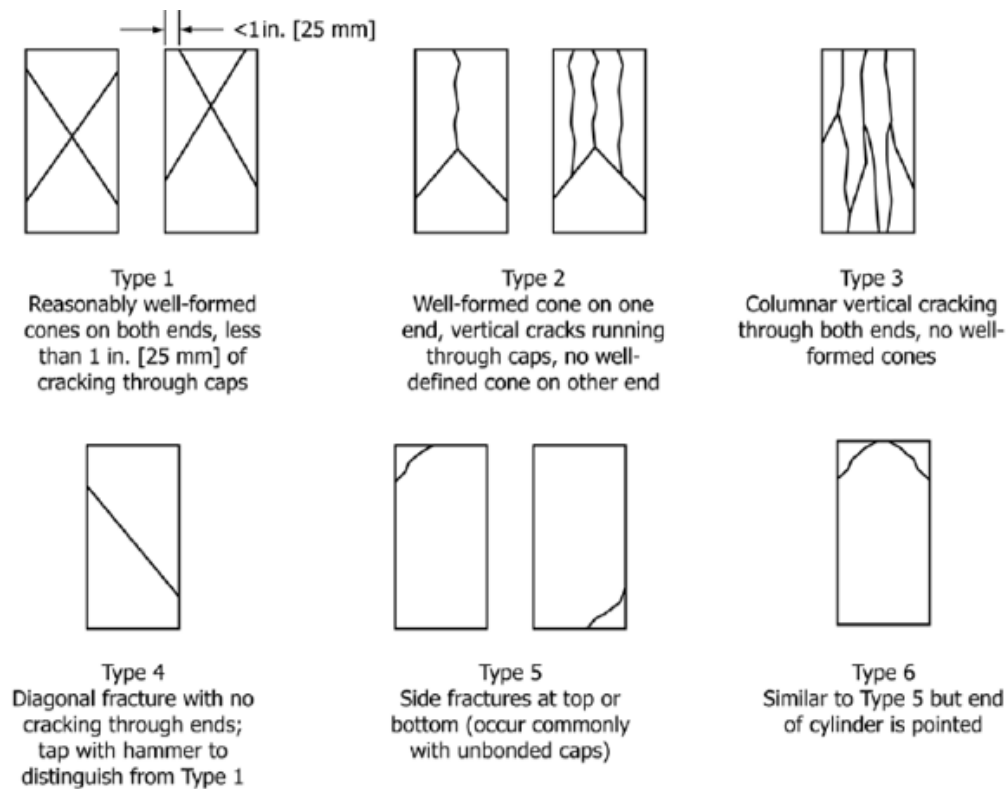


FIG. 2 Schematic of Typical Fracture Patterns

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 2017)

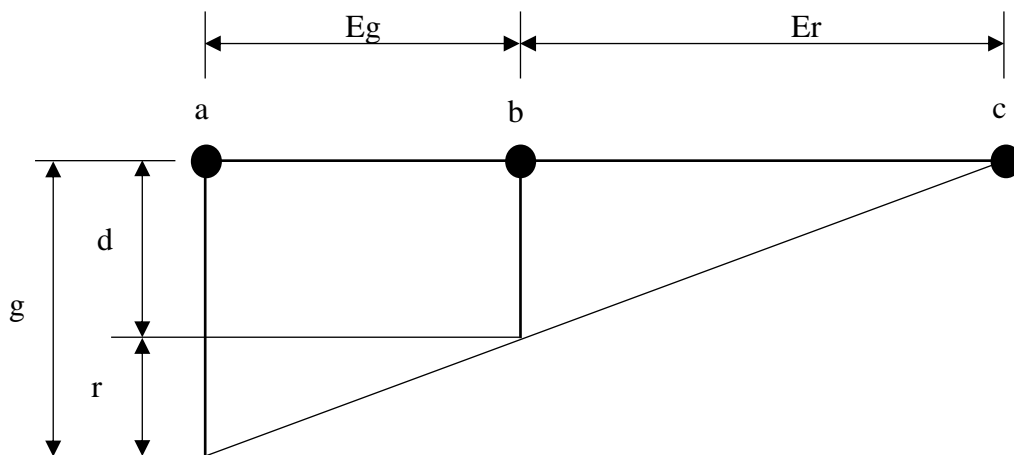
1.2.3.4.6 E_r

Determinación de la distancia medida perpendicularmente (mm) a los 0.2 mm más cercanos desde el centro del cilindro hacia uno de los extremos del soporte giratorio. (Ver *Tabla 20* y *Tabla 21*)

1.2.3.4.7 E_g

Determinación de la distancia medida perpendicularmente (mm) a los 0.2 mm más cercanos desde el centro del cilindro hacia el extremo del soporte giratorio donde se encuentra el medidor del compresómetro. Esta junto con la distancia E_r permiten calcular la deformación total de la muestra cilíndrica a lo largo de la longitud efectiva del compresómetro. (Ver *Tabla 20* y *Tabla 21*)

Ilustración 2: Diagrama de Desplazamientos



Fuente: (*Módulo Estático de Elasticidad y Relación de Poisson del Hormigón en Compresión ASTM C469/C469M – 14*)

Donde:

d =desplazamiento total debido a la deformación del espécimen

r =desplazamiento debido a la rotación del dispositivo de apriete.

a=ubicación del deformímetro

b=punto de soporte del dispositivo de apriete

c=ubicación del pivote

g=lectura del deformímetro

1.2.3.4.7 Carga Máxima

Carga axial máxima (kN) aplicada sobre el área transversal del cilindro de prueba obtenida en el ensayo de compresión, con la cual se obtiene la resistencia del espécimen. (Ver *Tabla 20* y *Tabla 21*)

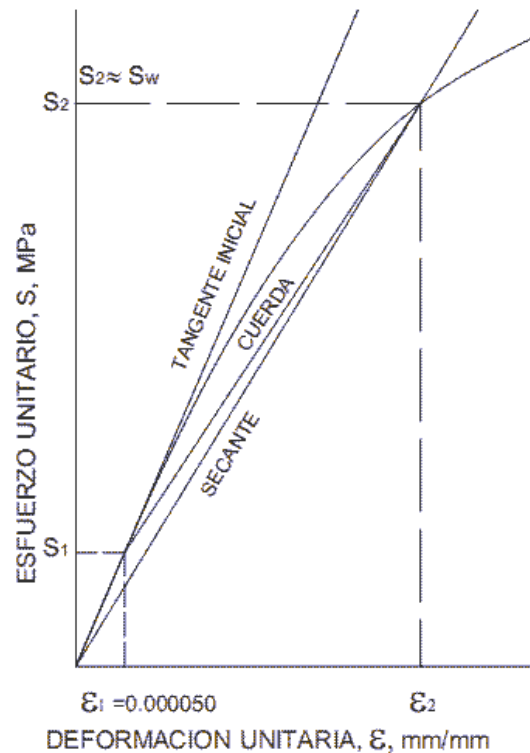
1.2.3.4.8 Resistencia

Resultado de la división de la carga máxima obtenida para el área transversal del cilindro determinada previamente con el promedio de los diámetros medidos (MPa). (Ver *Tabla 20* y *Tabla 21*)

1.2.3.5 Obtención del Módulo de Elasticidad Experimental

Dentro del diagrama esfuerzo-deformación unitaria de una probeta cilíndrica de hormigón, en compresión se pueden trazar tangentes, cuerdas o secantes hacia la curva, de forma que el Módulo Inicial Tangente de Elasticidad se caracteriza como la tangente trazada desde el origen de la curva, mientras que el Módulo Secante de Elasticidad es aquella secante trazada desde el origen de la curva (esfuerzo nulo) hasta un esfuerzo de compresión correspondiente a $0.45f_c$. En nuestro caso, el Módulo Secante de Elasticidad es la cuerda trazada desde la deformación unitaria de 50 millonésimas hasta la deformación unitaria correspondiente al 40% de la carga final.

Ilustración 3: Curva Esfuerzo-Deformación para el Hormigón



Fuente: (Ingeniería Civil, 2011)

Se comprende al módulo estático de elasticidad del hormigón como la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación unitaria dentro del rango elástico, es decir, representa la rigidez del material bajo la acción de una carga sobre él, el cual depende de varios factores como el tiempo de aplicación de la carga, tipo de agregados, edad, condiciones de humedad, tipo y forma de la sección de la muestra.

Mediante el uso de la norma ASTM C49 para la Determinación del Módulo de Elasticidad Estático y Coeficiente de Poisson del Hormigón en Compresión se procede a calcular el módulo experimental de cada cilindro para las resistencias correspondientes por medio de la observación y análisis de la deformación lineal que experimenta cada muestra durante el ensayo de compresión de manera que se registre la lectura del deformímetro cada 25000 newtons de la carga aplicada hasta que el cilindro llegue a su carga máxima y falle, es decir, hasta que se produzca su ruptura.

Luego del proceso anterior, se busca obtener la deformación unitaria de cada cilindro mediante la obtención previa de su deformación total, la cual es un parámetro calculado con

las distancias E_r y E_g , medidas que ayudan a definir el desplazamiento real del espécimen a lo largo de su longitud efectiva por medio de la fórmula:

Fórmula 1: Deformación total del espécimen

$$d = \frac{g * E_r}{(E_r + E_g)}$$

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 2014)

Donde:

d=deformación total del espécimen a lo largo de la longitud efectiva del deformímetro.

g=lectura del deformímetro.

E_r=distancia perpendicular medida al 0.2 mm más cercano desde el pivote al plano vertical.

E_g=distancia perpendicular medida al 0.2 mm más cercano desde el medidor al plano vertical

La deformación unitaria es el resultado de la deformación longitudinal leída en el deformímetro para la longitud efectiva del mismo la cual es constante para todos los cilindros:

Fórmula 2: Deformación Unitaria

$$\varepsilon = \frac{d}{L}$$

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 2014)

Donde:

ε=deformación unitaria (mm/mm).

d=deformación total del espécimen a lo largo de la longitud efectiva del deformímetro (mm).

L=altura del equipo (compresómetro) (mm).

Para llegar a conseguir el módulo de elasticidad experimental de cada cilindro primeramente se pasa a identificar el 40% de la carga máxima aplicada, así como también su deformación unitaria para luego determinar el esfuerzo producido para una deformación unitaria de 0.00005. La razón por la cual se utiliza el 40% de la carga final de compresión se debe a que esta representa la carga máxima para la prueba del módulo de elasticidad debido a que, hasta este punto, el hormigón sigue teniendo un comportamiento semielástico.

Fórmula 3: Módulo de Estático de Elasticidad

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.00005)}$$

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 2014)

Donde:

E = Módulo de elasticidad (MPa)

S_2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga máxima (MPa).

S_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria de 50 millonésimas (MPa).

ε_2 = Deformación unitaria producida por el esfuerzo S_2 (mm/mm).

CAPÍTULO II

Dentro de este capítulo se abarcarán los ensayos sobre los agregados fino y grueso cuyos resultados son esenciales en el cálculo de la dosificación al peso para la elaboración de los cilindros.

2.1 ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

2.1.1 MUESTREO DE LOS AGREGADOS

Se procedió a obtener las muestras de agregados mediante la homogenización de un saco de cada material para luego proceder con el cuarteo de este y realizar los ensayos correspondientes. Respecto a las características de los agregados, para el fino se utilizó arena roja mientras que para el grueso se obtuvo ripio azul y rojo #67 correspondiente a un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " de pulgada (19 mm).

2.1.2 CUARTEO MECÁNICO

Norma NTE INEN 695.

Existen dos tipos de cuarteo de áridos: manual y mecánico. Se optó por el mecánico ya que utiliza un cuarteador mecánico que homogeniza los agregados de mejor manera que el manual y que por lo tanto convierte a este en un método más adecuado para usar.

Este es el primer ensayo realizado con el objetivo de homogeneizar el material para posteriormente obtener muestras representativas con las cuales se definen las características físico-mecánicas de los agregados a usar en la elaboración de los cilindros. Cabe recalcar que se eligió una cantidad de muestra mayor a la requerida para mayor representatividad, la cual posteriormente se la secó en el horno para la realización de los ensayos requeridos.

Su importancia radica en que con la ejecución de este ensayo se obtendrán mejores resultados ya que representa condiciones de los agregados más aproximadas a la realidad.

2.1.3 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

Normas NTE INEN 696; AASHTO T-27; ASTM C-136.

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

Para la realización de este ensayo se tomó una muestra seca de material fino y grueso mayor a la masa mínima requerida en la norma para el posterior uso del material retenido en cada tamiz en otros ensayos.

Para cualquier obra civil se deben utilizar agregados cuyas proporciones para cada tamaño estén dentro del rango establecido en la especificación (ASTM C33-NTE INEN 0696; NTE INEN 0872) lo cual indicará que sus características son aptas para la elaboración de hormigón. Asimismo, estos porcentajes de tamaño de agregado señalan una adecuada distribución de las partículas dentro del hormigón, lo cual disminuirá el porcentaje de vacíos en el hormigón, siendo esta una característica que influye en la resistencia del mismo. De igual forma, la granulometría es un parámetro para la evaluación de la calidad y resistencia de los agregados usados en el hormigón.

2.1.3.1 AGREGADO GRUESO

Se busca determinar si los agregados cumplen y se encuentran dentro del rango de la especificación NTE INEN 0872-11 de la siguiente tabla correspondiente al agregado con número de tamaño #67 (tamaños nominales de 19 mm a 4.75 mm), con el objetivo de determinar si eran adecuados para la fabricación de los cilindros de hormigón.

