



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

Obtención de la ecuación del módulo de elasticidad de un hormigón de alta resistencia $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$, con agregados del área minera “La Esperanza”, material reciclado de construcción y cemento tipo GU “Chimborazo”.

Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Magister en
Ingeniería Civil Mención Estructuras Sismorresistentes

Autor: Washington Rafael Arias Paredes

Tutor: Ing. Wilson Cando MDI.

Quito-Ecuador

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
CAPÍTULO I.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.1. JUSTIFICACIÓN	1
1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.3. CONTEXTUALIZACIÓN DEL TEMA	1
1.1.4. OBJETIVOS	1
1.1.5. ALCANCE.....	2
1.1.6. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS.....	2
CAPITULO II	4
1.2. MARCO TEÓRICO.....	4
1.2.1. ANTECEDENTES	4
1.3. MARCO CONCEPTUAL.....	4
1.3.1. HORMIGÓN.....	4
1.3.2. AGREGADOS	4
1.3.3. CEMENTO	5
1.3.4. RECICLAJE	10
CAPITULO III.....	13
1.4. ENSAYOS EN LOS AGREGADOS	13
1.4.1. CUARTEO MECÁNICO	13
1.4.2. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS	13
1.4.3. AGREGADO GRUESO	13
1.4.4. AGREGADO FINO.....	15
1.4.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	17
1.4.6. ABSORCIÓN	18
1.4.7. PESO UNITARIO	18
1.4.8. CONTENIDO DE HUMEDAD	19
1.4.9. DESGASTE POR ABRASIÓN.....	19
1.5. DOSIFICACIÓN AL PESO MÉTODO ACI	20
1.5.1. ASENTAMIENTO	21
1.5.2. AGUA NETA Y CONTENIDO DE AIRE	21
1.5.3. RELACIÓN AGUA-CEMENTO	24
1.5.4. DOSIFICACIONES PREVIAS	24
1.5.5. MUESTRA PATRÓN	25
1.5.6. ROTURA DE CILINDROS	26
1.6. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL	27
1.7. DETERMINACIÓN DEL FACTOR PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD	27

1.8.	DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	27
CAPITULO IV		28
1.9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
1.9.1.	RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	28
1.9.2.	RESULTADOS MATERIAL RECICLADO DE CONSTRUCCIÓN.....	28
1.9.3.	RESULTADOS CILINDROS DOSIFICACIONES PREVIAS	29
1.9.4.	MUESTRA PATRÓN	30
1.9.5.	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL	32
1.9.6.	DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	34
1.9.7.	RESUMEN DE RESULTADOS	36
1.10.	ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	37
CAPITULO V.....		39
1.11.	CONCLUSIONES	39
1.12.	RECOMENDACIONES.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....		42
ANEXOS.....		45
1.13.	CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN MUESTRA PATRÓN	45
1.14.	CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN CON MATERIAL RECICLADO	46
1.14.1.	PORCENTAJE 4%	46
1.14.2.	PORCENTAJE 8%	48
1.14.3.	PORCENTAJE 12%	49
1.15.	DETERMINACIÓN MÓDULOS DE ELASTICIDAD	51
1.15.1.	MUESTRA PATRÓN	51
1.15.2.	PORCENTAJE 4%	54
1.15.3.	PORCENTAJE 8%	57
1.15.4.	PORCENTAJE 12%	60
1.16.	APARTADO FOTOGRÁFICO	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos de gradación para agregados gruesos.....	14
Tabla 2. Granulometría agregado grueso.....	14
Tabla 3.. Gradación para agregados finos.....	16
Tabla 4. Granulometría Agregado Fino.....	16
Tabla 5. Gravedad específica y absorción agregados fino y grueso.....	18
Tabla 6. Peso unitario agregado fino y grueso.....	19
Tabla 7. Contenido de humedad agregado grueso y fino.....	19
Tabla 8. Gradación de las muestras de ensayo de abrasión.....	20
Tabla 9. Desgaste por abrasión del agregado grueso.....	20
Tabla 10. Asentamientos de acuerdo al tipo de construcción.....	21
Tabla 11. Valores recomendados de tamaño máximo nominal según el tipo de construcción.....	22
Tabla 12. Valores recomendados para el contenido de aire para varios grados de exposición.....	22
Tabla 13. Requerimientos aproximados de agua de mezclado.....	23
Tabla 14. Relación entre la relación agua cemento y la resistencia a la compresión.....	24
Tabla 15. Resumen características agregados para cada relación agua-cemento.....	25
Tabla 16. Resumen cantidades utilizadas para cada mezcla en kg.....	25
Tabla 17. Resumen características agregados muestra patrón.....	25
Tabla 18. Resumen cantidades utilizadas para la muestra patrón en kg.....	26
Tabla 19. Características del material reciclado de construcción.....	29
Tabla 20. Dosificaciones con varias relaciones agua cemento.....	30
Tabla 21. Resistencia de diseño corregida.....	30

Tabla 22. Muestra patrón	31
Tabla 23. Módulos de elasticidad experimental muestra patrón.....	33
Tabla 24. Módulos de elasticidad experimental con sustitución de agregado fino	33
Tabla 25. Factor de módulo de elasticidad de la muestra patrón.....	35
Tabla 26. Factor de módulo de elasticidad sustitución agregado fino	35
Tabla 27. Comparación resultados experimentales-normativa ACI.....	36
Tabla 28. Módulo de elasticidad P1-0.37	51
Tabla 29. Módulo de elasticidad P2-0.37	52
Tabla 30. Módulo de elasticidad P3-0.37	53
Tabla 31. Módulo de elasticidad P1-4%	54
Tabla 32. Módulo de elasticidad P2-4%	55
Tabla 33. Módulo de elasticidad P3-4%	56
Tabla 34. Módulo de elasticidad P1-8%	57
Tabla 35. Módulo de elasticidad P2-8%	58
Tabla 36. Módulo de elasticidad P3-8%	59
Tabla 37. Módulo de elasticidad P1-12%	60
Tabla 38. Módulo de elasticidad P2-12%	61
Tabla 39. Módulo de elasticidad P3-12%	62

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Área minera para agregados	5
Ilustración 2. Cemento tipo GU	6
Ilustración 3. Muestras de cilindros de hormigón para ensayos de compresión.....	7
Ilustración 4. Curvas esfuerzo-deformación varias resistencias.	8
Ilustración 5. Tipos de fallas.....	9
Ilustración 6. Esquema de gestión de los RCD.....	11
Ilustración 7. Planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición.....	12
Ilustración 8. Material reciclado de construcción triturado	29

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1. Curva Granulométrica agregado grueso	15
Grafica 2. Curva Granulométrica agregado fino.....	17
Grafica 3. Diagrama Resistencia a la compresión-tiempo de curado	32
Grafica 4. Diagrama módulo de elasticidad-porcentaje sustitución	34
Grafica 5. Diagrama factor módulo de elasticidad-porcentaje de sustitución	36
Grafica 6. Comparaciones de módulos de elasticidad experimenta y normativa	37
Grafica 7. Diagrama esfuerzo deformación P1-0.37	45
Grafica 8. Diagrama esfuerzo deformación P2-0.37	45
Grafica 9. Diagrama esfuerzo deformación P3-0.37	46
Grafica 10. Diagrama esfuerzo deformación P1-4%	46
Grafica 11. Diagrama esfuerzo deformación P2-4%	47
Grafica 12. Diagrama esfuerzo deformación P3-4%	47
Grafica 13. Diagrama esfuerzo deformación P1-8%	48

