

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



## PLAN DE TITULACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON  
MENCIÓN EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**

### **TEMA:**

DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGONES DE RESISTENCIA  $F'C=240 \text{ KG/CM}^2$ , ELABORADO CON MATERIAL GRANULAR DE LA MINA "REVILLA S.A" UBICADA EN EL CANTÓN OTAVALO, MATERIAL RECICLADO (ADOQUINES) Y CEMENTO SELVALEGRE TIPO IP

### **TUTOR:**

MSc. Ing. WILSON CANDO.

### **AUTOR:**

COMINA PARRA WILLINGTON FABRICIO

**QUITO, FEBRERO DEL 2024**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	TÍTULO DEL PROYECTO .....	3
2.	RESUMEN EJECUTIVO .....	3
3.	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA PROPUESTA .....	4
3.1.	JUSTIFICACIÓN: .....	4
3.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	5
3.3.	OBJETIVOS: .....	5
3.3.1.	<i>Objetivo General</i> .....	5
3.3.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	5
3.4.	MARCO REFERENCIAL, TEÓRICO Y CONCEPTUAL: .....	6
3.4.1.	<i>Marco Referencial</i> .....	6
3.4.2.	<i>Marco Teórico</i> .....	7
3.4.3.	<i>Marco Conceptual</i> .....	7
3.5.	METODOLOGÍAS Y TÉCNICAS .....	13
3.5.1.	<i>Metodología Experimental</i> .....	13
3.5.2.	<i>Metodología Documental</i> .....	13
3.6.	ESQUEMA BÁSICO DE CONTENIDOS .....	13
3.7.	LIMITACIONES DEL ESTUDIO .....	14
3.8.	RESULTADOS ESPERADOS .....	14
4.	CRONOGRAMA .....	15
5.	BIBLIOGRAFÍA .....	16
6.	FIRMAS .....	16

## 1. TÍTULO DEL PROYECTO

Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad para hormigones de alta resistencia  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , elaborado con material granular de la mina "REVILLA S.A" ubicada en el cantón Otavalo, material reciclado y cemento Selvalegre tipo IP.

## 2. RESUMEN EJECUTIVO

El módulo de elasticidad del hormigón representa la rigidez de dicho material ante una carga impuesta sobre el mismo. El ensayo para determinar el módulo de elasticidad del hormigón se hace por medio las normas técnicas, la fase principal es determinar la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% hasta el 40% de la resistencia a la compresión. La norma ecuatoriana de la construcción NEC–SE–HM establece la ecuación como:  $E_c=4700*\sqrt{f'c}$  para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón de densidad normal, esto proviene de la ecuación establecida por el ACI–318.

Se necesita conocer las propiedades del hormigón especialmente el módulo de elasticidad elaborado con materiales reciclados (escombros de construcciones).

Para esto se realizarán ensayos que permitan obtener las características y propiedades mecánicas, de los agregados procedentes de los escombros y de la mina "REVILLA S.A". Una vez obtenidos los datos necesarios mediante el método de densidad óptima se diseñó la mezcla para que cumpla las resistencias especificadas de  $f'c=280\text{kg/cm}^2$  a la edad de 28 días, después se elaboraron probetas de hormigón en cilindros de 10 cm de diámetro x 20 cm de alto utilizando cemento Selvalegre tipo IP.

La importancia de determinar el módulo de elasticidad a través de pruebas de laboratorio es fundamental en la industria de la construcción y el diseño de estructuras. El módulo de elasticidad, es una propiedad mecánica esencial, refleja la habilidad de un material, como el hormigón, para deformarse y recobrar su forma original bajo carga. Esta característica brinda información valiosa sobre la fortaleza y durabilidad del material, siendo de gran relevancia en la planificación y ejecución de proyectos de construcción seguros y eficientes.

La precisa determinación del módulo de elasticidad mediante pruebas de laboratorio brinda a ingenieros y diseñadores una comprensión clara de cómo el material reaccionará ante diversas cargas y circunstancias. Esto resulta esencial para el análisis estructural y

la anticipación del comportamiento de edificaciones o infraestructuras, tanto en condiciones de carga estática como en situaciones dinámicas, como sismos o fuertes vientos.