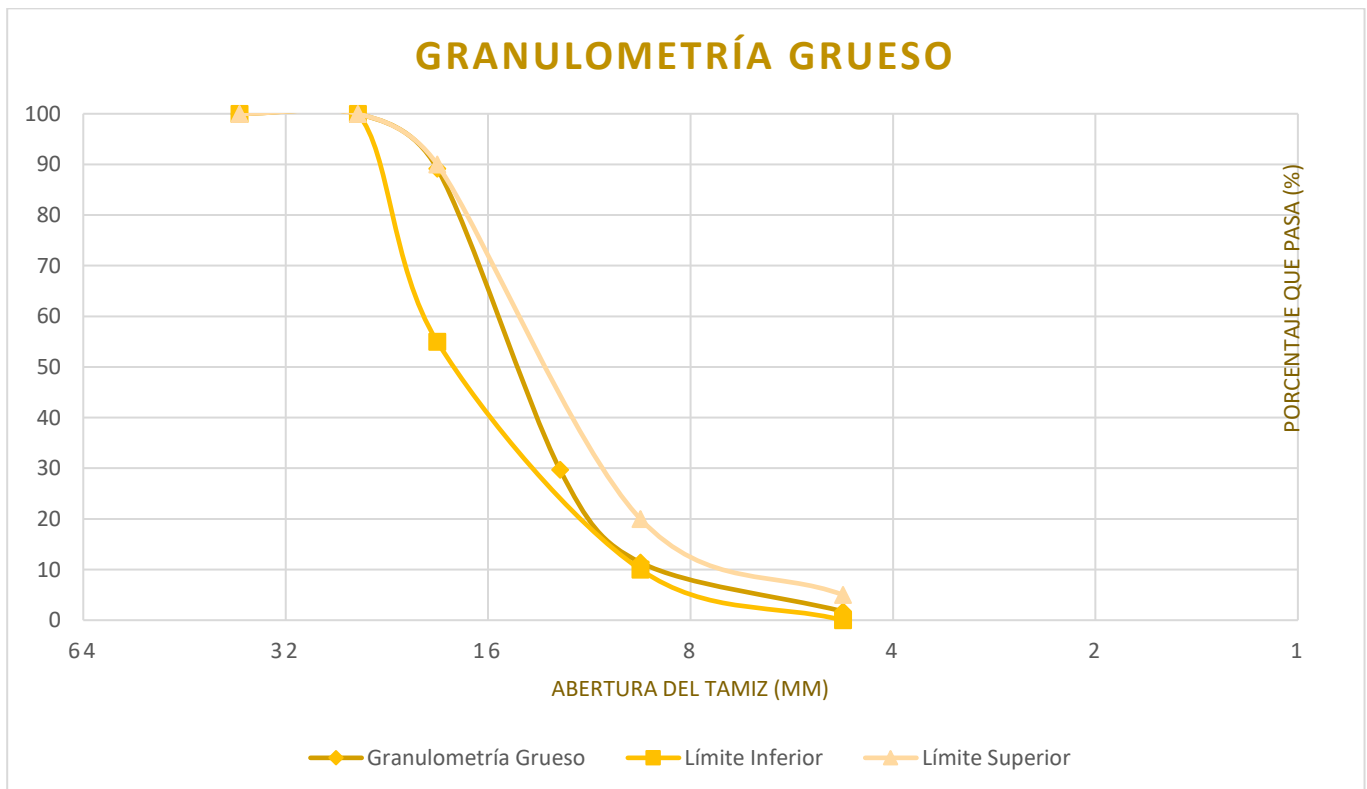
Tabla 2: Requisitos de gradación para áridos grueso

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

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

Fuente: Tabla 2. Requisitos de gradación para áridos gruesos. Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN 0872-11)

Ilustración 4: Curva Granulométrica del agregado grueso



Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

2.1.3.2 AGREGADO FINO

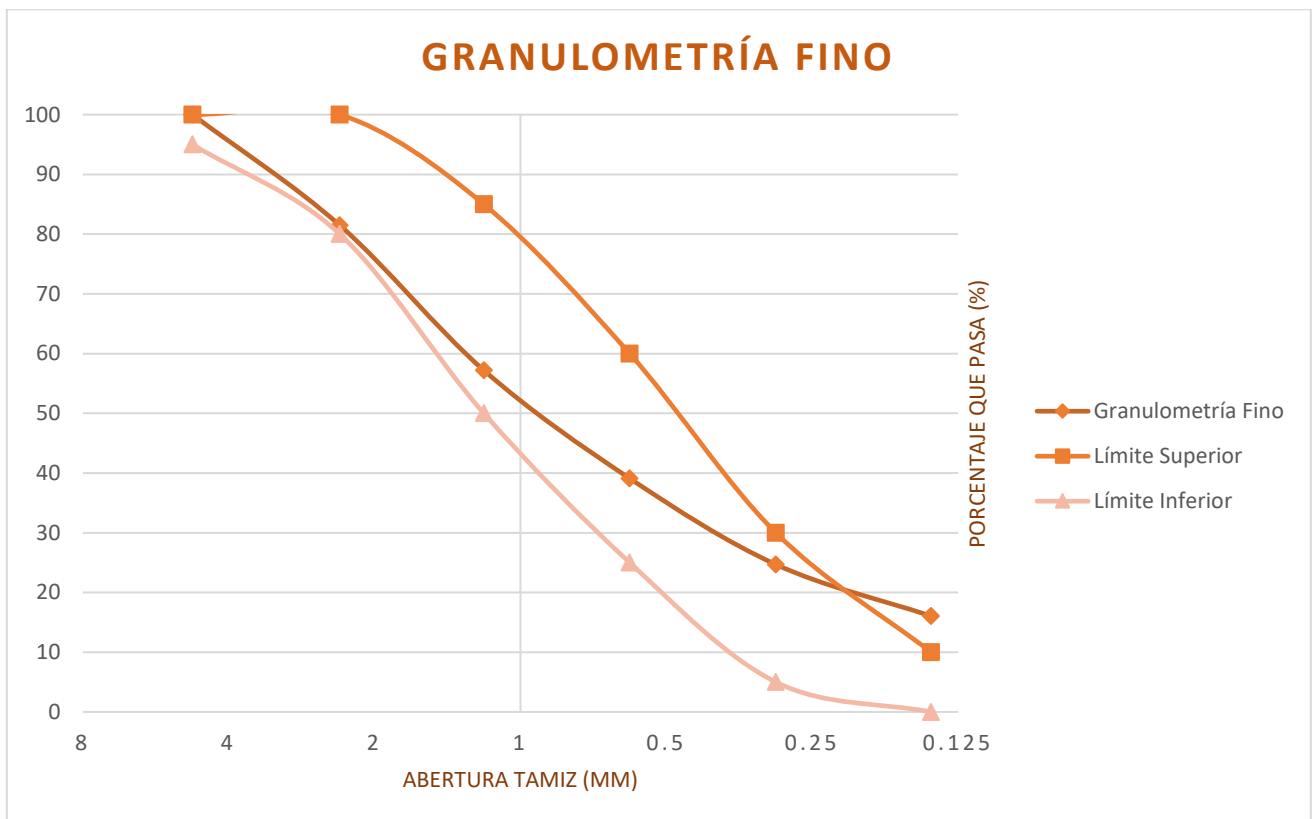
Se procura analizar e identificar si los resultados de la granulometría de este agregado cumplen y se encuentran dentro del rango de la especificación NTE INEN 0872-11 de la siguiente tabla, con el objetivo de determinar si son adecuados para la fabricación de los cilindros de hormigón.

Tabla 3: Gradación para áridos finos

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 10
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	5 a 30
150 μm	0 a 10

Fuente: Gradación para áridos finos. Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN 0872-11)

Ilustración 5: Curva Granulométrica del agregado fino



Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

Análisis de resultados: Luego de realizar el ensayo y obtener los porcentajes acumulados que pasan cada tamiz, se determinó que la gradación de nuestro material cumple con los rangos establecidos en la norma NTE INEN 872-11, y que por tanto tendrá un buen desempeño para la elaboración de los cilindros de hormigón.

2.1.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

Normas NTE INEN 856-857; AASHTO T-84,85; ASTM C-127,128.

2.1.4.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA

“Es la relación entre la masa (o peso en el aire) de una unidad de volumen de un material para la masa del mismo volumen de agua a una temperatura indicada. Los valores son adimensionales”. (American Society for Testing and Materials, 2001)

El ensayo es importante porque se basa en la utilización de sus resultados para identificar la cantidad de agregados que está presente en una mezcla de concreto. Estos datos serán importantes para realizar una correcta dosificación al peso ya que la gravedad específica saturada con superficie seca de los agregados determinará junto con la gravedad específica del cemento, el peso unitario del hormigón para una resistencia requerida, así como también la cantidad de agregados a usar.

Asimismo, este ensayo se diferencia del de peso unitario en que no incluye el porcentaje de vacíos presente en el material mientras que en este último sí. Cabe recalcar que los resultados obtenidos corresponden a la densidad sólida de una cantidad de agregado (SH), de su densidad relativa aparente la cual es adimensional, y de su densidad saturada con superficie seca (SSS) la cual está previamente saturada por un tiempo determinado.

2.1.4.2 ABSORCIÓN

“Es el incremento de peso del agregado por agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de peso seco. El agregado es considerado seco cuando este ha sido mantenido a una temperatura 110

$\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante el suficiente tiempo para eliminar toda el agua sin combinar”. (American Society for Testing and Materials, 2001)

Es importante la realización de este ensayo ya que está directamente relacionado con la relación agua/cemento (a/c), es decir, que frente a un material muy seco, esta relación es mayor, mientras que, para un material húmedo esta relación disminuye; y por lo tanto este ensayo es una muestra del cambio en la masa y de la cantidad de agua que el agregado requiere para eliminar sus vacíos durante la fabricación del hormigón.

Resultados

Tabla 4: Gravedad Específica de los agregados

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS		
AGREGADO GRUESO	Ge	2.33
	Ges	2.39
	Gea	2.49
	Ab	2.81%
AGREGADO FINO	Ge	2.41
	Ges	2.51
	Gea	2.68
	Ab	4.17%

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

2.1.5 PESO UNITARIO

Normas NTE INEN 858; AASHTO T-19; ASTM C-29

“El peso unitario consiste en determinar la densidad total como el resultado de dividir la masa de un agregado en estado seco (en un determinado nivel de consolidación o compactación) y el volumen que éste ocupa incluyendo los vacíos de aire entre partículas y los de absorción y se expresa en lbf/pie^3 (kg/m^3). Los resultados obtenidos en este ensayo son necesarios para el proporcionamiento de mezclas de concreto hidráulico y para conversiones masa/volumen en la aceptación de materiales en la obra.” (Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas")

El peso unitario permite identificar el comportamiento que tiene el agregado a ensayar frente a condiciones reales de construcción de una obra civil como por ejemplo en el transporte y almacenamiento de material, o en nuestro caso, para su uso en una mezcla de concreto, permitiendo así determinar la calidad de los agregados a través de la obtención de su peso unitario suelto y compactado luego de secarlo en el horno a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, en donde el peso unitario suelto se diferencia por tener menor peso que el compactado debido a la presencia de vacíos, mientras que en el segundo este porcentaje disminuye al utilizar una barra compactadora con la que se proporcionan 25 golpes por capa (3 en total) de manera que se ocupen en su mayoría los espacios presentes en el mismo. Cabe destacar que el peso unitario aparte del grado de compactación depende directamente de la forma, distribución y tamaño de las partículas del árido a ensayar.

Resultados

Tabla 5: Peso Unitario de los agregados

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS				
		No. 1	No. 2	Promedio
AGREGADO GRUESO	Pus	1233.79 Kg/m ³	1230.88 Kg/m ³	1232.34 Kg/m ³
	Puc	1396.63 Kg/m ³	1369 Kg/m ³	1382.82 Kg/m ³
	Ms	8486 gr	8466 gr	8476 gr
	Mc	9606 gr	9416 gr	9511 gr
AGREGADO FINO	Pus	1637.41 Kg/m ³	1788.74 Kg/m ³	1713.08 Kg/m ³
	Puc	2103.51 Kg/m ³	2164.04 Kg/m ³	2133.78 Kg/m ³
	Ms	2705 gr	2955 gr	2830 gr
	Mc	3475 gr	3575 gr	3530 gr

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

2.1.6 CONTENIDO DE HUMEDAD

Normas NTE INEN 862; AASHTO T-55; ASTM C-566

Se define al contenido de humedad de un agregado como la expresión en porcentaje de la cantidad de agua evaporable presente en una muestra de árido por el método de secado a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Este resultado es fundamental para procurar la correcta elaboración de hormigón ya que este dato es esencial para definir la cantidad de agua de mezcla necesaria en la dosificación del mismo.

Resultados

Tabla 6: Contenido de Humedad de los agregados

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS				
		No. 1	No. 2	Promedio
AGREGADO GRUESO	%H	0.671	0.502	0.587
AGREGADO FINO	%H	6.383	6.610	6.497

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

2.1.7 DESGASTE POR ABRASIÓN

Normas NTE INEN 861,860; AASHTO T-96; C-131

El ensayo de desgaste por abrasión es un indicador de la calidad del agregado grueso el cual afecta la resistencia y durabilidad del hormigón. Según su desgaste o degradación sufrida en la máquina de los ángeles, es posible determinar varias características físicas y mecánicas del comportamiento del hormigón, ya que sirve para definir la elaboración de una mezcla resistente y de calidad a partir del uso de estos materiales, así como también para asegurar su durabilidad y trabajabilidad en la fabricación de todo tipo de estructuras

El ensayo se lleva a cabo en la Máquina de los Ángeles, misma que tiene un movimiento rotatorio con velocidad entre 30 y 33 rpm y graduada para detenerse luego de 500 revoluciones. Según el tipo de gradación del material que en este caso correspondió al tipo B, el número de esferas a utilizar en la máquina es de 11, las cuales impactan con el agregado para desgastarlo y, de acuerdo con esto, obtener un indicador de la calidad del mismo.

Tabla 7: Gradación de las muestras de ensayo de abrasión

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1251 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1252 ± 10	2500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1253 ± 10	2501 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2501 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2501 ± 10	---
4,75	2,36	---	---		5000 ± 10
	Total	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Tabla 2: Gradación de las muestras de ensayo. Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN 0860-11)

Resultados

Tabla 8: Desgaste por abrasión del agregado grueso

DESGASTE POR ABRASIÓN		
AGREGADO GRUESO	%Desgaste	24.60%

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

Análisis de resultados: En base a la norma expuesta NTE INEN 860-11, se concluye que el porcentaje obtenido se encuentra dentro del límite correspondiente al ser menor del 50% de desgaste, y por ello se lo considera un material resistente y adecuado para la fabricación de hormigón.

CAPÍTULO III

Dentro de este capítulo se detalla el procedimiento y los cálculos necesarios para la obtención de la dosificación óptima que proporcione las resistencias requeridas correspondientes a 210 kg/cm² y 240 kg/cm².

3.1 DOSIFICACIÓN AL PESO MÉTODO ACI

“Los métodos de dosificación de hormigones tienen por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc.” (Universidad de Cantabria)

La elección del método ACI se fundamenta en la obtención de una mayor precisión en cuanto a las cantidades de material y agua necesarios para lograr una resistencia requerida. Por ello, se considera adecuado su uso, el cual presenta tablas estandarizadas que indican valores idóneos para realizar la dosificación que igualmente debe ser verificada mediante la elaboración de mezclas de prueba previas con el objetivo de realizar los ajustes necesarios y conseguir las características esperadas en el hormigón fresco y endurecido.