Grafica 14. Diagrama esfuerzo deformación P2-8%	48
Grafica 15. Diagrama esfuerzo deformación P3-8%	49
Grafica 16. Diagrama esfuerzo deformación P1-12%	49
Grafica 17. Diagrama esfuerzo deformación P2-12%	50
Grafica 18. Diagrama esfuerzo deformación P3-12%	50

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1 ACI 318-19	27
Ec. 2 ACI 318-19	27
Ec 3. Módulo de elasticidad normativa.....	37
Ec 4. Módulo de elasticidad normativa.....	37
Ec 5. Módulo de elasticidad muestra patrón.....	37
Ec 6. Módulo de elasticidad muestra patrón.....	38
Ec 7. Módulo de elasticidad 4%	38
Ec 8. Módulo de elasticidad 4%	38
Ec 9. Módulo de elasticidad 8%	38
Ec 10. Módulo de elasticidad 8%	38
Ec 11. Módulo de elasticidad 12%	38
Ec 12. Módulo de elasticidad 12%	38

TÍTULO: Obtención de la ecuación del módulo de elasticidad de un hormigón de alta resistencia $f'c=300$ Kg/cm², con agregados del área minera “La Esperanza”, material reciclado de construcción y cemento tipo GU “Chimborazo”.

AUTOR: Washington Rafael Arias Paredes

TUTOR: Wilson Oswaldo Cando Tipán

RESUMEN

El presente estudio consiste en determinar las características de los agregados obtenidos de la mina La Esperanza de Pintag y del material reciclado de construcción mediante ensayos de laboratorio, posterior a la obtención de resultados de los agregados se realizará dosificaciones por peso mediante el método ACI, para lo cual se utilizó un asentamiento de 8cm con distintas variaciones de la relación agua-cemento, con las distintas variaciones se realizaron cilindros de hormigón que serán ensayos a los 7, 14 y 28 días respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos se realizó una corrección a la relación de A/C y se procedió a realizar nuevos cilindros que al ensayarlos se obtuvo la resistencia de $f'c=300$ kg/cm² requerida. Obtenida la dosificación definitiva o muestra patrón se procedió con la sustitución del agregado fino por distintos porcentajes de material reciclado de construcción (4, 8 y 12%), se realizaron cilindros de hormigón para cada porcentaje que fueron ensayados a los 28 días. De los ensayos realizados se obtuvieron resultados de carga máxima, módulo de elasticidad experimental y resistencia a la compresión del hormigón. Finalmente, con los resultados mencionados previamente se determinaron los módulos de elasticidad con sus respectivos factores, de esta manera se determinaron las ecuaciones del módulo de elasticidad para cada porcentaje de material reciclado de construcción sustituido.

PALABRAS CLAVE: AGREGADOS/ HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA / RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN/ RECICLAJE

TITLE: Obtaining the equation of the modulus of elasticity of a high strength concrete $f'_c=300$ Kg/cm², with aggregates from the mining area "La Esperanza", recycled construction material and cement type GU "Chimborazo".

AUTHOR: Washington Rafael Arias Paredes

TUTOR: Wilson Oswaldo Cando Tipán

ABSTRACT

The present study consists of determining the characteristics of the aggregates obtained from the La Esperanza de Pintag mine and the recycled construction material through laboratory tests, after obtaining the results of the aggregates, dosages by weight will be made using the ACI method, for which a slump of 8cm was used with different variations of the water-cement ratio, with the different variations concrete cylinders were made which will be tested at 7, 14 and 28 days respectively. According to the results obtained, a correction was made to the A/C ratio and new cylinders were made and when tested, the required strength of $f'_c=300$ kg/cm² was obtained. Once the definitive dosage or standard sample was obtained, the fine aggregate was replaced with different percentages of recycled construction material (4, 8 and 12%), and concrete cylinders were made for each percentage and tested after 28 days. From the tests performed, results were obtained for maximum load, experimental modulus of elasticity and compressive strength of the concrete. Finally, with the aforementioned results, the modulus of elasticity with their respective factors were determined, thus determining the equations of the modulus of elasticity for each percentage of substituted recycled construction material.

KEYWORDS: AGGREGATES/ HIGH STRENGTH CONCRETE/ CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE/ RECYCLING

CAPÍTULO I

1.1.INTRODUCCIÓN

1.1.1. JUSTIFICACIÓN

Debido a que el hormigón de alta resistencia está destinado a estructuras especiales como puentes, represas y edificios de gran altura, es necesario conocer su módulo de elasticidad de acuerdo con las características específicas de los agregados utilizados, además con el aumento de los escombros producidos en la industria de la construcción es necesario reciclar un porcentaje de los mismos para que sea utilizado en construcciones nuevas, de esta manera contribuyendo a la mitigación de la contaminación ambiental generada en el país.

1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a las grandes cantidades de escombros que se producen en las construcciones y obras civiles en el país, es necesario tener un reciclaje adecuado de los mismos que permita su reutilización en construcciones nuevas.

Actualmente el país no cuenta con una normativa especializada que nos indique que porcentajes de hormigón reciclado son los adecuados para ser incluido en construcciones nuevas sin afectar su vida útil y desempeño para el cual fueron diseñadas.

1.1.3. CONTEXTUALIZACIÓN DEL TEMA

Obtener el porcentaje adecuado de material reciclado de construcción para obtener un hormigón de alta resistencia de $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$.

1.1.4. OBJETIVOS

1.1.4.1. Objetivo General

Obtener la ecuación del módulo de elasticidad de un hormigón de alta resistencia $f'c=300\text{kg/cm}^2$, mediante el uso de agregados provenientes del área minera “La Esperanza”, material reciclado de construcción y cemento “Chimborazo” tipo GU.

1.1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar mediante ensayos de laboratorio las características específicas de los agregados y el material reciclado de construcción que se va a utilizar.

- Obtener la dosificación óptima del material reciclado de construcción para la obtención de un hormigón de alta resistencia $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$.
- Determinar la ecuación del módulo de elasticidad para distintos porcentajes de material reciclado de construcción que permita obtener un hormigón de alta resistencia $f'c=300\text{kg/cm}^2$.

1.1.5. ALCANCE

Para obtener la ecuación del módulo de elasticidad objetivo de este proyecto, se deberá realizar un proceso en el cual se ut materiales agregados extraídos del área minera La Esperanza y cemento “Chimborazo” tipo GU, con los materiales descritos anteriormente se realizará una cantidad determinada de cilindros de hormigón dosificados por peso para alcanzar una resistencia de $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$, posteriormente serán sometidos al ensayo de resistencia a la compresión luego de 28 días, una vez determinada la dosificación más adecuada se realizara la incorporación de distintos porcentajes de material reciclado de construcción con lo cual se realizarán nuevos cilindros de hormigón y se verificará que dosificación fue la más adecuada para alcanzar la resistencia descrita anteriormente.

Finalmente, los cilindros serán sometidos al ensayo de resistencia a la compresión y con los resultados obtenidos se determinará la ecuación de módulo de elasticidad para un hormigón de $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$.

1.1.6. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS

La metodología utilizada en el presente estudio es de tipo experimental debido a que se realizaran ensayos de laboratorio de los cuales se realizaran varias dosificaciones hasta obtener la más óptima que nos permita realizar un hormigón de alta resistencia $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$.

Para el desarrollo del presente estudio se seguirá la secuencia descrita a continuación:

- Seleccionar la mina de cual se obtendrán los agregados finos y gruesos a utilizarse.