La habilidad para prever la respuesta elástica de un material es de suma importancia para asegurar que las estructuras cumplan con los estándares de seguridad y desempeño requeridos. Adicionalmente, la información obtenida a través de estos ensayos es esencial para la optimización del diseño, permitiendo ajustes precisos en la selección de materiales y la configuración estructural. Esto, a su vez, puede resultar en una construcción más eficaz, una mejor administración de los recursos y una mayor vida útil de la infraestructura.

Por lo tanto, la determinación del módulo de elasticidad mediante pruebas de laboratorio no solo es esencial para asegurar la integridad estructural y la seguridad en la construcción, sino que también desempeña un papel clave en la innovación, la mejora del diseño y la maximización de la eficiencia en proyectos de ingeniería civil y arquitectura.

### **3. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA PROPUESTA**

#### **3.1. Justificación:**

En el territorio ecuatoriano se generan toneladas de escombros provenientes de diferentes tipos de construcciones, así como demoliciones que son desechados en escombreras o rellenos sanitarios, dando como resultado una contaminación en el suelo, en el ambiente y reduciendo los recursos naturales. Considerando que muchas veces este material desechado es depositado clandestinamente en lugares no autorizados como quebradas, espacios públicos u otros lugares.

Este material que es enviado a las escombreras puede ser reutilizado para la generación de un nuevo hormigón, con propiedades físicas y mecánicas similares a las del concreto convencional, la implementación de materiales reciclados promueve una nueva opción en el diseño y construcción de obras civiles, de esta manera disminuir la contaminación, así como la sobre acumulación en las escombreras, adicional este porcentaje de material proveniente de algún tipo de demolición permite establecer una nueva propuesta en el mercado para la determinación de las resistencias del hormigón. Lo que nos lleva a una disminución en el costo de elaboración, ya que el requerimiento del material granular disminuye en cierta medida y, además, de dar paso a un mejor manejo de escombros.

El módulo de elasticidad es el que nos indica la resistencia del material a la deformación producto de la carga aplicada en el elemento, en el área de la construcción un parámetro fundamental a considerarse en el diseño de estructuras de hormigón armado.

A continuación, este trabajo presenta el interés de estudiar el comportamiento y la resistencia del hormigón para un módulo de elasticidad que contendrá la presencia de material reciclado.

Para la elaboración de la dosificación con la cual se diseñarán las probetas a ensayarse como parte del estudio experimental, se ha empleado cemento Selvalegre tipo IP, el mismo que está proyectado para todo tipo de construcción en general, contando con características como resistencia, durabilidad y destacado desempeño que cumple y excede los estándares requeridos por la norma NTE INEN 2380.

Con respecto a los agregados finos y gruesos se propone emplear material proveniente de la mina "Revilla" ubicada en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura. Los áridos son parte fundamental en el desarrollo del ensayo, por ello tanto el material reciclado como los agregados serán examinados rigurosamente en laboratorio de suelos, con el objetivo de identificar las características mecánicas garantizando así, una correcta funcionalidad y resistencia del material.

### **3.2. Planteamiento del Problema:**

Obtener la ecuación del módulo de elasticidad mediante la incorporación de material reciclado (adoquines) en el diseño de hormigones para obtener una resistencia de  $280\text{kg/cm}^2$ .

### **3.3. Objetivos:**

#### **3.3.1. Objetivo General**

- Elaborar probetas de hormigón con cemento Selvalegre tipo IP, material reciclado, agregados finos y gruesos provenientes de la mina "Revilla" ubicada en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura, las cuales serán utilizadas en los ensayos requeridos para definir la ecuación del módulo de elasticidad en un hormigón de  $f'c = 280\text{ kg/cm}^2$ .

#### **3.3.2. Objetivos Específicos**

- Definir las características mecánicas de los áridos naturales mediante la aplicación de ensayos indicados en la norma técnica ecuatoriana para obtener la resistencia de hormigón propuesto.



- Obtener la dosificación requerida para la elaboración de probetas cilíndricas de hormigón ( $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) considerando la inclusión del material reciclado previamente identificado.
- Determinar la ecuación del módulo de elasticidad mediante ensayos experimentales desarrollados de acuerdo a las especificaciones que indica la NTE-INEN (Norma Técnica Ecuatoriana).