3.1.1 ASENTAMIENTO

Es un indicador de la manejabilidad, plasticidad, consistencia y resistencia del hormigón, lo cual depende de la variación de la cantidad de cada componente; por este motivo es importante determinar un rango de revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción que se vaya a realizar, ya que, si no se cumple con este, no solo se afectan las características antes mencionadas, sino que también lo hace su resistencia.

Tabla 9: Asentamientos para cada Tipo de Construcción

Construcción de Concreto	Revenimiento mm (pulg.)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columna de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

*Se puede aumentar 25 mm (1 pulg.) para los métodos de consolidación manuales, tales como varillado o picado.

Los plastificantes pueden proveer revenimientos mayores.

Adaptada del ACI 211.1

Fuente: (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerckhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004)

3.1.2 AGUA NETA Y CONTENIDO DE AIRE

3.1.2.1 Tamaño Máximo Nominal del Agregado

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

(i) 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado

(ii) 1/3 del espesor de las losas;

(iii) 3/4 del espaciamiento mínimo libre especificado entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, refuerzo preesforzado, tendones individuales, paquetes de tendones, o ductos. (American Concrete Institute, 2014)

En base a la elección previa de asentamiento y obtención del tamaño máximo nominal del agregado grueso, se determina por medio de la *Tabla 10* la cantidad de agua neta y contenido de aire atrapado en un hormigón con o sin aire incluido.

Tabla 10: Agua de Neta y Contenido de Aire en base al Asentamiento y Tamaño Máximo Nominal del Agregado

Tamaño Máximo Nominal (mm) →	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Revenimiento (asentamiento) (mm) ↓	Concreto sin aire incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	--
Cantidad de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
	Concreto con aire incluido							
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	--
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje †								
Exposición blanda	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Exposición moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposición severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

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

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

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

Fuente: (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerckhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004)

3.1.3 RESISTENCIA DE DISEÑO

Para la elección de la relación agua/cemento se debe determinar previamente la resistencia de diseño por medio de la afectación de la resistencia requerida con un factor de seguridad que por lo general tiene un rango del 3% al 12%, mismo que refleja las variaciones que pueden producirse en los materiales, transporte, mezcla, curado y colocación del hormigón, de manera que los cálculos para obtener las cantidades de material se trabajan posteriormente con esta nueva resistencia, a partir del uso de la siguiente fórmula:

Fórmula 4: Determinación de la resistencia de diseño

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

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

3.1.4 RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C)

En base a la resistencia de diseño obtenida anteriormente y para que el hormigón que se fabrique cumpla con la resistencia prevista evitando desecación y retracción prematura, aportando trabajabilidad, hidratación suficiente del cemento y gran durabilidad; se determina la relación agua/cemento, siendo este el menor valor para alcanzar la resistencia pronosticada.

Tabla 11: Relación agua/cemento para cada resistencia

Resistencia compresión a los 28 días, kg/cm ² (Mpa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0,38 (0,38)	0,31 (0,30)
400 (40)	0,43 (0,42)	0,34 (0,34)
350 (35)	0,48 (0,47)	0,40 (0,39)
300 (30)	0,55 (0,54)	0,46 (0,45)
250 (25)	0,62 (0,61)	0,53 (0,52)
200 (20)	0,70 (0,69)	0,61 (0,60)
150 (15)	0,80 (0,79)	0,72 (0,70)

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

Fuente: (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004)

3.1.5 CANTIDAD DE CEMENTO

Habiendo conseguido previamente la relación agua/cemento y la cantidad de agua neta, se determina la cantidad de cemento necesario para la dosificación, despejando los datos conocidos de dicha relación:

Fórmula 5: Relación Agua/Cemento

$$\text{Relación}(a/c) = \frac{\text{Agua Neta}}{\text{Cemento}}$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

3.1.6 CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO EN ESTADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA

3.1.6.1 Módulo de Finura del Agregado Grueso

Con el fin de obtener la cantidad de agregado grueso necesaria para la dosificación, se debe determinar en primer lugar el módulo de finura del agregado fino, el cual se lo adquiere mediante la siguiente fórmula que utiliza la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados determinados en el ensayo granulométrico y los divide para 100.

Fórmula 6: Módulo de Finura del Agregado Fino

$$MF_{fino} = \frac{\%retenido\ acumulado(N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

3.1.6.2 Factor Volumétrico del Agregado Grueso con relación al Concreto

Al conseguir el módulo de finura del agregado fino se procede a determinar junto con el tamaño máximo nominal el factor volumétrico del agregado grueso en relación al volumen de hormigón por medio de la *Tabla 12* que utiliza relaciones empíricas para lograr mayor manejabilidad del concreto, o de la *Ilustración 3*. Con ayuda de este factor y con el Puc del agregado grueso (Peso Unitario Compactado) obtenido en el ensayo de Peso Unitario de los Agregados, se determina la cantidad de agregado grueso requerida.

Fórmula 7: Cantidad de Agregado Grueso SSS

$$Cantidad\ de\ Agregado\ Grueso_{SSS} = Factor\ Volumétrico * Puc_{grueso}$$

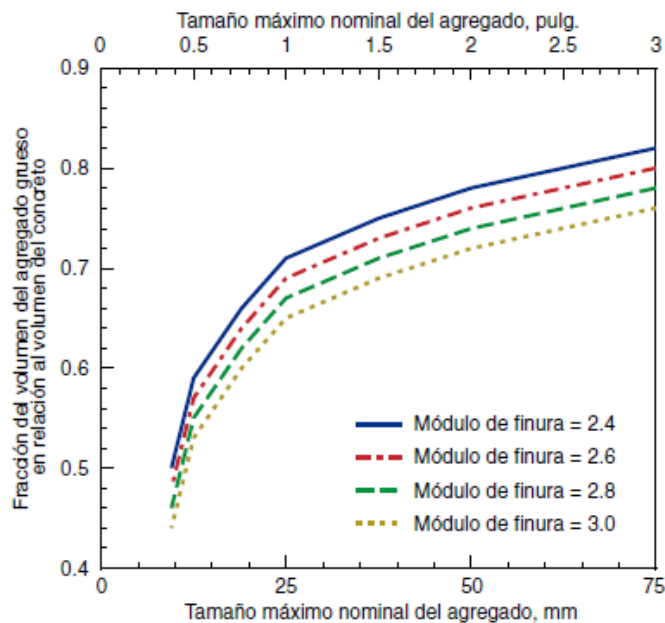
Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

Tabla 12: Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Hormigón

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 (3/8)	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (1/2)	0,59	0,57	0,55	0,53
19,00 (3/4)	0,66	0,64	0,62	0,6
25,00 (1)	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1 1/2)	0,75	0,73	0,71	0,69
50 (2)	0,78	0,76	0,74	0,72
75 (3)	0,82	0,8	0,78	0,76
150 (6)	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004)

Ilustración 6: Volumen del Agregado Grueso por Unidad de Volumen de Hormigón



Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto. Los volúmenes se basan en agregados en la condición varillados en seco, como se describe en ASTM C 29 (AASHTO T 19). Para concretos más trabajables, como los concretos bombeables, este volumen se puede reducir hasta 10%.

Fuente: (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004)

3.1.7 PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN

Para conseguir la cantidad de agregado fino SSS primero se debe obtener el peso unitario del hormigón usando los datos obtenidos inicialmente correspondientes a:

Fórmula 8: Peso Unitario del Hormigón

$$P_{uh} = U_m = 10 G_a(100 - A) + C_m \left(1 - \frac{G_a}{G_c}\right) - W_m (G_a - 1)$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

C_m: Cantidad de Cemento

G_a: Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca de todo el material

A: Contenido de Aire expresado en porcentaje

G_c: Gravedad Específica del Cemento

Cabe recalcar que la Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca de todo el material se la obtiene mediante el promedio de las gravedades SSS del agregado grueso y fino.

Fórmula 9: Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca de todo el material

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

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

3.1.8 CANTIDAD DE AGREGADO FINO EN ESTADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA

Con los datos obtenidos previamente se determina la cantidad de agregado fino en estado saturado con superficie seca para luego determinar las cantidades de agregado en estado natural.

Fórmula 10: Cantidad de Agregado Fino SSS

$$\text{Cantidad de Agregado Fino}_{SSS} = U_m - C_m - \text{Agua Neta} - \text{Cantidad de Agregado Grueso}_{SSS}$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

3.1.9.1 Método Modificado (Elegido)

Una opción alterna al procedimiento anterior es el modificado, mismo que elegimos para realizar el diseño de nuestros cilindros de hormigón, dentro del cual se determina una

cantidad total de agregados en estado saturado con superficie seca para luego determinar una proporción de cada agregado mediante la asignación de un porcentaje a cada uno y que en total ambos conformen el 100% de la mezcla; de manera que la *Fórmula 7* se ve modificada para luego asignar un porcentaje a cada agregado:

Fórmula 11: Cantidad de Agregados SSS (Modificado)

$$\text{Cantidad de Agregados}_{SSS} = U_m - C_m - \text{Agua Neta}$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

Fórmula 12: Proporción de Agregados (Modificado)

$$\text{Agregado grueso}_{SSS} + \text{Agregado fino}_{SSS} = 100\%$$

$$\text{Agregado grueso}_{SSS} = \% * \text{Cantidad de Agregados}_{SSS}$$

$$\text{Agregado fino}_{SSS} = \% * \text{Cantidad de Agregados}_{SSS}$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

3.1.9 CANTIDAD DE AGREGADOS EN ESTADO NATURAL

3.1.9.1 Cantidad de Agregado en Estado Seco

Para lograr obtener la cantidad de agregado fino y grueso en estado natural, se debe primeramente obtener estas porciones en estado seco para luego transformarlas con el uso de los resultados de absorción y humedad natural de cada uno, obtenidos previamente en los ensayos que llevan el mismo nombre.

Fórmula 13: Cantidad de Agregado en Estado Seco

$$\text{Cantidad de agregado grueso/fino}_{seco} = \frac{\text{Cantidad de agregado grueso/fino}_{SSS}}{\left(1 + \frac{\% \text{Absorción}}{100}\right)}$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

Fórmula 14: Cantidad de Agregado en Estado Natural

$$\text{Cantidad de agregado } g/f_{\text{natural}} = \text{Cant. de agregado grueso}/f_{\text{fino}_{\text{seco}}} * \left(1 + \frac{\% \text{Humedad}}{100}\right)$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

3.1.10 AGUA DE MEZCLA

Los resultados provenientes de los ensayos de Humedad Natural y Absorción, así como también el agua neta obtenida en la *Tabla 10* y la cantidad de agregado fino y grueso en estado seco, sirven para la obtención de la cantidad de agua de mezcla necesaria para la dosificación determinada por la siguiente fórmula:

Fórmula 15: Agua de Mezcla

$$\text{Agua de Mezcla} = \text{Agua Neta} + \text{Cant. agreg. grueso}_{\text{seco}} * \frac{(\% \text{Abs} - \% \text{H})}{100} + \text{Cant. agreg. fino}_{\text{seco}} * \frac{(\% \text{Abs} - \% \text{H})}{100}$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

Cabe destacar que el exceso de agua de mezcla puede provocar fisuras por asentamiento o grietas por contracción, aparte de una considerable reducción en la resistencia del hormigón que se vaya a fabricar. De igual manera se debe tener cuidado de que no exista un exceso de impurezas en el agua ya que estas pueden producir una disminución de la durabilidad, manchas, eflorescencias o corrosión.

3.1.11 REESTIMACIÓN

En caso de no haber obtenido el asentamiento esperado o de existir una gran diferencia entre el peso unitario real y calculado del hormigón, se debe realizar la reestimación de la mezcla determinando el factor F1 para luego utilizarlo en el nuevo cálculo del agua neta y así, obtener nuevas cantidades de cemento, agua de mezcla y agregados.

Fórmula 16: Factor de reestimación de agua neta

$$F_1 = \frac{\sum \text{Materiales mezclados}}{P_{uh_{real}}}$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

Fórmula 17: Agua Neta Nueva

$$\text{Agua Neta}_{\text{Nueva}} = \frac{\text{Agua Neta Usada}}{F_1} + 2 * (\text{Asent.}_{\text{requerido}} - \text{Asent.}_{\text{obtenido}})$$

Fuente: (American Concrete Institute, 1991)

3.1.12 CÁLCULO DE PREDISEÑO

Para cumplir y llegar a las resistencias requeridas se realizaron dos prediseños para cada resistencia de 6 cilindros cada uno para ensayar dos cilindros a los 7 días, dos a los 14 días y dos a los 28 días; con el objetivo de encontrar y utilizar la dosificación más adecuada. Por ello, se eligieron las siguientes proporciones para cada resistencia:

Tabla 13: Proporciones de Prediseño

RESISTENCIAS	PROPORCIONES	
	Grueso	Fino
210 kg/cm ²	52%	48%
	49%	51%
240 kg/cm ²	49%	51%
	50%	50%

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

Luego de realizar el ensayo de compresión simple para cada mezcla con las proporciones anteriores, se concluye que la dosificación más idónea para ambas resistencias corresponde a la proporción de 51%-49%. Por ello, dentro del prediseño, las cantidades de cada material y para cada resistencia al elaborar 6 cilindros es:

Tabla 14: Cantidades de material para el prediseño de ambas resistencias

Resistencia 240 kg/cm ²			Resistencia 210 kg/cm ²		
Asentamiento	10 cm		Asentamiento	10 cm	
TMN	19.1 mm		TMN	19.1 mm	
Agua Neta	205 kg/m ³		Agua Neta	205 kg/m ³	
Contenido Aire	2%		Contenido Aire	2%	
Factor Seguridad	3%		Factor Seguridad	3%	
Relación A/C	0.504		Relación A/C	0.554	
Agua de Mezcla	200 kg/m ³	6.41 kg	Agua de Mezcla	200 kg/m ³	6.41 kg
Cemento	406 kg/m ³	13.00 kg	Cemento	370 kg/m ³	11.84 kg
Ripio	746 kg/m ³	23.86 kg	Ripio	760 kg/m ³	24.32 kg
Arena	820 kg/m ³	26.25 kg	Arena	836 kg/m ³	26.76 kg

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

Al llegar los 28 días de curado continuo, se ensayan a compresión simple los cilindros correspondientes a los diseños para 210 y 240 kg/cm² con el objetivo de determinar cuál es la mejor proporción de agregados a utilizar en base a los resultados de resistencia obtenidos.