- Una vez transportados los agregados al laboratorio se procederá a realizar los ensayos respectivos que permitan obtener las características específicas de cada agregado.
- Con los datos obtenidos de los agregados se procederá a realizar las dosificaciones para un hormigón de $f'c=300$ Kg/cm² usando el método de dosificación al peso mencionado en el ACI 318.
- Una vez obtenida la dosificación óptima se procederá a realizar cilindros de hormigón y al cabo de 28 días se les realizará un ensayo de compresión para determinar que dosificación cumplió la resistencia requerida.
- Con la determinación de la dosificación óptima se procederá reemplazar diferentes porcentajes de agregado por porcentajes de hormigón reciclado de construcción.
- Con las dosificaciones obtenidas en el punto anterior se procederá a a realizar cilindros de hormigón que a los 28 día se les realizará un ensayo de compresión, con los datos obtenidos y tabulados se procederá a realizar el análisis respectivo para verificar que dosificación cumplió con la resistencia requerida y de no ser el caso proponer conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO II

1.2.MARCO TEÓRICO

1.2.1. ANTECEDENTES

De acuerdo con un boletín publicado por SEBRAE (Servicio Brasileño de Apoyo a Micro y Pequeñas Empresas), se observó que el reciclaje de concreto permite la reutilización de escombros y, al mismo tiempo, mantiene los costos de construcción aún más bajos. Según estudios de la Cámara Brasileña de la Industria de la Construcción (CBIC), alrededor del 2% al 3% de la producción de un productor de hormigón termina siendo descartado como residuo. (Guimaraes, 2021)

Los escombros de hormigón se llevan a una planta de reciclaje para que sea triturado. Los escombros de hormigón no deben estar contaminados por otros tipos de materiales, como madera o ladrillo, para que las máquinas recicladoras funcionen correctamente. (Structuralia, 2018)

El Ecuador no tiene normativa que especifique la cantidad de material reciclado que se puede reutilizar en construcciones nuevas como Colombia o Chile, donde se tiene bastantes investigaciones sobre el tema y que posibilitan un reciclaje adecuado y óptimo que garantice el diseño de una estructura nueva segura y eficiente.

1.3.MARCO CONCEPTUAL

1.3.1. HORMIGÓN

El hormigón es una mezcla de varios componentes como son: agregados y pasta. A medida que la pasta se endurece debido a la reacción química del cemento y el agua, los agregados (normalmente arena, grava o piedra triturada) se aglutinan en una masa rocosa. Los materiales cementantes y los aditivos químicos también pueden ser agregados. (Steven H. Kosmatka, 2008)

1.3.2. AGREGADOS

Es el material granular que resulta de la disgregación y desgaste de las rocas, o que se obtiene mediante la trituración de estas. (Guaño, 2015)

Los agregados se clasifican de la siguiente manera:

- Clasificación por origen: ígneos, sedimentarios y metamórficos.
- Clasificación por color: esta clasificación solo se basa en el color del agregado.
- Clasificación por tamaño de partícula: finos y gruesos.
- Clasificación por modo de fragmentación: naturales y artificiales.
- Clasificación por peso específico: ligeros, normales y pesados.
- Agregados reciclados: limpios y sucios.



Ilustración 1. Área minera para agregados

1.3.3. CEMENTO

El cemento es un aglomerante hidráulico obtenido al moler finamente Clinker, es capaz de desarrollar todas sus propiedades al mezclarse con el agua sus propiedades son: Fraguado y Endurecimiento. (NES, 2012)

El cemento que se utilizará es el perteneciente a la empresa Cementos “Chimborazo” y es de tipo GU con las siguientes características:

- Mayor resistencia a la compresión
- Mayor resistencia a los sulfatos
- Mayor impermeabilidad

- Disminuye la reacción nociva del agregado
- Menor calor de hidratación



Ilustración 2. Cemento tipo GU

1.3.3.1. Propiedades Físicas y Químicas del cemento

1.3.3.1.1. Determinación de la densidad

La determinación de la densidad del cemento hidráulico requiere determinar la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier. (INEN NTE 156, 2009)

1.3.3.2. Propiedades del hormigón en estado fresco

En estado fresco el hormigón posee plasticidad que permite trabajar con el mismo y que moldee acorde al lugar donde se lo coloque, el estado fresco inicia cuando se le agrega agua a la mezcla y termina cuando inicia el fraguado.

Las propiedades que se tiene en estado fresco son:

- **Consistencia:** capacidad del hormigón para deformarse y se determina mediante el cono de Abrams.
- **Docilidad:** es la facilidad que tiene el hormigón para ser transportado, mezclado y compactado en el lugar donde será colocado.
- **Homogeneidad:** es la característica del hormigón que permite que todos los componentes de este tengan una distribución equitativa y homogénea.
- **Peso Específico:** es la relación entre la masa por unidad de volumen.

1.3.3.3. Propiedades del hormigón en estado endurecido

Son las propiedades que más se usan al momento de realizar el diseño de una estructura,

las principales propiedades son:

- **Resistencia a la Compresión**

Es la relación que se tiene entre la carga de rotura y el área de la sección transversal de la probeta que se está ensayando.

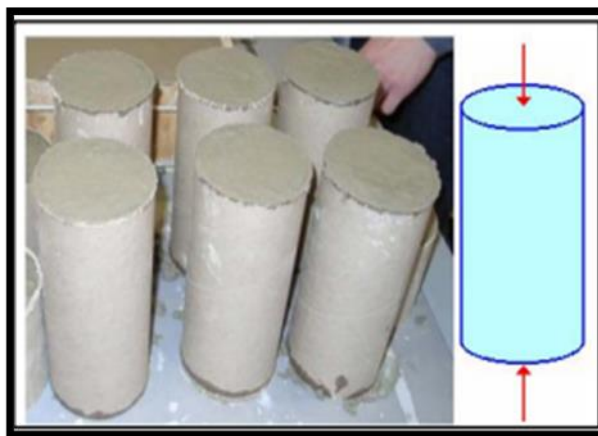


Ilustración 3. Muestras de cilindros de hormigón para ensayos de compresión.

Fuente: (Romo, 2008)

- **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. (Londoño et al., 2019)

El módulo de elasticidad se puede calcular con la siguiente ecuación:

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

Donde:

σ_c =Esfuerzo

ϵ_c =Deformación

Como se puede observar en la ilustración siguiente el módulo de elasticidad es diferente para cada resistencia.

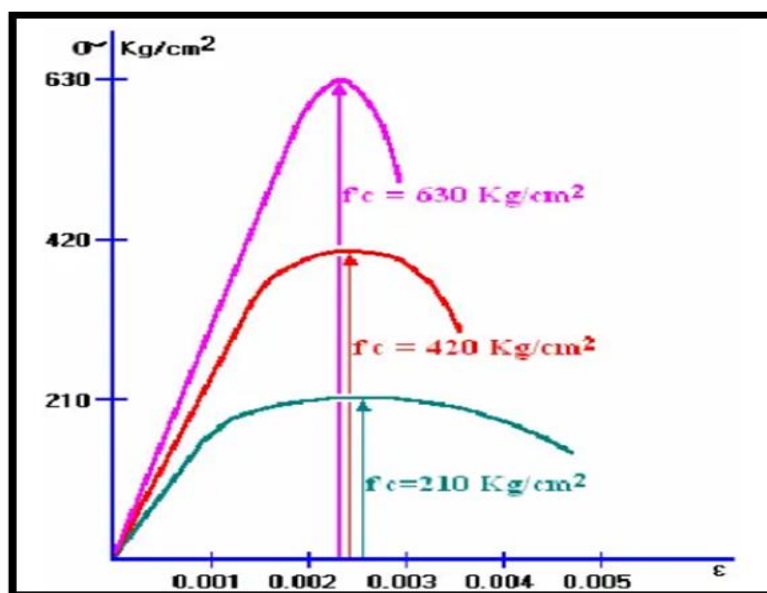


Ilustración 4. Curvas esfuerzo-deformación varias resistencias.