### **3.4. Marco Referencial, Teórico y Conceptual:**

#### **3.4.1. Marco Referencial**

En el Ecuador se han venido realizados estudios para poder determinar el módulo de elasticidad del hormigón, en donde, los resultados obtenidos de dichos ensayos presentan una diferencia entre los valores obtenidos de manera experimentan versus el módulo de elasticidad que propone el ACI 318-141 y por ende la NEC. Esto se debe a que tenesmo grandes diferencias en la procedencia de los agregados (finos y gruesos) que se utilizan para elaborar el hormigón como tal, sus propiedades mecánicas y características de los mismos son diferentes a los que se pueden encontrar en otros países.

Con estos antecedentes, se considera necesario realizar un análisis del material granular proveniente de la mina ubicada en la provincia de Imbabura, material reciclado proveniente del derrocamiento de estructuras y un tipo de cemento que garantice la correcta adherencia, además de proporcionar resistencia, durabilidad e impermeabilidad a los materiales utilizados para la elaboración de las probetas. Lo que puntualmente se trata de determinar es la ecuación de módulo de elasticidad más precisa, ajustándose a los materiales obtenidos de la mina “Revilla” ubicada en el cantón Otavalo. Esto permitirá mejorar el comportamiento futuro de las estructuras durante su vida útil e incentivará el estudio pertinente a nivel nacional.

### **3.4.2. Marco Teórico**

#### **3.4.2.1. Ubicación**

La extracción de material granular será de la mina “Revilla”, la cual se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo. De donde se sabe que, existe una amplia diversidad de materiales pétreos (rocas naturales) gracias a su ubicación geológica y rica variedad ambiental, las mismas que son utilizadas en la industria de la construcción.

#### **3.4.2.2. Geología**

El cantón Otavalo se encuentra ubicado en el Valle Interandino en el norte del país y sus elevaciones varían desde los 1 600 m a los 4 100 m, en la zona afloran mayormente rocas cretácicas volcano-sedimentarias y metamórficas de la Formación Macuchi, depósitos sedimentarios de las Formaciones Silante, cuyas edades varían del Cretáceo Superior al Paleoceno. Recubriendo parte del área se encuentran depósitos volcánicos plio-cuaternarios. La ciudad de Otavalo se encuentra asentada en terrazas indiferenciadas, depósitos coluviales y depósitos aluviales del Holoceno, la textura del suelo es arcillo-limoso de color negro con una capa de humus de 4 cm.

### **3.4.3. Marco Conceptual**

#### **3.4.3.1. Hormigón**

El hormigón es un material artificial pétreo que consiste en una mezcla adecuada de los siguientes componentes: cemento, agregados (arena, grava) y agua. Las características del concreto están directamente influenciadas por la calidad y las cantidades relativas de estos componentes en la mezcla, además de las condiciones de humedad y temperatura que prevalecen durante su proceso de fabricación y endurecimiento. Para obtener características específicas en el hormigón, como aumentar su resistencia o reducir su peso, es factible añadir distintos elementos o sustancias, tales como aditivos químicos, partículas de hierro y otros más (Arévalo, 2012).

Para la calidad definitiva del hormigón influyen varios aspectos como la proporción de los componentes, las cualidades de los materiales empleados, la composición mineralógica, el tamaño del agregado, el tipo de aditivo, las adiciones, los métodos de mezclado, el transporte, la colocación, la compactación, las condiciones de humedad y curado, y la geometría del mismo (León & Rodríguez, 2022).

Por lo tanto, el hormigón se ha convertido en un material de construcción ampliamente utilizado en las obras civiles donde emplear una dosificación adecuada es esencial para lograr un hormigón confiable y duradero que cumpla con los estándares de calidad,

seguridad y desempeño requeridos en una construcción. Para obtener una buena dosificación es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Requisitos de Diseño
- Tipo de Estructura
- Ambiente (temperatura y humedad)
- Agresividad del Ambiente
- Tipo de Agregados
- Relación Agua-Cemento
- Tipo de Cemento
- Aditivos
- Métodos de Mezclado y Colocación
- Pruebas y Control de Calidad

Evaluar estos factores de forma meticulosa y balanceada posibilitará alcanzar una proporción precisa del hormigón que cumpla con los requisitos y demandas específicas de cada proyecto determinado.