Tabla 15: Resultados de ensayo de Compresión Simple de Cilindros de Prediseño

Identificación	Descripción	Resistencia esperada(kg/cm ²)	Días	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Altura 1 (mm)	Altura 2 (mm)	Altura 3 (mm)	Masa (kg)	Carga Máxima (kN)	Tipo de Falla	Resistencia (kg/cm ²)
1	52G-48F	210	28	149,72	150,5	305,00	306,00	306,00	12,32	361,50	6	208,294788
2	52G-48F	210	28	152,08	151,54	307,00	306,00	307,00	12,37	368,40	6	207,545312
3	49G-51F	210	28	152,82	153,64	305,09	305,73	306,55	12,88	409,90	5	226,662496
4	49G-51F	210	28	152,21	152,08	305,59	306,10	305,89	12,45	387,33	5	217,247666
5	49G-51F	240	28	152,71	152,8	306,25	306	307	12,63	450,8	5	250,831682
6	49G-51F	240	28	151,75	152,42	307,22	306,14	306,35	12,59	441,2	5	247,657846
7	50G-50F	240	28	151,86	151,93	307,80	307,27	307,11	12,56	413,70	5	232,802649
8	50G-50F	240	28	151,63	151,59	306,32	305,98	306,10	12,49	422,96	5	238,909244

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

3.1.12.1 Adicionales

Es necesario aclarar la importancia de obtener el porcentaje de humedad de los agregados cada vez que se fabriquen los cilindros de hormigón en distintos días, ya que esta varía considerablemente con el pasar del tiempo.

De igual manera, se utilizó una tabla de estimaciones de relaciones agua/cemento para distintas resistencias elaborada por el Ing. Lauro Lara docente de la PUCE, con experiencia en el Laboratorio de Hormigones de esta universidad y en los materiales pétreos de la provincia de Pichincha.

Tabla 16: Relación agua/cemento modificada

Resistencia compresión 28 días kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Cemento Portland (ACI 211.1)	Cemento Modificado IP, P, (Ing. Lauro Lara)
400 (40)	0,42	0,33
350 (35)	0,47	0,38
300(30)	0,54	0,43
250 (25)	0,61	0,5
200 (20)	0,69	0,58
150 (15)	0,79	0,67

Fuente: (Ing. Lauro Lara)

3.2 ENSAYOS EN EL HORMIGÓN FRESCO

3.2.1 CONTENIDO DE AIRE

Normas AASHTO T-152, ASTM C-231

Este ensayo permite determinar el contenido de aire que tiene el hormigón fresco debido al cambio de volumen que este experimenta por el cambio en la presión, de manera que, mediante la energía de compactación aplicada al recipiente con hormigón en tres capas, se trata de eliminar la mayor cantidad de burbujas de aire existentes en el interior.

Es uno de los valores iniciales para obtener la dosificación, el cual se elige a partir del tamaño máximo nominal del agregado que en nuestro caso es de 19 mm, correspondiendo así un contenido de aire del 2% (*Tabla 10*) el cual se lo comprueba en la práctica mediante este ensayo.

Tabla 17: Contenido de Aire en el Hormigón Fresco

Resistencia (kg/cm ²)	Contenido de Aire (%)
210	1.97
240	1.95

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

3.2.2 PENETRACIÓN

Normas AASHTO T-183, ASTM C-360

Permite determinar la profundidad con la que una carga metálica (semiesfera de Kelly) penetra en el hormigón fresco luego de su descarga, donde se realizan tres mediciones como mínimo en las cuales la diferencia entre la lectura máxima y mínima no debe ser mayor a 25 mm. Cabe recalcar que este ensayo junto con el de revenimiento, es un indicador de la consistencia del hormigón fresco.

Tabla 18: Penetración en el Hormigón Fresco

Lectura	Penetración (cm)
1	3.1
2	4.3
3	5.5

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

3.2.3 ASENTAMIENTO

Normas AASHTO T-119, ASTM C-143

Es un ensayo que permite establecer el nivel de trabajabilidad del hormigón mediante la obtención previa de su consistencia, la cual se determina comúnmente con el cono de Abrams. Por ello, este ensayo proporciona la información necesaria para identificar que la mezcla tenga consistencia plástica y que no llegue a ser ni muy seca, ya que al intentar amasarla puede disgregarse; ni tan fluida, ya que sus componentes pueden segregarse haciendo que el agregado grueso no pueda envolverse de mortero sino de agua.

Cabe mencionar que los cilindros realizados con las resistencias correspondientes fueron diseñados y comprobados con un asentamiento de 10 cm.

CAPÍTULO IV

En el presente capítulo se detalla el procedimiento llevado a cabo para la determinación del módulo de elasticidad experimental, así como también de la obtención de dicho módulo, a partir de los resultados obtenidos en los ensayos repetitivos.

4.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN

Luego de realizar las pruebas de diseño y obtener la dosificación para las resistencias requeridas, se procedió a elaborar los 60 cilindros de hormigón correspondientes a las resistencias de 210 y 240 kg/cm² con los siguientes parámetros y cantidades:

Tabla 19: Cantidades de material para diseño definitivo de ambas resistencias

Resistencia 240 kg/cm ²			Resistencia 210 kg/cm ²		
Asentamiento	10 cm		Asentamiento	10 cm	
TMN	19.1 mm		TMN	19.1 mm	
Agua Neta	205 kg/m ³		Agua Neta	205 kg/m ³	
Contenido Aire	2%		Contenido Aire	2%	
Factor Seguridad	5%		Factor Seguridad	5%	
Relación A/C	0.497		Relación A/C	0.547	
Agua de Mezcla	200 kg/m ³	32.05 kg	Agua de Mezcla	200 kg/m ³	32.03 kg
Cemento	412 kg/m ³	65.97 kg	Cemento	375 kg/m ³	59.94 kg
Ripio	743 kg/m ³	118.93 kg	Ripio	758 kg/m ³	121.32 kg
Arena	818 kg/m ³	130.84 kg	Arena	834 kg/m ³	133.47 kg

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

4.1.1 ROTURA DE CILINDROS

Para la rotura de cilindros a través de la norma ASTM C469/C469M – 14, se parte de los siguientes parámetros explicados en el *Capítulo I* y representados en la *Tabla 20* y *Tabla 21*:

- Altura
- Diámetro
- Masa
- Altura Compresómetro
- Tipo de Falla
- Er
- Eg
- Carga Máxima
- Resistencia

Tabla 20: Parámetros para la Obtención del Módulo de Elasticidad $f'c$ 240

Identificación	Resistencia (kg/cm ²)	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Altura 1 (mm)	Altura 2 (mm)	Altura 3 (mm)	Masa (gr)	Tipo de Falla	Altura del Equipo (mm)	Eg (mm)	Er (mm)	Carga Máxima (kN)	40% Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)
1	240	151,13	152,80	300,00	300,00	299,50	12101	5	203	127,16	127,11	457,35	182,94	25,2157363	257,128897
2	240	151,76	152,46	306,00	305,50	305,00	12470	5	203	123,99	133,03	496,37	198,55	27,3149312	278,534724
3	240	151,54	152,67	306,00	305,50	307,00	12503	5	203	127,85	129,09	461,61	184,64	25,4037802	259,046411
4	240	152,36	152,32	305,00	306,00	306,00	12489	5	203	123,33	122,58	491,82	196,73	26,9828862	275,148808
5	240	151,20	150,96	300,50	300,00	300,00	12052	5	203	122,31	130,35	451,47	180,59	25,1840204	256,805486
6	240	150,94	150,80	300,00	300,00	301,00	12103	5	203	125,60	126,00	501,83	200,73	28,0711987	286,246505
7	240	152,54	152,31	306,00	304,50	305,00	12501	5	203	128,43	127,93	501,66	200,66	27,4920538	280,340871
8	240	155,04	154,67	305,00	305,00	306,00	12763	5	203	127,14	128,39	501,47	200,59	26,6259192	271,508759
9	240	151,32	151,41	301,00	301,00	301,50	12056	5	203	122,04	128,62	492,45	196,98	27,3666306	279,061911
10	240	151,87	151,90	304,00	305,00	305,00	12499	5	203	128,08	130,00	500,19	200,08	27,6067545	281,510492
11	240	152,51	153,30	301,00	300,00	303,00	12430	5	203	125,51	128,10	490,46	196,18	26,7097817	272,363917
12	240	154,14	154,21	304,00	305,00	305,00	12704	5	203	125,00	129,07	501,74	200,70	26,8757709	274,056536
13	240	153,83	152,82	302,00	302,00	302,25	12478	5	203	122,25	133,00	503,15	201,26	27,2509501	277,882299
14	240	153,05	154,36	305,00	305,00	304,00	12623	5	203	124,04	130,72	496,51	198,60	26,7585224	272,860934
15	240	155,01	153,20	305,00	305,00	305,00	12686	5	203	124,00	127,66	484,81	193,92	25,9925105	265,049789
16	240	150,00	149,90	300,00	299,00	300,00	11722	5	203	125,15	129,17	485,68	194,27	27,5021976	280,444309
17	240	151,47	153,47	303,00	302,00	303,00	12359	5	203	125,45	128,71	492,66	197,06	26,9828998	275,148946
18	240	152,21	151,30	300,00	301,00	300,00	12073	5	203	126,38	126,74	488,57	195,43	27,0116365	275,441979
19	240	153,04	152,80	301,00	300,00	301,00	12338	5	203	124,78	131,00	466,54	186,62	25,402147	259,029757
20	240	153,71	153,53	308,00	307,50	307,00	12817	5	203	124,66	127,83	504,69	201,88	27,2294768	277,663332
21	240	151,38	150,78	303,00	302,00	301,50	12150	5	203	127,74	129,44	494,97	197,99	27,6105491	281,549187
22	240	151,98	151,66	302,00	302,50	302,00	12250	5	203	130,60	126,14	501,27	200,51	27,6900575	282,359947
23	240	153,38	153,64	305,00	304,00	305,00	12460	5	203	123,75	132,14	504,67	201,87	27,2674336	278,050383
24	240	153,68	153,10	304,00	306,00	306,00	12610	5	203	126,44	126,43	501,31	200,52	27,1282883	276,631496
25	240	152,67	151,05	301,00	302,00	301,50	12200	5	203	125,97	127,41	482,82	193,13	26,6568347	271,824009
26	240	150,51	150,30	302,00	301,00	302,00	12040	5	203	125,00	129,37	451,79	180,72	25,4285844	259,299344
27	240	151,77	152,34	304,00	306,00	304,00	12460	5	203	126,38	128,76	501,70	200,68	27,6282138	281,729317
28	240	153,65	153,99	306,00	304,00	306,00	12660	5	203	127,88	129,20	501,49	200,60	26,9865136	275,185797
29	240	152,51	151,58	306,00	304,00	305,00	12390	5	203	128,60	127,45	457,00	182,80	25,1699315	256,661818
30	240	152,79	151,81	300,00	302,00	300,00	12170	5	203	124,00	128,32	466,22	186,49	25,5918223	260,963907

Tabla 21: Parámetros para la Obtención del Módulo de Elasticidad f'c 210

Identificación	Resistencia (kg/cm ²)	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Altura 1 (mm)	Altura 2 (mm)	Altura 3 (mm)	Masa (gr)	Tipo de Falla	Altura del Equipo (mm)	Eg (mm)	Er (mm)	Carga Máxima (kN)	40% Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)
1	210	153,86	153,90	307,65	306,67	308,35	12862	4	203	125,25	127,10	449,98	179,992	24,19574366	246,7278694
2	210	154,00	153,00	305,00	306,00	305,50	12625	5	203	125,57	125,56	440,23	176,092	23,78882512	242,578456
3	210	153,47	153,00	307,00	308,00	308,00	12740	5	203	125,30	127,15	400,76	160,304	21,73094143	221,5938867
4	210	153,84	153,74	307,00	306,50	306,00	12822	5	203	126,00	126,24	392,56	157,024	21,13294242	215,4959951
5	210	153,92	153,78	308,00	306,86	307,00	12744	5	203	125,00	129,72	391,21	156,484	21,04384358	214,58744
6	210	150,76	149,44	300,40	302,00	300,50	11746	5	203	119,62	133,56	331,76	132,704	18,74876892	191,1841965
7	210	151,22	151,00	302,27	301,60	302,00	12078	5	203	125,69	125,68	376,89	150,756	21,015432	214,2977226
8	210	152,00	151,75	303,00	301,94	302,30	12296	5	203	128,00	127,40	428,36	171,344	23,6453881	241,1158057
9	210	152,57	152,78	306,65	307,41	306,77	12500	5	203	126,57	120,26	380,40	152,16	20,7785276	211,8819705
10	210	153,72	152,31	307,00	306,00	306,00	12640	5	203	126,11	127,14	406,04	162,416	22,08060275	225,1594392
11	210	152,18	152,50	306,00	305,00	306,00	12520	5	203	127,09	127,97	451,87	180,748	24,79109589	252,7987714
12	210	152,53	153,32	302,03	302,43	302,19	12430	5	203	129,18	127,12	411,29	164,516	22,39243337	228,3392259
13	210	152,50	151,61	306,44	305,75	305,21	12500	5	203	126,00	127,27	431,23	172,492	23,74748784	242,1569331
14	210	150,29	151,05	300,75	300,39	301,50	12020	5	203	127,09	126,64	362,80	145,12	20,34809799	207,4928109
15	210	152,01	153,48	305,75	306,52	306,72	12450	5	203	122,67	125,00	380,45	152,18	20,76221583	211,7156368
16	210	151,24	152,34	306,00	306,30	307,20	12546	5	203	125,63	125,80	428,37	171,348	23,67243022	241,3915585
17	210	153,62	153,00	306,86	305,46	305,84	12683	5	203	127,60	125,00	385,57	154,228	20,88682302	212,9862762
18	210	153,00	153,01	301,00	301,26	300,43	12247	5	203	125,30	127,90	405,74	162,296	22,06717286	225,0224924
19	210	152,64	152,60	306,24	305,92	306,11	12459	5	203	126,04	127,50	405,13	162,052	22,14530287	225,8191966
20	210	153,13	152,89	301,28	300,90	301,14	12316	5	203	123,50	128,64	429,54	171,816	23,36006792	238,2063502
21	210	153,90	154,40	306,69	306,52	306,92	12684	5	203	122,80	133,00	416,32	166,528	22,30747091	227,4728501
22	210	150,97	150,33	303,61	303,19	303,33	12196	5	203	123,78	131,40	435,02	174,008	24,40512693	248,8629841
23	210	151,00	150,24	300,92	300,81	300,96	11960	5	203	126,00	126,26	407,32	162,928	22,86022851	233,1094077
24	210	151,40	151,83	301,24	300,93	300,63	12090	5	203	125,91	126,00	374,44	149,776	20,73996479	211,4887393
25	210	152,48	152,32	302,17	302,50	303,20	12310	5	203	125,93	126,74	426,56	170,624	23,3840813	238,4512185
26	210	151,42	150,66	303,30	301,27	301,53	12090	5	203	124,00	129,00	404,05	161,62	22,55076482	229,953757
27	210	151,88	151,96	305,00	305,20	305,10	12460	5	203	124,14	126,40	425,92	170,368	23,4967745	239,6003691
28	210	150,66	150,57	302,63	303,50	301,00	12050	5	203	122,89	129,37	374,70	149,88	21,03087584	214,4552059
29	210	151,67	152,16	307,00	305,50	306,00	12470	5	203	126,22	126,25	412,14	164,856	22,73806845	231,863722
30	210	150,21	150,60	302,00	301,50	301,00	12040	5	203	124,67	128,00	399,29	159,716	22,47367025	229,1676113