Fuente: (Romo, 2008)

El American Concrete Institute (ACI 318-19) propone la siguiente expresión que también se encuentra en el Código Ecuatoriano de la Construcción.

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

Donde:

E_c =Módulo de elasticidad del hormigón

f'_c =Resistencia a la compresión del hormigón

- **Tipos de fallas en cilindros de hormigón**

El tipo de falla en un cilindro de hormigón se describe como un conjunto de grietas paralelas entre ellas que representan la pérdida de rigidez que sufre el material al ser sometido a compresión. De esta manera, cuando se ha completado un proceso apropiado de fabricación y curado del concreto, debe ser el plano de falla ideal.

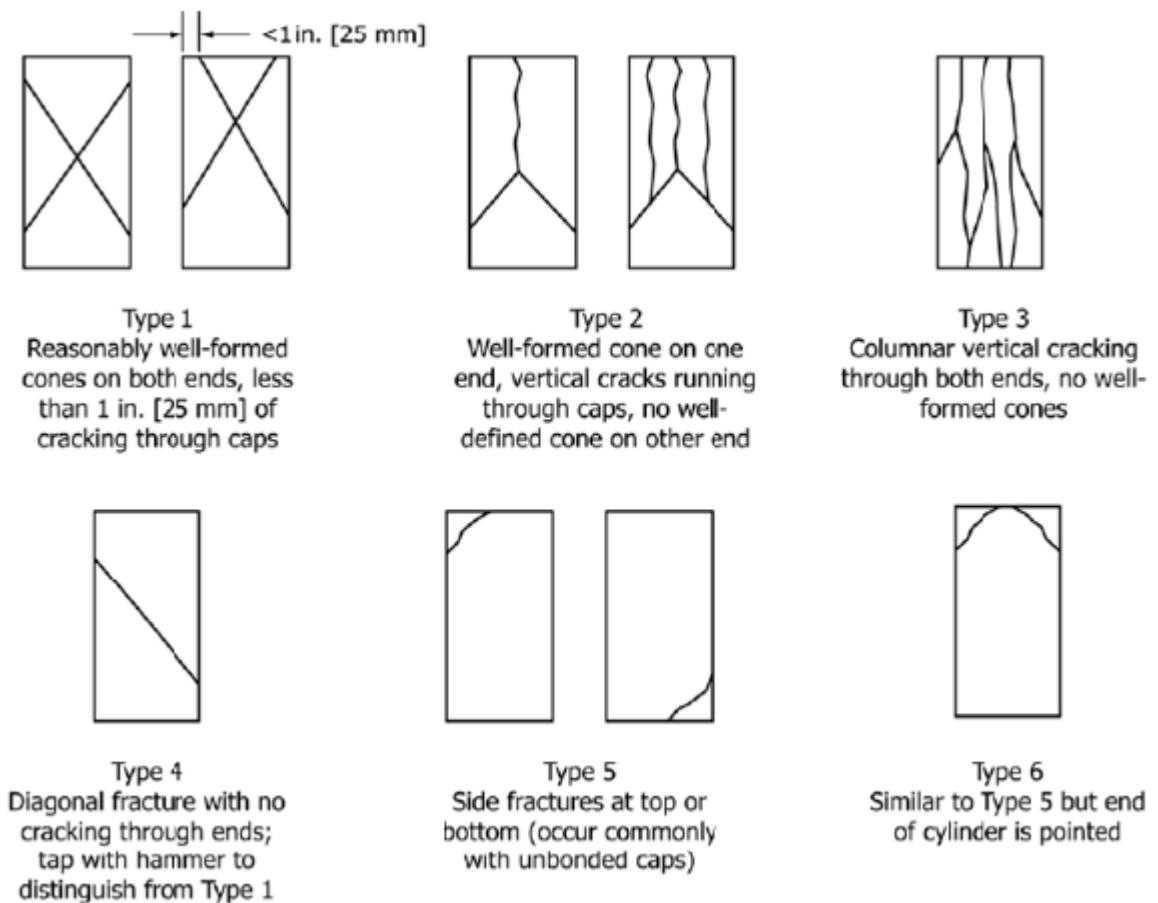


FIG. 2 Schematic of Typical Fracture Patterns

Ilustración 5. Tipos de fallas

Fuente: (ASTM, 2017)

1.3.4. RECICLAJE

ISAN destaca que el reciclaje permite utilizar el material una y otra vez. Crear nuevos productos significa reducir el desperdicio futuro al mismo tiempo. Al mismo tiempo, reduce el uso de materias primas y ahorra dinero. Energía, tiempo y dinero necesarios para su obtención a través de diversos procesos de fabricación. (ISAN A., 2018)

1.3.4.1. Agregados reciclados y los agregados naturales

El agregado resultante presenta generalmente una textura rugosa y porosa debido a la persistencia del mortero adherido a su superficie. Su densidad es muy similar a la del hormigón original, aunque es un 5-10% inferior al árido natural utilizado para fabricar este hormigón, y se considera un árido de densidad normal. (Bolaños, 2015)

1.3.4.2. Clasificación de los residuos de Construcción

Los residuos que provienen de la construcción y la demolición de las estructuras existentes causan uno de los mayores impactos tanto por su gran volumen y por la dificultad de la transportación de estos, por lo tanto, se puede realizar una adecuada selección y clasificación de estos, pero para eso es necesario reconocer el tipo de residuo existente:

- **Residuos inertes:** Según (Construmática, 2018), son aquellos que no presentan riesgo de polución de aguas y suelos y que, en general, podríamos asimilar a materiales pétreos.
- **Residuos no peligrosos:** De acuerdo con (Construmática, 2018)son los que por su naturaleza pueden ser tratados o almacenados en las mismas instalaciones que los residuos domésticos.
- **Residuos peligrosos:** De acuerdo con (Construmática, 2018)son los formados por materiales que tienen determinadas características perjudiciales para la salud o el medio ambiente.

1.3.4.3. Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición

En Chile según un estudio de la Conama (2010). La industria de la construcción aporta el 34% de los residuos sólidos, además desde esa fecha se comenzó a trabajar en un marco regulatorio que permita reducir la gran cantidad de vertederos ilegales que afectan al medio ambiente.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) plantea un esquema específico para el manejo de residuos de construcción y demolición (RCD) el cual determina los pasos a seguir para una correcta disposición y manejo de los residuos antes mencionados.