### 3.4.3.2. Cemento

Generalmente se emplea en conjunto con otros elementos, principalmente áridos, para crear morteros y hormigones. Cuando se mezcla con agua, el cemento fragua y se solidifica tanto en condiciones de aire como sumergido en agua. Por lo tanto, se clasifica como un conglomerante hidráulico, esta característica ha llevado a que sea un elemento fundamental en la construcción, esencial tanto para la creación de edificios como para la ejecución de proyectos de infraestructura. El tipo más familiar y ampliamente utilizado de cemento es el cemento Portland (Sanjuán & Chinchón, 2014).

Según la norma ASTM C 150-07 especifica varios tipos de cemento Portland, los cuales cada uno tiene propiedades específicas que lo hacen adecuado para ciertas aplicaciones y condiciones. Es importante seleccionar el tipo de cemento correcto según las necesidades del proyecto y las condiciones en las que se utilizará al mismo.

#### Tipos de Cemento Portland

TIPO	CARACTERÍSTICAS
I	No se requiere características específicas
II	Moderada resistencia a sulfatos
III	Alta resistencia inicial
IV	Bajo calor de hidratación
V	Alta resistencia a los sulfatos

Tabla 1.- Tipos de cemento Portland fuente. ASTM C150-07

Para la propuesta del proyecto, se decidió emplear el cemento Portland Tipo IP para la creación y ejecución de los cilindros necesarios.

#### **3.4.3.3. Módulo de Elasticidad**

El módulo de elasticidad es una indicación de la capacidad del material para resistir cambios en su forma. El hormigón exhibe un comportamiento elastoplástico, lo que quiere decir que las tensiones no siempre se relacionan de manera proporcional con las deformaciones. El valor del módulo de elasticidad está influenciado por la resistencia del concreto, su edad, las características de los agregados y del cemento, la rapidez con la que se aplique la carga, así como la geometría y tamaño de las muestras de prueba (Arévalo, 2012).

Por lo tanto, el módulo de elasticidad se destaca como uno de los parámetros más significativos en el análisis y diseño de obras civiles. Se deriva al calcular el 45% de la resistencia característica a compresión ( $f'_c$ ) y se representa como la pendiente secante en el gráfico de esfuerzo y deformación unitaria. En el caso del hormigón, este valor puede aumentar con el tiempo, basándose en la resistencia y, por ende, varía según las propiedades del concreto en cuestión (Quimbay, 2012).

La comprensión del módulo de elasticidad resulta fundamental para prever la reacción de los materiales ante las cargas y su comportamiento en distintos escenarios, lo cual incide directamente en la seguridad, eficacia y funcionamiento de las construcciones y estructuras.

Entonces, para realizar el cálculo del módulo de elasticidad mediante ensayos de laboratorio implica la realización de pruebas de compresión en muestras cilíndricas de hormigón.