4.2 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

A partir de los resultados favorables de resistencia obtenidos y de los datos medidos y calculados previamente, se procede a determinar el módulo de elasticidad experimental a partir de la obtención del diagrama esfuerzo-deformación de cada uno de los cilindros con la aplicación de las fórmulas provistas en el *Capítulo I (Fórmula 1, Fórmula 2 y Fórmula 3)*., como en el ejemplo presentado a continuación perteneciente al Cilindro 1 de resistencia f'c 210. (Tabla 22)

Cálculo del Módulo de Elasticidad del Cilindro 1 de $f'c$ 210:

Fórmula 18: Módulo de Estático de Elasticidad

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.00005)}$$

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 2014)

$$E = \frac{\left(9.6782 \text{ MPa} - \frac{1.3443 \text{ MPa} * 0.00005 \text{ mm/mm}}{3.4736 * 10^{-5} \text{ mm/mm}}\right)}{(0.000556 \text{ mm/mm} - 0.00005 \text{ mm/mm})} = 15309.735 \text{ MPa}$$

Tabla 22: Parámetros para la determinación del Módulo de Elasticidad del Cilindro 1 de resistencia $f'c$ 210

	Carga Aplicada (kN)	Lectura del Medidor "g" (mm)	Deformación Total "d" en long. efectiva (mm)	Deformación Unitaria "ε" (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	0	0	0	0	0	15309,73486
	25	0,014	0,007051318	3,47356E-05	1,344267726	
	50	0,043	0,021657618	0,000106688	2,688535453	
	75	0,073	0,036767585	0,000181121	4,032803179	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
	100	0,106	0,053388548	0,000262998	5,377070905	156115,8159
	125	0,142	0,071520507	0,000352318	6,721338631	
	150	0,179	0,090156132	0,000444119	8,065606358	
	175	0,218	0,109799089	0,000540882	9,409874084	
40% Carga Máx.	179,99	0,224	0,112821082	0,000555769	9,678189922	
	200	0,249	0,12541272	0,000617797	10,75414181	

4.3 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Seguido a la obtención del módulo de elasticidad experimental con las fórmulas provistas en el Capítulo I, se procede a determinar el factor de la ecuación de este a partir de la fórmula 19.2.2.1.b de la ACI 318-14.

Fórmula 19: Factor de la Ecuación del Módulo de Elasticidad

$$E = 4700 * \sqrt{f'c}$$

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

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

Fuente: (American Concrete Institute, 2014)

$$\text{factor} = \frac{15309.73}{\sqrt{24.20}} = \mathbf{3112.42}$$

Cabe resaltar que el cálculo del Módulo de Elasticidad y del Factor de la ecuación del Módulo de Elasticidad explicados anteriormente, se lo debe realizar para cada uno de los cilindros de ambas resistencias cuyos datos y resultados se colocan en una tabla como en la *Tabla 23* correspondiente al *Cilindro 1* de resistencia $f'c$ 210:

Tabla 23: Cálculo del Módulo de Elasticidad y del Factor de su ecuación del Cilindro 1 de $f'c$ 210

	Carga Aplicada (kN)	Lectura del Medidor "g" (mm)	Deformación Total "d" en long. efectiva (mm)	Deformación Unitaria "ε" (mm/mm)	Esfuerzo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Factor Módulo para Mpa
1	0	0	0	0	0	15309,73486	3112,419891
	25	0,014	0,007051318	3,47356E-05	1,344267726		
	50	0,043	0,021657618	0,000106688	2,688535453		
	75	0,073	0,036767585	0,000181121	4,032803179	Módulo de Elasticidad (kg/cm2)	Factor Módulo para kg/cm2
	100	0,106	0,053388548	0,000262998	5,377070905		
	125	0,142	0,071520507	0,000352318	6,721338631	156115,8159	9938,888054
	150	0,179	0,090156132	0,000444119	8,065606358		
	175	0,218	0,109799089	0,000540882	9,409874084		
40% Carga Máx.	179,99	0,224	0,112821082	0,000555769	9,678189922		
	200	0,249	0,12541272	0,000617797	10,75414181		

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con las obtenciones previas de los parámetros para el cálculo del módulo de elasticidad experimental y del factor de la ecuación del módulo de elasticidad para cada uno de los cilindros correspondientes a las resistencias de 210 kg/cm^2 y 240 kg/cm^2 , se lleva a cabo la elaboración de una tabla para cada resistencia en donde se adjuntan los datos y parámetros necesarios para el cálculo final detallado para luego descartar los valores más dispersos y obtener resultados más precisos.

Tabla 24: Módulos de Elasticidad y Factores para 210 kg/cm²

Identificación	Resistencia (kg/cm ²)	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Altura 1 (mm)	Altura 2 (mm)	Altura 3 (mm)	Masa (gr)	Tipo de Falla	Altura del Equipo (mm)	Eg (mm)	Er (mm)	Carga Máxima (kN)	40% Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Módulo Elasticidad (Mpa)	Factor para Mpa	Módulo Elasticidad (kg/cm ²)	Factor para kg/cm ²
1	210	153,86	153,90	307,65	306,67	308,35	12862	4	203	125,25	127,10	449,98	179,992	24,19574366	246,7278694	15309,73486	3112,41989	156115,8159	9938,88805
2	210	154,00	153,00	305,00	306,00	305,50	12625	5	203	125,57	125,56	440,23	176,092	23,78882512	242,578456	15264,79289	3129,71232	155657,5355	9994,10795
3	210	153,47	153,00	307,00	308,00	308,00	12740	5	203	125,30	127,15	400,76	160,304	21,73094143	221,5938867	14237,07378	3054,08743	145177,7193	9752,61504
4	210	153,84	153,74	307,00	306,50	306,00	12822	5	203	126,00	126,24	392,56	157,024	21,13294242	215,4959951	14977,57819	3258,079	152728,7612	10404,0212
5	210	153,92	153,78	308,00	306,86	307,00	12744	5	203	125,00	129,72	391,21	156,484	21,04384358	214,58744	14820,1843	3230,65864	151123,7905	10316,4598
6	210	150,76	149,44	300,40	302,00	300,50	11746	5	203	119,62	133,56	331,76	132,704	18,74876892	191,1841965	13910,59731	3212,62031	141848,5865	10258,858
7	210	151,22	151,00	302,27	301,60	302,00	12078	5	203	125,69	125,68	376,89	150,756	21,015432	214,2977226	14164,21173	3089,74935	144434,7333	9866,49423
8	210	152,00	151,75	303,00	301,94	302,30	12296	5	203	128,00	127,40	428,36	171,344	23,6453881	241,1158057	16607,16332	3415,2479	169345,9015	10905,9085
9	210	152,57	152,78	306,65	307,41	306,77	12500	5	203	126,57	120,26	380,40	152,116	20,7785276	211,8819705	15060,12536	3303,8567	153570,5079	10550,2031
10	210	153,72	152,31	307,00	306,00	306,00	12640	5	203	126,11	127,14	406,04	162,416	22,08060275	225,1594392	15253,3442	3246,08291	155540,7913	10365,7141
11	210	152,18	152,50	306,00	305,00	306,00	12520	5	203	127,09	127,97	451,87	180,748	24,79109589	252,7987714	15403,6106	3093,67486	157073,0818	9879,02957
12	210	152,53	153,32	302,03	302,43	302,19	12430	5	203	129,18	127,12	411,29	164,516	22,39243337	228,3392259	14576,74775	3080,42042	148641,4291	9836,70416
13	210	152,50	151,61	306,44	305,75	305,21	12500	5	203	126,00	127,27	431,23	172,492	23,74748784	242,1569331	15413,71326	3162,99451	157176,1003	10100,388
14	210	150,29	151,05	300,75	300,39	301,50	12020	5	203	127,09	126,64	362,80	145,12	20,34809799	207,4928109	14185,44119	3144,71243	144651,2135	10042,0078
15	210	152,01	153,48	305,75	306,52	306,72	12450	5	203	122,67	125,00	380,45	152,18	20,76221583	211,7156368	15266,40644	3350,42553	155673,989	10698,9113
16	210	151,24	152,34	306,00	306,30	307,20	12546	5	203	125,63	125,80	428,37	171,348	23,67243022	241,3915585	15235,54624	3131,38601	155359,3027	9999,45255
17	210	153,62	153,00	306,86	305,46	305,84	12683	5	203	127,60	125,00	385,57	154,228	20,88682302	212,9862762	15074,91147	3298,51586	153721,2842	10533,1482
18	210	153,00	153,01	301,00	301,26	300,43	12247	5	203	125,30	127,90	405,74	162,296	22,06717286	225,0224924	14650,5163	3118,74295	149393,6588	9959,07948
19	210	152,64	152,60	306,24	305,92	306,11	12459	5	203	126,04	127,50	405,13	162,052	22,14530287	225,8191966	14864,38055	3158,68271	151574,4668	10086,6191
20	210	153,13	152,89	301,28	300,90	301,14	12316	5	203	123,50	128,64	429,54	171,816	23,36006792	238,2063502	15692,70167	3246,83836	160020,9897	10368,1264
21	210	153,90	154,40	306,69	306,52	306,92	12684	5	203	122,80	133,00	416,32	166,528	22,30747091	227,4728501	14890,40136	3152,68976	151839,8052	10067,4818
22	210	150,97	150,33	303,61	303,19	303,33	12196	5	203	123,78	131,40	435,02	174,008	24,40512693	248,8629841	15350,96941	3107,38647	156536,2913	9922,81485
23	210	151,00	150,24	300,92	300,81	300,96	11960	5	203	126,00	126,26	407,32	162,928	22,86022851	233,1094077	15347,55007	3209,95375	156501,4237	10250,3429
24	210	151,40	151,83	301,24	300,93	300,63	12090	5	203	125,91	126,00	374,44	149,776	20,73996479	211,4887393	14124,766	3101,53906	144032,4989	9904,1423
25	210	152,48	152,32	302,17	302,50	303,20	12310	5	203	125,93	126,74	426,56	170,624	23,3840813	238,4512185	15191,2024	3141,46333	154907,1215	10031,6324
26	210	151,42	150,66	303,30	301,27	301,53	12090	5	203	124,00	129,00	404,05	161,62	22,55076482	229,953757	15166,12917	3193,69996	154651,4457	10198,4396
27	210	151,88	151,96	305,00	305,20	305,10	12460	5	203	124,14	126,40	425,92	170,368	23,4967745	239,6003691	14795,09982	3052,20553	150868,0001	9746,60559
28	210	150,66	150,57	302,63	303,50	301,00	12050	5	203	122,89	129,37	374,70	149,88	21,03087584	214,4552059	14820,56071	3231,73659	151127,6289	10319,902
29	210	151,67	152,16	307,00	305,50	306,00	12470	5	203	126,22	126,25	412,14	164,856	22,73806845	231,863722	15306,87024	3210,03388	156086,605	10250,5987
30	210	150,21	150,60	302,00	301,50	301,00	12040	5	203	124,67	128,00	399,29	159,716	22,47367025	229,1676113	15249,47061	3216,75337	155501,2917	10272,0561