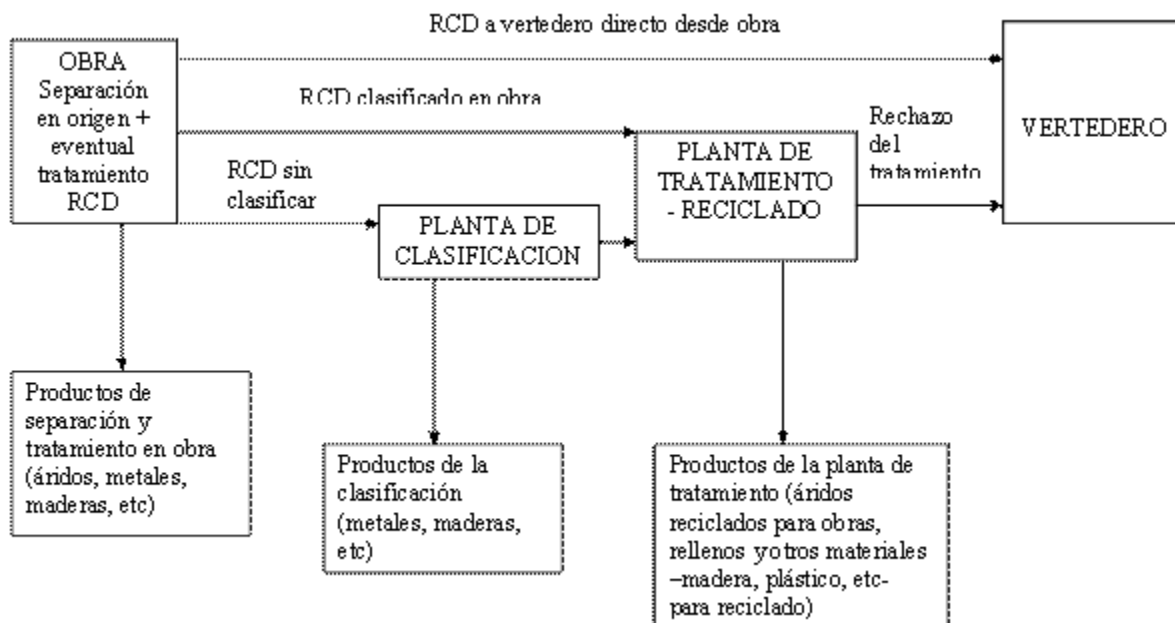


Ilustración 6. Esquema de gestión de los RCD

Fuente: (MITECO, 2008)

Existen dos tecnologías para minimizar el impacto ambiental las cuales son: recuperación en seco avanzada (ADR) y el sistema de clasificación de aire de calefacción (HAS), dichas tecnologías son adecuadas para la trituración y reducción del tamaño de los RCD, lo cual permite obtener agregados reciclados de buena calidad. (Muñoz P. et al., 2021)

A continuación, se observa el esquema de una planta de reciclaje de RCD.

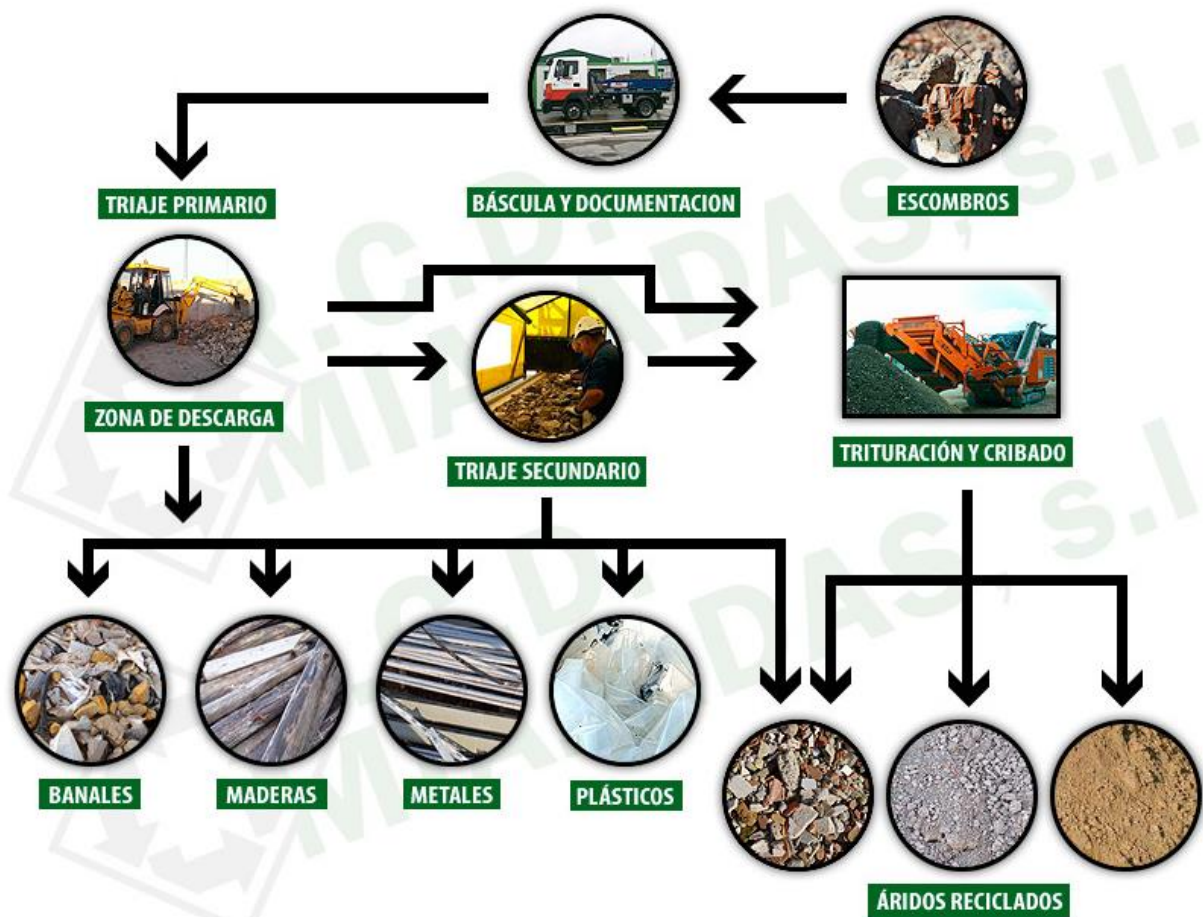


Ilustración 7. Planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición

Fuente: (Miajadas RCD, 2024)

CAPITULO III

1.4. ENSAYOS EN LOS AGREGADOS

El presente capítulo abarcará los ensayos realizados en los agregados gruesos y finos cuyos resultados son de suma importancia al momento de realizar la dosificación del hormigón de $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$ y sus respectivos cilindros.

1.4.1. CUARTEO MECÁNICO

De acuerdo con la (NTE INEN 695, 2010) 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.

1.4.2. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

El análisis granulométrico de un suelo consiste en determinar los diversos tamaños de las partículas, los porcentajes en que esos tamaños intervienen en su universo que lo componen. Es un indicativo para identificar y clasificar ciertos tipos de suelo. El análisis granulométrico por tamizado se realiza hasta las partículas de suelo retenidas en el tamiz N°200 (0.074 mm). Esto implica pasar el suelo a través de un conjunto de tamices con aberturas conocidas. Por lo tanto, la dimensión lateral o el lado de la abertura cuadrada del tamiz determina el tamaño o diámetro de las partículas. (NTE INEN 696, 2011)

1.4.3. AGREGADO GRUESO

El objetivo es determinar si el agregado cumple con las especificaciones de la NTE INEN 0872-11 de la siguiente tabla y se encuentra dentro del rango correspondiente al tamaño del agregado número #67 (tamaño nominal 19 mm a 4,75 mm). Para la producción de cilindros de hormigón.