#### **3.4.3.4. Parámetros para el cálculo del Módulo de Elasticidad**

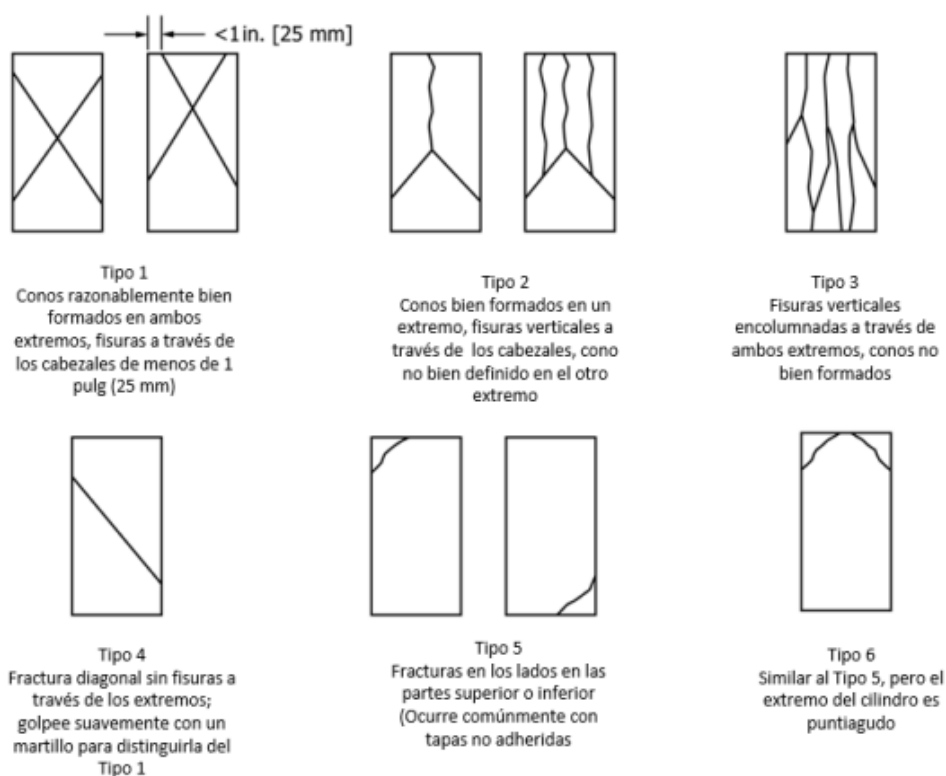
**Altura:** Se requiere tomar mediciones de al menos tres alturas diferentes (mm) para luego calcular su promedio. Esto se realiza con el propósito de calibrar adecuadamente el compresómetro y asegurarse de que esté posicionado a una distancia uniforme en ambos extremos del cilindro (Londoño & Terán, 2019)

**Diámetro:** Se calcula el promedio de al menos dos diámetros (mm) para determinar el área transversal del cilindro. Utilizando esta área y la carga máxima aplicada en el ensayo, se obtiene la resistencia del cilindro (Londoño & Terán, 2019).

**Masa:** Medición del peso del cilindro de prueba (gr) para calcular la densidad del cilindro (Londoño & Terán, 2019).

**Altura Compresómetro:** Es una dimensión constante en la altura del compresómetro (mm) la misma que, en conjunto con la deformación total permiten obtener la deformación unitaria del cilindro a una altura inicial (Londoño & Terán, 2019).

**Tipos de Fallas:** Existen varias formas en las cuales se podrá presentar una probeta de hormigón luego de ser sometida a fuerzas de compresión. Se presentan como un conjunto de grietas, las cuales denotan la pérdida de rigidez que sufre el material, si se realizan adecuadamente las probetas considerando la cantidad de material necesario y su posterior curado, se podrá obtener una falla de tipo vertical la misma que es considerada como falla ideal (Londoño & Terán, 2019).



**Figura 1.-** Tipos de fallas. Fuente: Norma técnica Guatemalteca.

**Er:** Distancia medida perpendicularmente (mm) desde los 0.20 mm que se encuentran próximos al centro del cilindro hacia el extremo del soporte giratorio (Londoño & Terán, 2019).

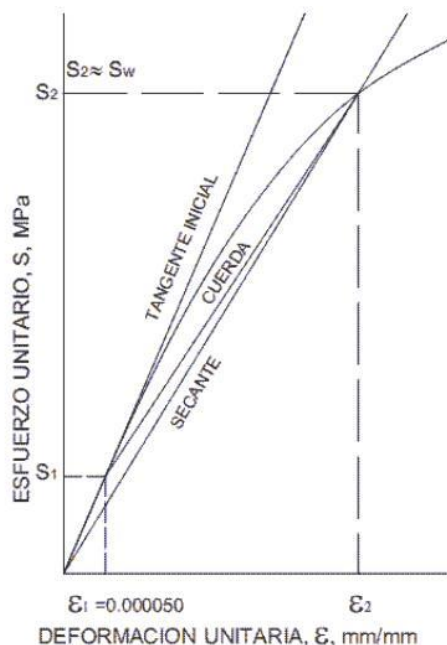
**Eg:** Distancia medida perpendicularmente (mm) desde los 0.20 mm que se encuentran cerca al centro del cilindro, hacia el extremo del soporte giratorio donde se encuentra el medidor del compresómetro. En conjunto con la distancia Er se obtiene la deformación total de la probeta a lo largo de la longitud efectiva del compresómetro (Londoño & Terán, 2019).