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

Tabla 25: Módulos de Elasticidad y Factores para 240 kg/cm²

Identificación	Resistencia (kg/cm ²)	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Altura 1 (mm)	Altura 2 (mm)	Altura 3 (mm)	Masa (gr)	Tipo de Falla	Altura del Equipo (mm)	Eg (mm)	Er (mm)	Carga Máxima (kN)	40% Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Módulo Elasticidad (Mpa)	Factor para Mpa	Módulo Elasticidad (kg/cm ²)	Factor para kg/cm ²
1	240	151,13	152,80	300,00	300,00	299,50	12101	5	203	127,16	127,11	457,35	182,94	25,2157363	257,128897	15589,45099	3104,52381	158968,126	9913,67349
2	240	151,76	152,46	306,00	305,50	305,00	12470	5	203	123,99	133,03	496,37	198,55	27,3149312	278,534724	16113,66279	3083,14688	164313,5977	9845,41058
3	240	151,54	152,67	306,00	305,50	307,00	12503	5	203	127,85	129,09	461,61	184,64	25,4037802	259,046411	16401,12385	3254,0516	167244,8841	10391,1605
4	240	152,36	152,32	305,00	306,00	306,00	12489	5	203	123,33	122,58	491,82	196,73	26,9828862	275,148808	16625,47805	3200,58924	169532,6598	10220,4392
5	240	151,20	150,96	300,50	300,00	300,00	12052	5	203	122,31	130,35	451,47	180,59	25,1840204	256,805486	15537,02343	3096,03092	158433,5138	9886,55316
6	240	150,94	150,80	300,00	300,00	301,00	12103	5	203	125,60	126,00	501,83	200,73	28,0711987	286,246505	16463,3308	3107,32891	167879,2183	9922,63103
7	240	152,54	152,31	306,00	304,50	305,00	12501	5	203	128,43	127,93	501,66	200,66	27,4920538	280,340871	16634,54558	3172,54177	169625,1228	10130,8752
8	240	155,04	154,67	305,00	305,00	306,00	12763	5	203	127,14	128,39	501,47	200,59	26,6259192	271,508759	15847,9082	3071,28163	161603,6556	9807,52127
9	240	151,32	151,41	301,00	301,00	301,50	12056	5	203	122,04	128,62	492,45	196,98	27,3666306	279,061911	16277,66343	3111,58307	165985,9384	9936,21582
10	240	151,87	151,90	304,00	305,00	305,00	12499	5	203	128,08	130,00	500,19	200,08	27,6067545	281,510492	16120,21185	3068,05449	164380,3795	9797,21606
11	240	152,51	153,30	301,00	300,00	303,00	12430	5	203	125,51	128,10	490,46	196,18	26,7097817	272,363917	16829,7889	3256,44314	171616,0502	10398,7974
12	240	154,14	154,21	304,00	305,00	305,00	12704	5	203	125,00	129,07	501,74	200,70	26,8757709	274,056536	16667,0127	3214,97279	169956,1952	10266,3701
13	240	153,83	152,82	302,00	302,00	302,25	12478	5	203	122,25	133,00	503,15	201,26	27,2509501	277,882299	16197,82792	3102,88698	165171,843	9908,4466
14	240	153,05	154,36	305,00	305,00	304,00	12623	5	203	124,04	130,72	496,51	198,60	26,7585224	272,860934	16347,62235	3160,26523	166699,3208	10091,6725
15	240	155,01	153,20	305,00	305,00	305,00	12686	5	203	124,00	127,66	484,81	193,92	25,9925105	265,049789	15922,86207	3123,18003	162367,9722	9973,24839
16	240	150,00	149,90	300,00	299,00	300,00	11722	5	203	125,15	129,17	485,68	194,27	27,5021976	280,444309	15120,2988	2883,21265	154184,1062	9206,96074
17	240	151,47	153,47	303,00	302,00	303,00	12359	5	203	125,45	128,71	492,66	197,06	26,9828998	275,148946	16058,106	3091,36304	163747,0761	9871,64722
18	240	152,21	151,30	300,00	301,00	300,00	12073	5	203	126,38	126,74	488,57	195,43	27,0116365	275,441979	16241,88696	3125,07925	165621,12	9979,31317
19	240	153,04	152,80	301,00	300,00	301,00	12338	5	203	124,78	131,00	466,54	186,62	25,402147	259,029757	15506,93664	3076,74002	158126,7141	9824,95154
20	240	153,71	153,53	308,00	307,50	307,00	12817	5	203	124,66	127,83	504,69	201,88	27,2294768	277,663332	16035,69387	3073,03926	163518,5361	9813,13391
21	240	151,38	150,78	303,00	302,00	301,50	12150	5	203	127,74	129,44	494,97	197,99	27,6105491	281,549187	16179,86785	3079,19681	164988,7012	9832,79682
22	240	151,98	151,66	302,00	302,50	302,00	12250	5	203	130,60	126,14	501,27	200,51	27,6900575	282,359947	16731,37743	3179,58008	170612,5327	10153,3506
23	240	153,38	153,64	305,00	304,00	305,00	12460	5	203	123,75	132,14	504,67	201,87	27,2674336	278,050383	15885,62859	3042,16155	161988,2964	9714,53213
24	240	153,68	153,10	304,00	306,00	306,00	12610	5	203	126,44	126,43	501,31	200,52	27,1282883	276,631496	16185,79603	3107,58393	165049,1518	9923,44539
25	240	152,67	151,05	301,00	302,00	301,50	12200	5	203	125,97	127,41	482,82	193,13	26,6568347	271,824009	15875,24642	3074,79514	161882,4278	9818,74096
26	240	150,51	150,30	302,00	301,00	302,00	12040	5	203	125,00	129,37	451,79	180,72	25,4285844	259,299344	15755,45467	3124,42316	160660,8921	9977,21808
27	240	151,77	152,34	304,00	306,00	304,00	12460	5	203	126,38	128,76	501,70	200,68	27,6282138	281,729317	16665,88181	3170,6762	169944,6634	10124,9179
28	240	153,65	153,99	306,00	304,00	306,00	12660	5	203	127,88	129,20	501,49	200,60	26,9865136	275,185797	15516,71483	2986,93924	158226,4238	9538,19077
29	240	152,51	151,58	306,00	304,00	305,00	12390	5	203	128,60	127,45	457,00	182,80	25,1699315	256,661818	15930,3235	3175,29134	162444,0576	10139,6554
30	240	152,79	151,81	300,00	302,00	300,00	12170	5	203	124,00	128,32	466,22	186,49	25,5918223	260,963907	14830,36631	2931,57677	151227,6181	9361,40187

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

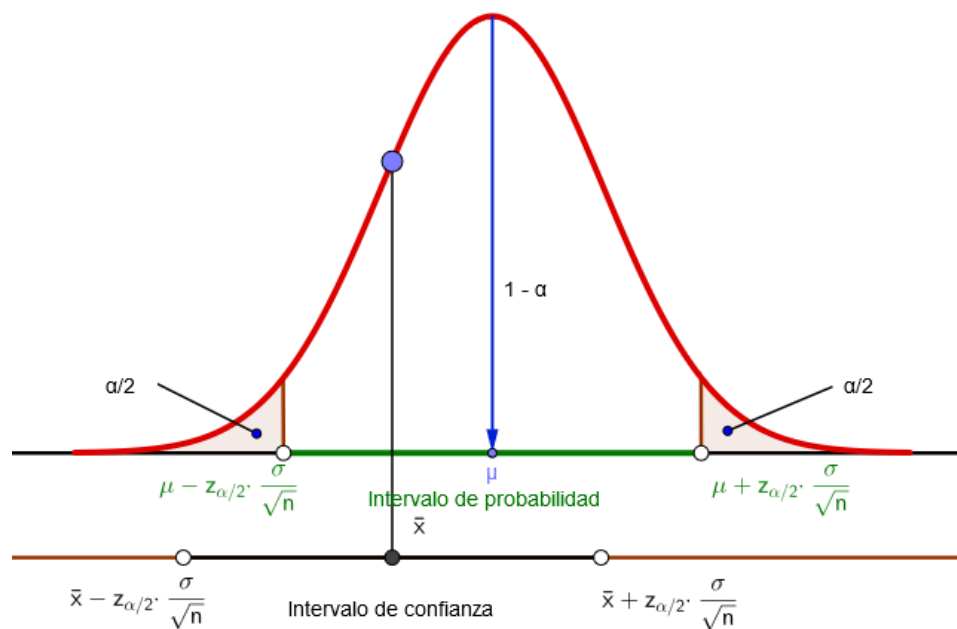
4.5 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para definir la ecuación definitiva del módulo de elasticidad se decide utilizar un método estadístico que permita ajustar los datos analizados con el fin de descartar los valores que, de acuerdo con la desviación estándar obtenida, se encuentren más dispersos dentro de un intervalo de confianza propuesto.

4.5.1 DISTRIBUCIÓN NORMAL

Dentro de la función de distribución se identifican los valores más cercanos a la media que son aquellos que tienen más probabilidad, mientras que, a medida que estos se alejen, la probabilidad decrece de manera que la curva normal es asintótica al eje x y simétrica con la media.

Ilustración 7: Parámetros de la Distribución



Fuente: (José, s.f.)

Donde:

$1-\alpha$ = Intervalo de Confianza

α = Nivel de Significación

σ = Desviación Estándar

n = Tamaño de la muestra

Z = Variable Tipificada

\bar{X} = Media muestral

μ = Media Poblacional

Nivel de Confianza

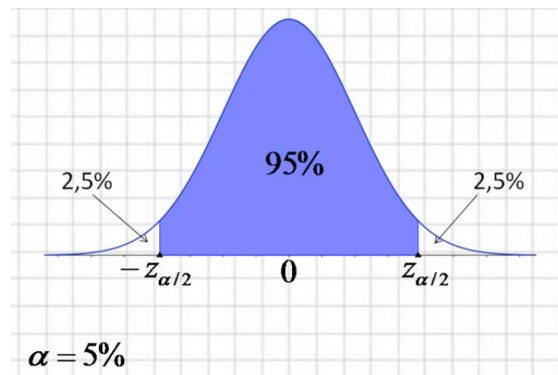
Este factor refleja el nivel de certeza (probabilidad) con la que se realiza la estimación de un parámetro por medio de una muestra, expresado en porcentaje. Los niveles de confianza más usados para el cálculo son el 95% y 99%, y para nuestro caso se elige un nivel de confianza correspondiente al 95% ya que funciona adecuadamente e indica que, dentro de un parámetro de valor constante y un determinado número de muestras de una población con su media, se incluyen aproximadamente el 95% de los intervalos, mientras que, como se identifica en la *Ilustración 8*, el porcentaje restante del 5% refleja el nivel de significación denominado “ α ”.

Fórmula 20: Nivel de Confianza

$$\text{Nivel de Confianza \%} = 1 - \alpha$$

Fuente: (José, s.f.)

Ilustración 8: Nivel de Confianza y Significación



Fuente: (Píldoras Matemáticas, 2017)

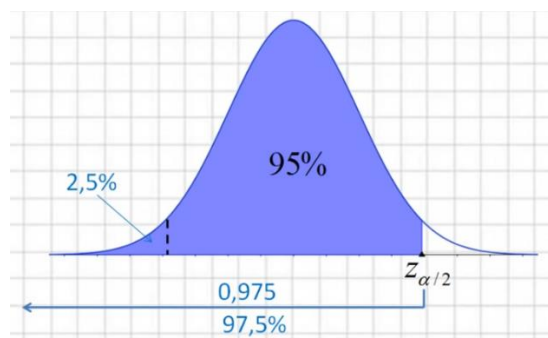
Variable Tipificada Z

Número de desviaciones estándar desde las cuales la variable X se encuentra distanciada. Su obtención se realiza por medio del uso de la tabla de distribución normal $N(0,1)$ luego de definir el nivel de confianza y sumar este porcentaje a la mitad del nivel de significación como se observa en la Ilustración 9, y, por tanto, el valor crítico denominado $\pm Z_{\alpha/2}$ representa los límites de la probabilidad para el intervalo analizado.

Fórmula 21: Valor Crítico

$$Z_{\alpha/2} = 1.96$$

Ilustración 9: Deducción de Variable Tipificada Z para el 95% de Confianza

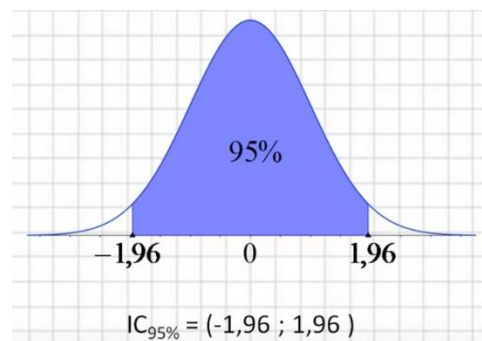


Fuente: (Píldoras Matemáticas, 2017)

Intervalo de Confianza

Este parámetro permite calcular en base al nivel de confianza definido, el límite superior e inferior en torno a una media muestral con los cuales se puede localizar un parámetro poblacional con una determinada probabilidad. Cabe resaltar que este parámetro no proporciona una estimación puntual del factor población, pero ayuda a tener una idea cercana de cual es este.

Ilustración 10: Intervalo de Confianza



Fuente: (Píldoras Matemáticas, 2017)

Error Estándar

Dentro de la determinación del intervalo de confianza es necesario destacar que, al seleccionar una muestra estadística y calcular su media, a este intervalo se lo debe afectar con un error estándar para que sea posible situar el parámetro población cerca del valor muestral.

Fórmula 22: Error Estándar

$$Error = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Fuente: (Wikipedia, s.f.)

Extremos para un intervalo de confianza del 95%

Con el cálculo previo del error estándar y de la obtención de la variable tipificada Z, se calculan los límites para ajustar los valores del factor de módulo de elasticidad y luego determinar el promedio de los datos que queden dentro del rango.

Fórmula 23: Extremo Superior e Inferior de la Muestra

$$\text{Extremo inferior} = \bar{X} - Z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Extremo superior} = \bar{X} + Z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Fuente: (Sánchez, s.f.)

Con el cálculo de la media, desviación estándar y tamaño de la muestra correspondiente a los valores del factor del módulo de elasticidad, junto con la obtención del error estándar, la variable tipificada Z y los límites detallados anteriormente, todo esto para cada una de las resistencias especificadas de 210 kg/cm² y 240 kg/cm² tal como se observa en la *Tabla 23* para las unidades de kg/cm² y *Tabla 24* para MPa, se obtiene el promedio de los valores situados dentro del rango definido y con ello determinar la ecuación definitiva para obtener el módulo de elasticidad experimental.

Tabla 26: Parámetros Estadísticos y Factor del Módulo de Elasticidad Definitivo en kg/cm²

210 kg/cm²		240 kg/cm²	
Desviación Estándar	281,15	Desviación Estándar	260,82
Media	10160,69	Media	9925,68
Error	51,33	Error	47,62
Variable Tipificada	1,96	Var. Tipificada "Z"	1,96
Extremo Inferior	10060,08	Extremo Inferior	9832,35
Extremo Superior	10261,30	Extremo Superior	10019,01
Promedio	10173,25	Promedio	9914,22

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

Tabla 27: Parámetros Estadísticos y Factor del Módulo de Elasticidad Definitivo en MPa

210 kg/cm²		240 kg/cm²	
Desviación Estándar	88,04	Desviación Estándar	81,68
Media	3181,88	Media	3108,28
Error	16,07	Error	14,91
Variable Tipcada	1,96	Var. Tipcada "Z"	1,96
Extremo Inferior	3150,37	Extremo Inferior	3079,06
Extremo Superior	3213,39	Extremo Superior	3137,51
Promedio	3185,81	Promedio	3104,69

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

Resultados Parciales

Fórmula 24: Ecuación del Módulo de Elasticidad 210 kg/cm²

$$E_{210} = 10173 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

Fórmula 25: Ecuación del Módulo de Elasticidad 21 MPa

$$E_{210} = 3185 * \sqrt{f'c} (MPa)$$

Fórmula 26: Ecuación del Módulo de Elasticidad 240 kg/cm²

$$E_{240} = 9914 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

Fórmula 27: Ecuación del Módulo de Elasticidad 24 MPa

$$E_{240} = 3104 * \sqrt{f'c} (MPa)$$

Resultados Finales

Fórmula 28: Ecuación del Módulo de Elasticidad kg/cm²

$$E = 10043 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

Fórmula 29: Ecuación del Módulo de Elasticidad MPa

$$E = 3144 * \sqrt{f'c} (MPa)$$

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

- La ecuación del Módulo de Elasticidad Experimental del hormigón fabricado con cemento Holcim y agregados de la mina Holcim ubicada en la parroquia Pifo bajo procedimiento contenido en la norma ASTM C 469 es:

$$E = 10043 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$E = 3144 * \sqrt{f'c} (MPa)$$

- Al comparar el resultado de la ecuación del módulo de elasticidad experimental con la ecuación contenida en la fórmula 19.2.2.1.b de la ACI 318S-14, se concluye que esta última supera en un 33.49% a la obtenida con materiales pétreos y cemento de nuestro país; motivo por el cual se considera más adecuado el uso de la ecuación conseguida para esta determinada zona de estudio, ya que esta alternativa sí refleja las condiciones reales de los materiales pétreos, tanto sus características físicas como mecánicas, existentes en las minas de la parroquia Pifo perteneciente a la provincia de Pichincha, así como también representa de mejor manera la verdadera rigidez que posee una estructura de hormigón fabricado con los materiales utilizados en la presente investigación, debido a que para la determinación de la fórmula propuesta por el ACI se utilizaron materiales de otra calidad.
- Se concluye que un módulo de elasticidad menor se traduce en menor rigidez de los elementos estructurales, lo cual influirá en el cálculo de deflexiones ya que estas serán mayores para un menor módulo, pudiendo llegar a exceder los límites de deflexión máxima a medida que este valor disminuya.