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	37.5mm	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	0 a 5	---	---	
4	de 37.5 a 19.0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	10 a 30	---	---	---	
467	de 37.5 a 4.75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	0 a 5	0 a 5	---	---	
5	de 25.0 a 12.5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 15	---	---	---	
56	de 25.0 a 9.5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	---	0 a 5	---	---	
57	de 25.0 a 4.75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	0 a 15	0 a 10	0 a 5	---	
6	de 19.0 a 9.5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	20 a 55	0 a 5	---	---	
67	de 19.0 a 4.75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	40 a 70	0 a 10	0 a 5	---	
7	de 12.5 a 4.75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	85 a 100	0 a 15	0 a 5	---	
8	de 9.5 a 2.36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	de 9.5 a 1.18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 [^]	de 4.75 a 1.18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

[^] Al árido con número de tamaño, 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

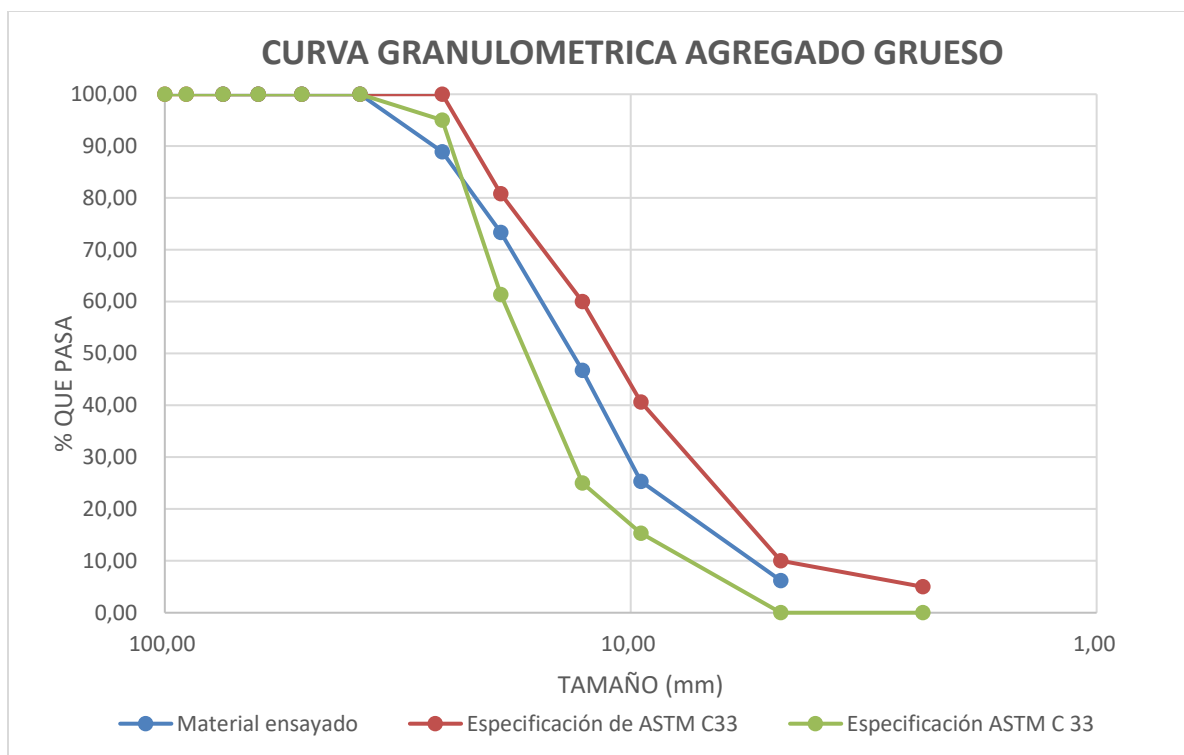
Tabla 1. Requisitos de gradación para agregados gruesos

Fuente: (NTE INEN 872, 2011)

Resultados

Malla No.	Abertura	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
	(mm)				
4"	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3 1/2"	90.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	1471.00	1471.00	11.10	88.90
3/4"	19.00	2062.00	3533.00	26.65	73.35
1/2"	12.70	3523.00	7056.00	53.23	46.77
3/8"	9.51	2845.00	9901.00	74.69	25.31
No.4	4.76	2535.00	12436.00	93.81	6.19
No.8	2.36	0.00	12436.00	93.81	6.19
No.16	1.18	0.00	12436.00	93.81	6.19
No.50	0.30	0.00	12436.00	93.81	6.19
Pasa N° 4		820.00	820.00		
SU MA		13256.00	13256.00		

Tabla 2. Granulometría agregado grueso



Una vez realizado el ensayo y tabulados los datos respectivos se determinó que el tamaño máximo nominal del agregado es de 1 pulgada y el tamaño máximo del mismo es 1 ½ pulgada.

De acuerdo con la gráfica obtenida se puede determinar que la curva granulométrica del material ensayado en nuestro caso de la mina La Esperanza en Pintag, se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa NTE INEN 872 y es apto para ser utilizado en la dosificación de hormigones.

1.4.4. AGREGADO FINO

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

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9.5mm	100
4.75mm	95 a 100
2.36mm	80 a 100

1.18mm	50 a 85
600µm	25 a 60
300µm	5 a 30
150µm	0 a 10

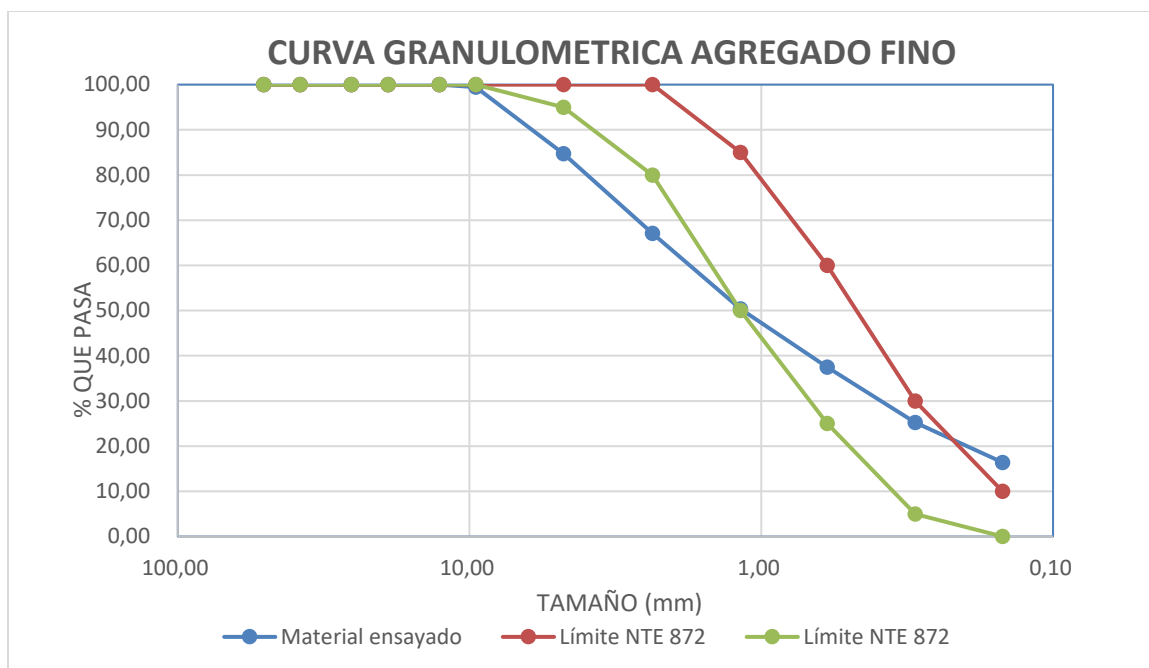
Tabla 3.. Gradación para agregados finos

Fuente: (NTE INEN 872, 2011)

Resultados

Malla No.	Abertura	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido	Porcentaje Que Pasa
	(mm)			(%)	(%)
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.51	5.70	5.70	0.55	99.45
No.4	4.76	152.10	157.80	15.32	84.68
No.8	2.36	181.70	339.50	32.95	67.05
No.16	1.18	171.60	511.10	49.61	50.39
No.30	0.60	132.90	644.00	62.51	37.49
No.50	0.30	126.50	770.50	74.79	25.21
No.100	0.15	90.70	861.20	83.60	16.40
No.200	0.07	71.20	932.40	90.51	9.49
Pasa No. 200		97.80	97.80		
SUMA		1030.20	1030.20		

Tabla 4. Granulometría Agregado Fino



Gráfica 2. Curva Granulométrica agregado fino

Una vez tabulados los datos del agregado fino se pudo determinar que el módulo de finura es de 3,2, lo que indica que el material es apto para ser usado en hormigones.