**Carga Máxima:** Carga máxima aplicada axialmente (kN) al área transversal de la probeta cilíndrica mediante el ensayo a compresión, lo que permite determinar la resistencia del hormigón (Londoño & Terán, 2019).

**Resistencia:** Se obtiene a partir de la división entre la carga máxima aplicada y el promedio de diámetros medidos en MPa (Londoño & Terán, 2019).

### 3.4.3.5. Obtención del Módulo de Elasticidad Experimental

Dentro del gráfico que indica cómo el hormigón responde ante la fuerza aplicada, durante la compresión es posible dibujar líneas tangenciales en la curva. Estas líneas permiten definir dos características de elasticidad: el Módulo Tangente Inicial, que se traza desde el punto de inicio de la curva, y el Módulo Secante, que se extiende desde el punto de inicio (donde el esfuerzo es cero) hasta un nivel de compresión equivalente al  $0.45f_c$  (Londoño & Terán, 2019).



**Figura 2.-** Esfuerzo-deformación del hormigón Fuente: Londoño & Terán (2019).

El módulo estático de elasticidad del hormigón se interpreta como la pendiente en la gráfica que muestra la relación entre la fuerza aplicada y la deformación en el rango elástico. Esta inclinación refleja la resistencia del material al ser sometido a una carga, y su valor está influenciado por diversos factores, como la duración de la carga, el tipo de componentes, la edad del hormigón, las condiciones de humedad y las características geométricas de la muestra (Londoño & Terán, 2019).

La norma ASTM C49 es utilizada para calcular el Módulo de Elasticidad Estático y el Coeficiente de Poisson del Hormigón en Compresión. En este procedimiento, se calcula el módulo experimental de cada probeta correspondiente a su resistencia específica. Esto

se logra mediante la observación y análisis de la deformación lineal experimentada por cada muestra durante el ensayo a compresión. Se registra la lectura del deformímetro en intervalos de 25000 Newtons de carga aplicada hasta que la probeta cilíndrica alcance su carga máxima y falle, es decir, se fracture (Londoño & Terán, 2019).

Posteriormente, se busca determinar la deformación unitaria de cada cilindro, lo cual requiere calcular previamente la deformación total. Esta cantidad se calcula utilizando las medidas de distancias  $E_r$  y  $E_g$ , las cuales permiten definir el desplazamiento real del espécimen a lo largo de su longitud efectiva, utilizando una fórmula específica (Londoño & Terán, 2019).

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

Donde:

- $d$ : Representa la cantidad total de cambio en forma del espécimen a lo largo de la longitud efectiva del deformímetro.
- $g$ : Es el valor registrado por el aparato de medición de las deformaciones.
- $E_r$  y  $E_g$ : Son distancias medidas perpendicularmente.

La deformación unitaria se calcula a partir de la lectura de la deformación longitudinal registrada por el deformímetro y la longitud efectiva del mismo aparato, considerando una longitud constante para todas las probetas (Londoño & Terán, 2019).

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

Donde:

- $\varepsilon$ : Indica la deformación unitaria de la probeta cilíndrica.
- $d$ : Representa la cantidad total de cambio en forma del espécimen a lo largo de la longitud efectiva del deformímetro.
- $L$ : altura del compresómetro.

Para obtener el valor experimental del módulo de elasticidad de cada probeta cilíndrica, en primer lugar, se procede a identificar el 40% de la carga máxima aplicada, así como su deformación unitaria correspondiente. Luego, se calcula el esfuerzo generado para una deformación unitaria específica de 0.00005. La elección de utilizar el 40% de la carga máxima se fundamenta en que esta cifra representa la máxima carga en la prueba del módulo de elasticidad, ya que hasta este punto el hormigón exhibe un comportamiento semielástico (Londoño & Terán, 2019).

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

Donde:

- E: Representa el módulo de elasticidad.
- $S_2$ : Esfuerzo que representa el 40% de la carga máxima aplicada.
- $S_1$ : Esfuerzo que representa la deformación unitaria de 50 millonésima.
- $\varepsilon_2$ : Deformación unitaria que se obtiene a partir del esfuerzo  $S_2$ .