ACI 318S-14	Resultados
$E = 15100 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	$E = 10043 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$
$E = 4700 * \sqrt{f'c} (MPa)$	$E = 3144 * \sqrt{f'c} (MPa)$

- Luego de realizar los ensayos correspondientes para el agregado fino y grueso de origen ígneo provenientes de la parroquia Pifo, se llega a identificar la buena calidad de estos lo que demuestra el buen comportamiento de este material frente a condiciones reales de construcción, ya que estos proporcionan una gran resistencia al concreto que se quiera fabricar con ellos.
- Dentro del ensayo granulométrico se comprobó una buena distribución de las partículas de los agregados al obtener resultados dentro de los límites establecidos en la norma NTE INEN 872-1 para un agregado grueso con número de tamaño 67 y agregado fino dentro de los límites especificados en la *Tabla 3*.
- Asimismo, dentro del ensayo de abrasión, se determinó una elevada resistencia al desgaste del agregado grueso en la máquina de los Ángeles con un porcentaje del 24.60%, inferior al límite establecido en la norma ASTM C 131-01 correspondiente al 50%, proporcionando gran resistencia a la mezcla de concreto fabricada con los mismos.
- De acuerdo con la disciplina del diseño experimental, se determina que la cantidad de ensayos realizados correspondientes a 30 cilindros por resistencia fueron suficientes para conseguir un valor medio fiable, ya que se obtuvieron resultados estadísticamente representativos con desviaciones pequeñas y consistentes.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el mismo proyecto de investigación con varias resistencias, para las demás parroquias de la provincia de Pichincha que poseen agregados de

distintas características, acompañado del uso de las marcas de cemento más utilizadas para la construcción de obras civiles dentro de la provincia, con el objetivo de obtener valores del factor de la ecuación del módulo de elasticidad que puedan ser usados en el futuro reemplazando a la fórmula 19.2.2.1.b de la ACI 318-14, con la finalidad de que se reflejen y tomen en cuenta las características de nuestros agregados.

- Ejecutar correctamente los ensayos de granulometría, absorción, gravedad específica y humedad natural de los materiales pétreos, ya que son fundamentales para obtener una buena dosificación de la mezcla de concreto, y, en especial, determinar la humedad de los agregados cada vez que se proceda con la fabricación de hormigón ya que la variación de este valor influye considerable y directamente en los resultados de las cantidades de agregado a usar en la mezcla.

- En cuanto a la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su Sección 3.3.3 referente al Cálculo del módulo de elasticidad del hormigón (E_c) para modelos elásticos de estructuras diseñados para acciones sísmicas con los métodos de la NEC-SE-DS, se recomienda modificar dicha ecuación con la implementación del resultado obtenido junto a futuras investigaciones que brinden valores de módulo de elasticidad correspondientes a las principales minas y hormigoneras del país.

NEC-SE-HM 2011	Resultado
$E = 4.7 * \sqrt{f'c} \text{ (GPa)}$	$E = 3.14 * \sqrt{f'c} \text{ (GPa)}$

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute. (1991). ACI 211.1: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight and Mass Concrete. EEUU: American Concrete Institute.

- American Concrete Institute. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)*. Farmington Hills, EEUU: ACI.
- American Concrete Institute. (2014). *Requisitos de Reglamento para el Concreto Estructural (ACI 318S-14)*. Farmington Hills, EEUU. Obtenido de https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf
- American Society for Testing and Materials. (2001). Método Estándar para la Determinación de la Gravedad Específica y Absorción de los Agregados. *ASTM C-127*. West Conshohocken, Estados Unidos. Obtenido de https://www.academia.edu/36570885/Standard_Test_Method_for_Specific_Gravity_and_Absorption_of_Coarse_Aggregate_1
- American Society for Testing and Materials. (2014). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. *ASTM C49*. West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2017). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ASTM C39*. Estados Unidos: ASTM.
- Caballero, M. (15 de Mayo de 2013). Definición de Contenido de Humedad. *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/141685109/Definicion-de-contenido-de-humedad>
- Caballero, M. (15 de MAYO de 2013). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/141685109/Definicion-de-contenido-de-humedad>
- Catalán, A. (2012). *Hormigón Armado*. Madrid: Ediciones Técnicas y Científicas.
- DigitalGlobe. (2019). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/Planta+Holcim+Pifo/@-0.2447941,-78.3180741,2848m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0xdeca1b181956f448!8m2!3d-0.2453461!4d-78.3144319>
- Hernández, E. (2007). *Hormigón Armado y Pretensado. Concreto Reforzado y Preesforzado*. Granada: Gráficas Alhambra.

Ingeniería Civil. (23 de 06 de 2011). Obtenido de Módulo de Elasticidad del Hormigón-
método para su determinación:
<https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>

José, P. (s.f.). *GeoGebra*. Obtenido de Intervalo de Confianza-Estadística:
<https://www.geogebra.org/m/Ps6ZVrVZ>

Larson, T. (1966). *Concretos de Cemento Portland y Asfálticos*. México D.F.: McGraw-Hill.

Naranjo, P. (2008). Propuesta para el Desarrollo Turístico de la Parroquia Pifo. Quito, Ecuador: Tesis de Grado.

Parker, H. (1971). *Diseño Simplificado de Concreto Reforzado*. México: Limusa.

Parker, H. (1976). *Diseño Simplificado de Concreto Reforzado*. México: Limusa-Wiley.

Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Skokie, Illinois, EEUU: Portland Cement Association.

Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". (s.f.). Densidad Total (Peso Unitario) y Vacíos en Agregados para Concreto. San Salvador, El Salvador. Obtenido de <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/PESOS%20UNITARIOS%20Y%20%25%20VACIOS.pdf>

Universidad de Cantabria. (s.f.). *Dosificación de Hormigones*. Obtenido de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/811/course/section/869/Dosificacion%20de%20Hormigones.pdf>

7. ANEXOS

7.1 Ensayos de Agregados

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

HUMEDAD NATURAL DEL AGREGADO GRUESO

$$W \% = \frac{M - A}{A} \times 100$$

M = Masa original

A = Masa seca

W = Porcentaje de humedad natural

Muestra N°	1	2
Masa Original (gr)	3000	3000
Masa Seca (gr)	2980	2985
Porcentaje de humedad Natural	0.671	0.502

OBSERVACIONES:

El porcentaje de humedad puede variar de un día a otro dependiendo del clima, es por ello que se debe tomar constantemente la humedad del agregado para un correcto cálculo en la dosificación.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

HUMEDAD NATURAL DEL AGREGADO FINO

$$W \% = \frac{M - A}{A} \times 100$$

M = Masa original

A = Masa seca

W = Porcentaje de humedad natural

Muestra N°	1	2
Masa Original (gr)	500	500
Masa Seca (gr)	470	469
Porcentaje de humedad Natural	6.383	6.610

OBSERVACIONES:

El porcentaje de humedad puede variar de un día a otro dependiendo del clima o de la temperatura donde este almacenado el material, es por eso que se debe obtener W cada vez que se realice una nueva mezcla para un correcto cálculo en la dosificación.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

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

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

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

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

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

Masa de la Muestra Saturada con Superficie Seca	B = 500 gr
Masa del Matraz	Mm = 148.9 gr
Masa del Conjunto Matraz, Agua y Muestra	Mmw = 949.5 gr
Masa Muestra Seca	A = 480 gr
Masa del Agua Añadida al matraz	Ma = 300.60 gr
Gravedad Específica Bulk	Ge = 2.41
Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca	Ges = 2.51
Gravedad Específica Aparente	Gea = 2.68
Absorción	Ab = 4.17 %

OBSERVACIONES:

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

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

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

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

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

Masa de la Muestra Saturada con Superficie Seca	B = 5.13 kg
Masa Muestra Seca	A = 4.99 kg
Masa de la Muestra Sumergida	C = 2.984 kg
Gravedad Específica Bulk	Ge = 2.33
Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca	Ges = 2.39
Gravedad Específica Aparente	Gea = 2.49
Absorción	Ab = 2.81 %

OBSERVACIONES:

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

HUMEDAD NATURAL DEL AGREGADO GRUESO

$$W \% = \frac{M - A}{A} \times 100$$

M = Masa original

A = Masa seca

W = Porcentaje de humedad natural

Muestra N°	1	2
Masa Original (gr)	3000	3000
Masa Seca (gr)	2980	2985
Porcentaje de humedad natural	0.671	0.502

OBSERVACIONES:

El porcentaje de humedad puede variar de un día a otro dependiendo del clima, es por eso que se debe tomar constantemente la humedad del agregado para un correcto cálculo en la dosificación.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

GRANULOMETRÍA POR MALLAS DEL AGREGADO GRUESO

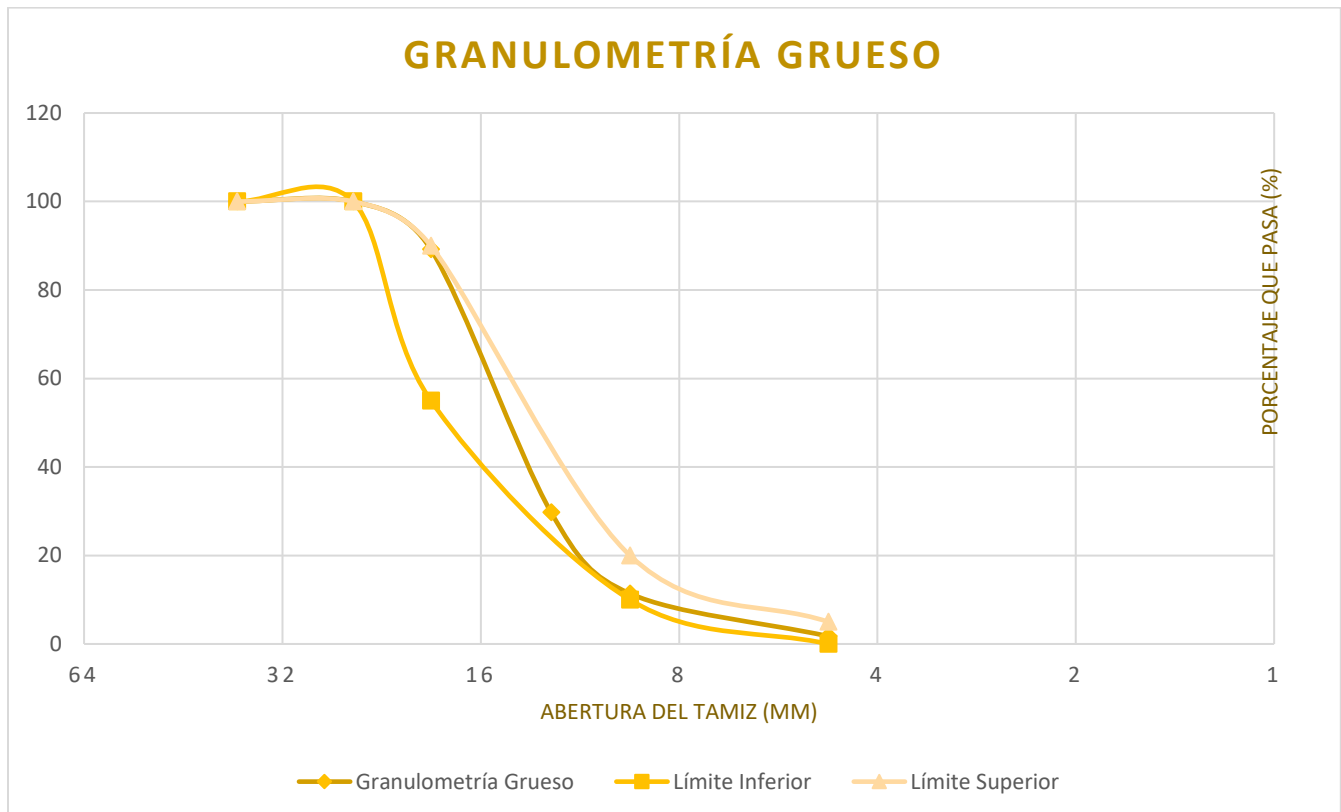
GRANULOMETRÍA ÁRIDO GRUESO					
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
2"	50	0	0	0	100
1 1/2"	37,5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19,05	1762	1762	10,80	89,20
1/2"	12,51	9710	11472	70,29	29,71
3/8"	9,5	2988	14460	88,60	11,40
No. 4	4,75	1574	16034	98,25	1,75

Masa inicial = 16.32 kg

$$\%Retenido = \frac{Masa\ retenida\ acumulada}{Masa\ muestra} * 100$$

$$\%Pasa = 100 - \%Retenido$$

OBSERVACIONES:

GRANULOMETRÍA POR MALLAS DEL AGREGADO GRUESO

OBSERVACIONES:

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

GRANULOMETRÍA POR MALLAS DEL AGREGADO FINO

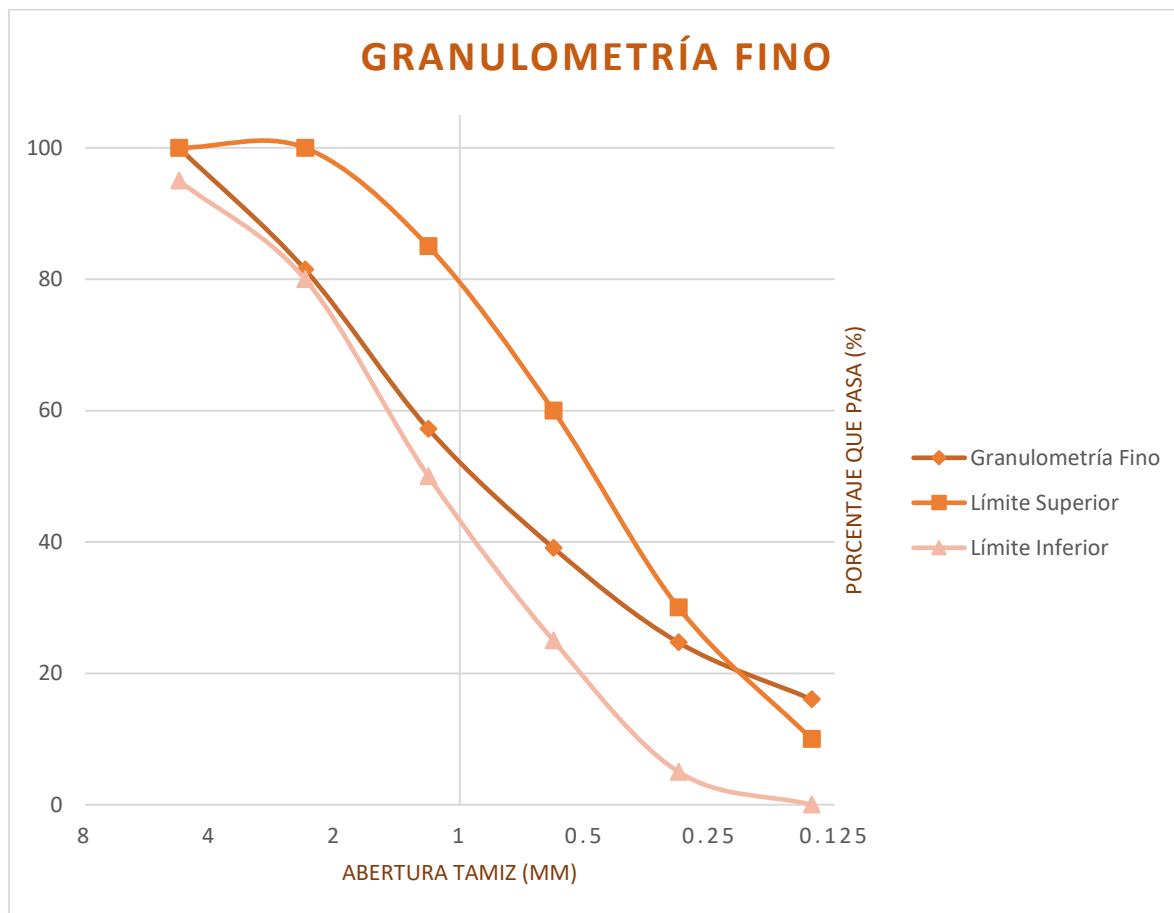
GRANULOMETRÍA ÁRIDO FINO					
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
No. 4	4.75	0	0	0	100
No. 8	2.36	225	225	18.52	81.48
No. 16	1.19	295	520	42.80	57.20
No. 30	0.595	220	740	60.91	39.10
No. 50	0.297	175	915	75.31	24.69
No. 100	0.142	105	1020	83.95	16.05

Masa inicial = 1.215 kg

$$\%Retenido = \frac{Masa\ retenida\ acumulada}{Masa\ muestra} * 100$$

$$\%Pasa = 100 - \%Retenido$$

OBSERVACIONES:

GRANULOMETRÍA POR MALLAS DEL AGREGADO FINO

OBSERVACIONES:

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

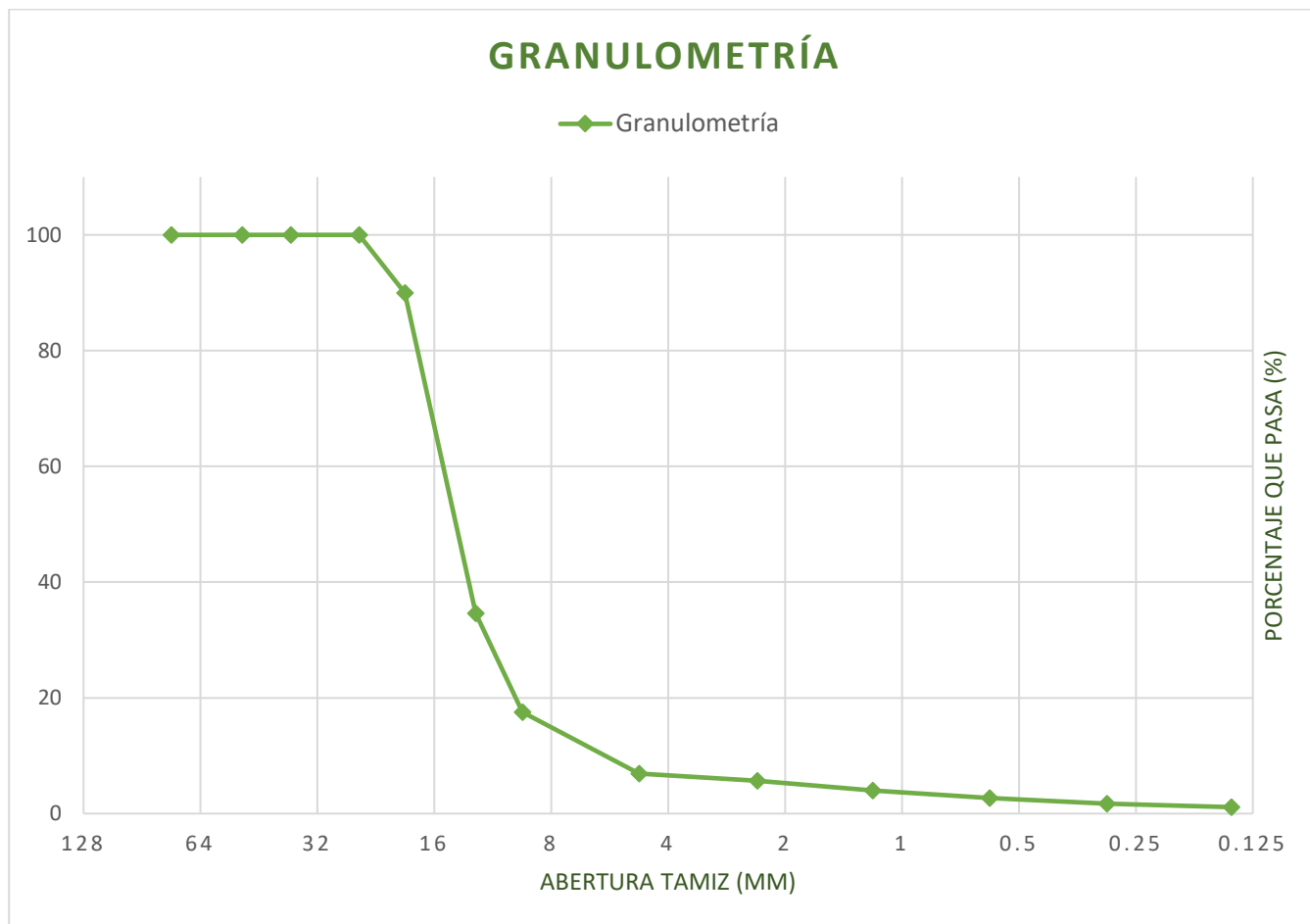
GRANULOMETRÍA POR MALLAS DE LOS AGREGADOS

GRANULOMETRÍA COMPLETA-MATERIAL COMBINADO					
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida acumulada (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
2"	50	0	0	0	100
1 1/2"	37,5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19,05	1762	1762	10,05	89,95
1/2"	12,51	9710	11472	65,42	34,58
3/8"	9,5	2988	14460	82,46	17,54
No. 4	4.75	1574	16034	93,07	6,93
No. 8	2.36	225	16259	94,35	5,65
No. 16	1.19	295	16554	96,04	3,96
No. 30	0.595	220	16774	97,29	2,71
No. 50	0.297	175	16949	98,29	1,71
No. 100	0.142	105	17054	98,89	1,112

Masa inicial = 17.54 kg

$$\%Retenido = \frac{\text{Masa retenida acumulada}}{\text{Masa muestra}} * 100$$

$$\%Pasa = 100 - \%Retenido$$

GRANULOMETRÍA POR MALLAS DE LOS AGREGADOS

OBSERVACIONES:

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

NORMA: NTE INEN 0860/0861; ASTM C-131/535; AASHTO T-96

ENSAYO: 01

DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

$$C = A - B$$

$$\%Desgaste = \frac{C}{A} * 100$$

A= Masa inicial del ensayo

B= Masa seca retenida en el tamiz No. 12

C= Material que pasa el tamiz No. 12

Masa inicial (gr)	5000
Masa Seca retenida en el tamiz No. 12 (gr)	3770
Material que pasa el tamiz No. 12 (gr)	1230
Porcentaje de desgaste (%)	24.60

OBSERVACIONES:

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

$$V = \frac{Mw}{W}$$

$$Ms = A - P$$

$$Mc = B - P$$

$$Pus = \frac{Ms}{V}$$

$$Puc = \frac{Mc}{V}$$

V= Volumen del recipiente

A= Molde + Material suelto

Mc= Material compactado

P= Peso molde

Puc= Peso unitario compactado

Ms= Material suelto

B= Molde + Material compactado

Pus= Peso unitario suelto

Muestra N°	1	2
Volumen recipiente (cm³)	6878	6878
Peso del recipiente (gr)	3814	3814
Molde + Material suelto (gr)	12300	12280
Molde + Material comp. (gr)	13420	13230
Material compactado (gr)	9606	9416
Peso Unitario compactado (kg/m³)	1396.63	1369.003
Material Suelto (gr)	8486	8466
Peso Unitario suelto (kg/m³)	1233.79	1230.88

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

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

ENSAYO: 01

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

$$V = \frac{Mw}{W}$$

$$Ms = A - P$$

$$Mc = B - P$$

$$Pus = \frac{Ms}{V}$$

$$Puc = \frac{Mc}{V}$$

V= Volumen del recipiente

A= Molde + Material suelto

Mc= Material compactado

P= Peso molde

Puc= Peso unitario compactado

Ms= Material suelto

B= Molde + Material compactado

Pus= Peso unitario suelto

Muestra N°	1	2
Volumen recipiente (cm³)	1652	1652
Peso del recipiente (gr)	2735	2735
Molde + Material suelto (gr)	5440	5690
Molde + Material comp. (gr)	6210	6310
Material compactado (gr)	3475	3575
Peso Unitario compactado (kg/m³)	2103.51	2164.04
Material Suelto (gr)	2705	2955
Peso Unitario suelto (kg/m³)	1637.41	1788.74

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

NORMA: NTE INEN 0863; ASTM C88; AASHTO T-104

ENSAYO: 01

**DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO BAJO LA ACCIÓN DEL SULFATO DE
MAGNESIO**

$$\%Retenido\ Parcial = \frac{Masa\ retenida\ parcial}{Masa\ total\ de\ muestra} * 100$$

$$\%Que\ Pasa = \frac{Masa\ inicial - Masa\ retenida\ después\ del\ ensayo}{Masa\ inicial} * 100$$

$$\%Desgaste\ Parcial = \frac{Porcentaje\ retenido\ parcial * \%Que\ Pasa}{100}$$

Tamiz	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	%Retenido Parcial	%Que Pasa	%Desgaste Parcial
3/4"	500	500	10.99	0	0
1/2"	670	663	60.56	1.04	0.63
3/8"	330	328	18.64	0.61	0.11
No. 4	300	296	9.82	1.33	0.13

$$\%Desgaste\ Total = \sum \%Desgaste\ Parcial = 0.87$$

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE HORMIGÓN

TEMA: Módulo de Elasticidad del Hormigón

MINA: Cantera Pifo (Holcim)

ENSAYADO POR: Wilson Terán & Doménica Londoño

NORMA: NTE INEN 0863; ASTM C88; AASHTO T-104

ENSAYO: 01

**DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO BAJO LA ACCIÓN DEL SULFATO DE
MAGNESIO**

$$\%Retenido\ Parcial = \frac{Masa\ retenida\ parcial}{Masa\ total\ de\ muestra} * 100$$

$$\%Que\ Pasa = \frac{Masa\ inicial - Masa\ retenida\ después\ del\ ensayo}{Masa\ inicial} * 100$$

$$\%Desgaste\ Parcial = \frac{Porcentaje\ retenido\ parcial * \%Que\ Pasa}{100}$$

Tamiz	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	%Retenido Parcial	%Que Pasa	%Desgaste Parcial
No. 8	100	93	22.06	7.00	1.54
No. 16	100	94.5	28.92	5.50	1.59
No. 50	100	90.8	17.16	9.20	1.58
No. 100	100	88	10.29	12.00	1.23

$$\%Desgaste\ Total = \sum \%Desgaste\ Parcial = 5.94$$

7.2 Descarte estadístico de los valores del factor de módulo de elasticidad (kg/cm^2)

210 kg/cm^2		240 kg/cm^2	
Factor para kg/cm^2	Factores dentro del límite	Factor para kg/cm^2	Factores dentro del límite
9938,89		9913,67	9913,67
9994,11		9845,41	9845,41
9752,62		10391,16	
10404,02		10220,44	
10316,46		9886,55	9886,55
10258,86	10258,86	9922,63	9922,63
9866,49		10130,88	
10905,91		9807,52	
10550,20		9936,22	9936,22
10365,71		9797,22	
9879,03		10398,80	
9836,70		10266,37	
10100,39	10100,39	9908,45	9908,45
10042,01		10091,67	
10698,91		9973,25	9973,25
9999,45		9206,96	
10533,15		9871,65	9871,65
9959,08		9979,31	9979,31
10086,62	10086,62	9824,95	
10368,13		9813,13	
10067,48	10067,48	9832,80	9832,80
9922,81		10153,35	
10250,34	10250,34	9714,53	
9904,14		9923,45	9923,45
10031,63		9818,74	
10198,44	10198,44	9977,22	9977,22
9746,61		10124,92	
10319,90		9538,19	
10250,60	10250,60	10139,66	
10272,06		9361,40	
Promedio	10173,25	Promedio	9914,22

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)

7.3 Descarte estadístico de los valores del factor de módulo de elasticidad (MPa)

210 kg/cm ²		240 kg/cm ²	
Factor para Mpa	Factores dentro del límite	Factor para Mpa	Factores dentro del límite
3112,42		3104,52	3104,52
3129,71		3083,15	3083,15
3054,09		3254,05	
3258,08		3200,59	
3230,66		3096,03	3096,03
3212,62	3212,62	3107,33	3107,33
3089,75		3172,54	
3415,25		3071,28	
3303,86		3111,58	3111,58
3246,08		3068,05	
3093,67		3256,44	
3080,42		3214,97	
3162,99	3162,99	3102,89	3102,89
3144,71		3160,27	
3350,43		3123,18	3123,18
3131,39		2883,21	
3298,52		3091,36	3091,36
3118,74		3125,08	3125,08
3158,68	3158,68	3076,74	
3246,84		3073,04	
3152,69	3152,69	3079,20	3079,20
3107,39		3179,58	
3209,95	3209,95	3042,16	
3101,54		3107,58	3107,58
3141,46		3074,80	
3193,70	3193,70	3124,42	3124,42
3052,21		3170,68	
3231,74		2986,94	
3210,03	3210,03	3175,29	
3216,75		2931,58	
Promedio	3185,81	Promedio	3104,69

Fuente: (Wilson Terán & Doménica Londoño, 2019)