Además de acuerdo a la gráfica obtenida previamente, se puede observar que la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa NTE INEN 872 para agregado fino y se puede usar en las mezclas de hormigón.

1.4.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA

Es la proporción entre la masa (o peso en el aire) de un material por unidad de volumen y la masa del mismo volumen de agua a una temperatura especificada. Los valores tienen varias dimensiones. (ASTM C 127, 2001)

Esta prueba es importante porque se basa en el uso de sus resultados para determinar la cantidad de agregado presente en la mezcla de concreto. Estos datos son importantes para una distribución precisa del peso, ya que la gravedad específica saturada del agregado y la gravedad específica del cemento cuando la superficie está seca determinan el peso unitario del concreto y la cantidad de agregado para la resistencia requerida.

1.4.6. ABSORCIÓN

Es el aumento del peso del agregado en los poros del material, sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas. El agregado es considerado seco cuando este ha sido mantenido a una temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante el suficiente tiempo para eliminar toda el agua sin combinar. (ASTM C 127, 2001)

Es importante realizar esta prueba porque está directamente relacionada con la relación agua-cemento (a/c). Es decir, si el material está muy seco, esta relación será alta, pero si el material está húmedo, esta relación disminuirá. por lo tanto, esta prueba es un ejemplo de la variación en la masa y la cantidad de agua requerida para eliminar los huecos de los agregados durante la fabricación del concreto.

Resultados

GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADOS			
		Agregado Grueso	Agregado Fino
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2.30	2.21
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2.41	2.36
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2.57	2.6
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab (%) =	4.57	6.8

Tabla 5. Gravedad específica y absorción agregados fino y grueso

1.4.7. PESO UNITARIO

Para la realización de este ensayo se usa la norma (NTE INEN 858, 2010) en la cual se definen los parámetros a ser utilizados.

El peso unitario determina la densidad total como resultado de dividir la masa de árido en estado seco (a un determinado grado de compactación o compactación) por el volumen que ocupa, incluyendo los vacíos entre partículas y la absorción y los vacíos entre partículas. Expresado en lb/ft^3 (kg/m^3). Los hallazgos de este ensayo requieren conversiones de masa y volumen para vaciar mezclas de concreto hidráulico y recibir materiales en estructuras.

Resultados

PESO UNITARIO AGREGADOS			
		Agregado Grueso	Agregado Fino
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms (gr)	8792	4579
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc (gr)	9713	5135
PESO UNITARIO SUELTO	Pus (kg/m³)	1278	1537
PESO UNITARIO COMPACTO	Puc (kg/m³)	1412	1723

Tabla 6. Peso unitario agregado fino y grueso

1.4.8. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de agua del agregado se define como una expresión porcentual de la cantidad de agua evaporable presente en la muestra agregada debido al proceso de secado a una temperatura de 105 + 5 °C. Estos datos son fundamentales para definir la cantidad de agua mezclada necesaria para la inyección, por lo que este resultado es la base para la correcta producción del hormigón.

Para la realización del presente ensayo se usa la norma. (NTE INEN 862, 2011)

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADOS		
AGREGADO GRUESO	% H	0.08
AGREGADO FINO	% H	0.56

Tabla 7. Contenido de humedad agregado grueso y fino

1.4.9. DESGASTE POR ABRASIÓN

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.

Para la realización del presente ensayo se usa la norma. (NTE INEN 861, 2011)

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	1250 ± 25	---	---	---
25	19	1251 ± 25	---	---	---
19	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

Tabla 8. Gradación de las muestras de ensayo de abrasión

Fuente: (NTE INEN 860,2011)

Resultados

ABRASIÓN	
GRADACIÓN TIPO	A
MASA INICIAL (GR)	5010
MASA RETENIDA TAMIZ NO. 12 (GR)	3581
MASA QUE PASA TAMIZ NO. 12 (GR)	1429
PORCENTAJE DE DESGASTE (%)	29

Tabla 9. Desgaste por abrasión del agregado grueso

Como se puede observar en la tabla anterior el porcentaje de desgaste del agregado grueso es del 29%, de acuerdo con la norma NTE INEN 860 el agregado es adecuado y cumple los límites establecidos que menciona no debe superar el 50% de desgaste del material, por lo cual es adecuado para la elaboración del hormigón.

1.5. DOSIFICACIÓN AL PESO MÉTODO ACI

En la presente sección se encontrará la metodología y resultados parciales necesarios para una correcta dosificación de agregados, agua y cemento para la elaboración de un hormigón de alta resistencia $f'c=300$ kg/cm², además se sustituirá el agregado fino por los siguientes porcentajes de material reciclado de construcción 4, 8 y 12 % respectivamente.

Para el presente trabajo de titulación se ha optado por realizar la dosificación al peso mediante el método ACI, esto debido a que el mismo permite obtener resultados más precisos al momento de calcular los porcentajes de agregados, agua y cemento.

1.5.1. ASENTAMIENTO

El rango de asentamiento es un indicador de la manejabilidad, plasticidad, consistencia y resistencia del hormigón, que depende de la variación de la cantidad de cada componente. Por lo tanto, es crucial determinar el rango de asentamiento apropiado para el tipo de construcción, ya que, si no se cumple, no solo se afectarán las características mencionadas anteriormente, sino también su resistencia.

Tipos de Construcción	Asentamiento mm (Pulg)	
	MÁXIMO	MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columna de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimento y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)
*Se puede aumentar 25mm (1 pulg) para los métodos de consolidación.		
Los plastificantes pueden proveer revenimientos mayores		

Tabla 10. Asentamientos de acuerdo al tipo de construcción

Fuente: Adaptado de (American Concrete Institute, 1997)

Para la presente dosificación se escogió un valor de asentamiento de 80 mm, que es un valor adecuado para la mayoría de estructuras de hormigón armado en las cuales se necesita una alta resistencia.

1.5.2. AGUA NETA Y CONTENIDO DE AIRE

1.5.2.1. Tamaño máximo nominal del agregado

Se trata de seleccionar una granulometría adecuada, tener una masa más compacta y menos vacíos. Los valores recomendados del Tamaño Máximo Nominal para varios tipos de construcción se muestran en la Tabla siguiente.