### **3.5. Metodologías y Técnicas**

#### **3.5.1. Metodología Experimental**

La aplicación de un enfoque experimental, permite realizar cambios controlados en una o más variables del estudio para observar cómo afectan a las conductas observadas. Esto quiere decir que, mediante el ensayo experimental se modifica el valor de una variable independiente y en consecuencia se observará cómo esto influye en otra variable dependiente (Sans et al., 2012).

Por lo tanto, el proyecto propuesto se enfoca en la realización de ensayos experimentales en probetas cilíndricas para una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup>, con el fin de obtener la ecuación del módulo de elasticidad.

#### **3.5.2. Metodología Documental**

Según Tancara (1993), la investigación documental “Es una serie de métodos y técnicas de búsqueda, procesamiento y almacenamiento de la información contenida en los documentos, en primera instancia, y la presentación sistemática, coherente y suficientemente argumentada de nueva información en un documento científico, en segunda instancia” (p. 94). Este tipo de investigación es oportuno para el desarrollo del proyecto, ya que nos permitirá obtener, la ecuación del módulo de elasticidad para hormigones de alta resistencia elaborados con materiales propios del país.

### **3.6. Esquema básico de contenidos**

1. Capítulo I
  - 1.1 Introducción
    - 1.1.1 Justificación
    - 1.1.2 Planteamiento del problema
    - 1.1.3 Objetivos
      - 1.1.3.1 Objetivo General

- 1.1.3.2 Objetivos Específicos
- 1.1.4 Alcance
- 1.1.5 Metodología
- 1.2 Marco Teórico y Conceptual
  - 1.2.1 Marco Referencial
  - 1.2.2 Marco Teórico
  - 1.2.3 Marco Conceptual
- 2. Capítulo II
- 3. Capítulo III
- 4. Capítulo IV
- 5. Capítulo V
  - 5.1 Conclusiones
  - 5.2 Recomendaciones
- 6. Referencias Bibliográficas
- 7. Anexos

### **3.7. Limitaciones del estudio**

- El estudio a realizarse se restringe específicamente para el cantón Otavalo, provincia de Imbabura. Por ende, los resultados que se obtengan serán compatibles con sitios donde se presenten las mismas características del material propuesto o sector de estudio.
- La calidad del material reciclado, se verá afectada de acuerdo a la fuente de extracción, el tratamiento que se le dé y la cantidad de impurezas que pueda presentar.
- La cantidad de sulfatos o cloruros que contenga el material reciclado podrá afectar directamente a la durabilidad del hormigón a largo plazo.
- La resistencia objetivo para el diseño del hormigón será de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

### **3.8. Resultados esperados**

Se espera obtener la ecuación del módulo de elasticidad mediante ensayos experimentales para el hormigón de alta resistencia que incluyen en su diseño material reciclado, el mismo que será desarrollado para su aplicación dentro del país, tomando como punto de partida el estudio desarrollado para Estados Unidos.



## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, M. M. (2012). Apuntes de Hormigón Armado. 1–14.
- León, L., & Rodríguez, C. (2022). Factores que influyen en resistencia compresión mortero. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 16(3), 1–13. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193972950003>
- Londoño, D., & Terán, W. (2019). AUTORES.
- Normas, C. G. de. (2017). Norma Técnica Guatemalteca. 502, 1–23.
- Obras, S. de C. de. (2016). Readecuación del Instituto Tecnológico Superior “Lago Agrio.”
- Quimbay, R. (2012). MORTERO MEDIANTE TCTM Autor : Ing . Rodrigo Quimbay Herrera , MSc. Facultad de Ingeniería - Universidad de XXXXX, X(1), 50–94. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21528>
- Sanjuán, Á., & Chinchón, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland. In Nucleic Acids Research (Vol. 34, Issue 11). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/45347>
- Sans, A., & Atenea Alonso Serrano, Lorena García Sanz, Irene León Rodrigo, Elisa García Gordo, Belén Gil Álvaro, L. R. B. (2012). Métodos de investigación de enfoque experimental. Metodología de La Investigación Educativa, 167–193. <http://www.postgradoune.edu.pe/documentos/Experimental.pdf>
- Tancara, C. (1993). La investigación documental. Temas Sociales, (17), 91-106. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S004029151993000100008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S004029151993000100008&lng=es&tlng=es)

## 6. FIRMAS

---

TUTOR

Ing. Wilson Cando

---

AUTOR

Ing. Fabricio Comina