Dimensión Mínima del Agregado (cm)	Tamaño Máximo Nominal En Mm (Pulg)			
	Muros Reforzados, Vigas Y Columnas	Muros Sin Refuerzo	Losas muy Reforzadas	Losas Sin Refuerzo o Poco Reforzadas
6-15	12 (1/2")-19 (3/4")	19 (3/4")	19 (3/4")-25 (1")	19 (3/4")-38 (1 1/2")
19-29	19 (3/4")-38 (1 1/2")	38 (1 1/2")	38 (1 1/2")-76 (3")	
30-74	38 (1 1/2")-76 (3")	76 (3")	38 (1 1/2")-76 (3")	76 (3")
75 o más	38 (1 1/2")-76 (3")	152 (6")	38 (1 1/2")-76 (3")	76 (3")-152 (6")

Tabla 11. Valores recomendados de tamaño máximo nominal según el tipo de construcción

Fuente: (Niño, 2010)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso que se determinó en los ensayos respectivos del material analizado es de 1 pulg.

1.5.2.2. Contenido de aire

El contenido de aire permite mejorar la trabajabilidad y la cohesión de la mezcla. Los valores recomendados para estimar el contenido de aire de la mezcla, basados en las referencias de la norma ACI, se encuentran en la tabla a continuación.

Agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
Pulgadas	mm		Suave	Mediano	Severo
3/8	9.51	3	4.5	6	7.5
1/2	12.5	2.5	4	5.5	7
3/4	19.1	2	3.5	5	6
1	25.4	1.5	3	4.5	6
1 1/2	38.1	1	2.5	4.5	5.5
2	50.8	0.5	2	4	5
3	76.1	0.3	1.5	3.5	4.5
6	152.4	0.2	1	3	4

Tabla 12. Valores recomendados para el contenido de aire para varios grados de exposición

Fuente: (Niño, 2010)

1.5.2.3. Contenido de agua de mezcla

La siguiente tabla muestra la cantidad de agua necesaria para una mezcla de hormigón para su trabajabilidad, adherencia e hidratación. El tamaño máximo nominal del agregado grueso determina la cantidad de agua necesaria.

	AGUA, KG/M3 DE CONCRETO, PARA LOS TAMAÑOS DE AGREGADO INDICADOS							
Tamaño Máximo Nominal (Mm)	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
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	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Tabla 13. Requerimientos aproximados de agua de mezclado

Fuente: (Steven H. Kosmatka, 2008)

Para la presente mezcla al tener un asentamiento de 8 cm y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1 pulg (25 mm), se escogió la cantidad de agua respectiva de 193 kg/m³ de hormigón y un porcentaje de aire sin incluir de 1.5 %.

1.5.3. RELACIÓN AGUA-CEMENTO

Es una de las características más importantes al momento de realizar dosificaciones de hormigón, debido a que con la misma se puede estimar la resistencia, permeabilidad, trabajabilidad que dependen de la relación agua-cemento.

Resistencia a la Compresión a los 28 Días		Concreto Sin Inclisor de Aire (Relación Absoluta Por Peso)	Concreto Con Inclisor de Aire (Relación Absoluta Por Peso)
kg/cm ²	PSI		
175	2500	0.65	0.56
210	3000	0.58	0.5
245	3500	0.52	0.46
280	4000	0.47	0.42
315	4500	0.43	0.38
350	5000	0.40	0.35

Tabla 14. Relación entre la relación agua cemento y la resistencia a la compresión

Fuente: (Niño, 2010)

1.5.4. DOSIFICACIONES PREVIAS

Para el presente apartado se han realizado 3 mezclas variando la relación agua-cemento, lo que permitió determinar la relación más adecuada para obtener un hormigón de alta resistencia $f'c=300\text{kg/cm}^2$, el porcentaje de agregado fino y grueso utilizado en la mezcla es de 60% y 40% respectivamente, a continuación, se colocará una tabla resumen con las características específicas de cada mezcla en kg/m³, además cabe indicar que los cálculos respectivos fueron realizados para un asentamiento de 8 cm.

A/C	0.45		0.4		0.5	
Parámetro	Ag. Grueso	Ag. Fino	Ag. Grueso	Ag. Fino	Ag. Grueso	Ag. Fino
% Humedad	0.08	0.56	0.08	0.56	0.08	0.56
% Absorción	4.57	6.77	4.57	6.77	4.57	6.77
Estado SSS	591.81	887.72	573.93	860.90	606.12	909.17

Estado seco	565.93	831.44	548.83	806.32	579.61	851.53
Estado natural	566.4	836.11	549.29	810.85	580.09	856.31
Cemento	473.33		532.50		426.00	
Agua neta	213		213.00		213.00	
Agua de mezcla	290.03		287.70		291.89	

Tabla 15. Resumen características agregados para cada relación agua-cemento

A/C	0.45	0.4	0.5
Parámetro	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Relación A/C	0.45	0.40	0.5
No. Cilindros de hormigón	5.00	5.00	5
Volúmen de hormigón a mezclar (m³)	0.03	0.03	0.03
Agua neta (kg)	5.97	5.97	5.97
Agua de mezcla (kg)	8.13	8.07	8.18
Cemento (kg)	13.27	14.93	11.944
Agregado fino (kg)	23.44	22.73	24.009
Agregado grueso (kg)	15.88	15.40	16.264

Tabla 16. Resumen cantidades utilizadas para cada mezcla en kg

1.5.5. MUESTRA PATRÓN

Al realizar las correcciones respectivas una vez obtenidos los resultados de las dosificaciones previas se decidió adoptar una relación agua-cemento de 0.37 dando como resultado las cantidades de agregados, agua y cemento que se muestran a continuación.

MUESTRA PATRÓN		
Parámetro	Ag. Grueso	Ag. Fino
% Humedad	0.08	0.56
% Absorción	4.57	6.80
Estado SSS	560.89	841.33
Estado seco	536.36	787.76
Estado natural	536.80	792.18
Cemento	575.68	
Agua neta	213.00	
Agua de mezcla	286.23	

Tabla 17. Resumen características agregados muestra patrón

MUESTRA PATRÓN	
Parámetro	Cantidad
Relación A/C	0.37
No. Cilindros de hormigón	5.00
Volúmen de hormigón a mezclar (m3)	0.03
Agua neta (kg)	5.97
Agua de mezcla (kg)	8.03
Cemento (kg)	16.14
Agregado fino (kg)	22.21
Agregado grueso (kg)	15.05

Tabla 18. Resumen cantidades utilizadas para la muestra patrón en kg

1.5.6. ROTURA DE CILINDROS

La rotura de cilindros esta normada por la ASTM C469/C469M-14 la cual requiere los siguientes parámetros de las probetas para obtener el módulo de elasticidad:

- **Altura:** es necesaria para calibrar el compresómetro y tener la misma distancia en los extremos del cilindro.
- **Masa:** sirve para determinar la densidad del cilindro y se mide en gr.
- **Diámetro:** es necesario para determinar el área del cilindro y posteriormente la resistencia a la compresión.
- **Tipo de falla:** existen varios tipos de fallas con sus respectivas características específicas.
- **Carga máxima:** es la carga máxima aplicada que va a resistir la probeta
- **Resistencia:** es la resistencia máxima a la compresión que resistirá la probeta.

Este ensayo se realizará tanto para las dosificaciones previas, muestra patrón y para los cilindros realizados sustituyendo el agregado fino por distintos porcentajes de material reciclado de construcción.

1.6.DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL

Una vez ensayados los cilindros de la muestra patrón y obtenida la resistencia a la compresión requerida, se procederá a determinar el módulo de elasticidad con las ecuaciones colocadas a continuación:

$$E = \frac{(S2 - S1)}{(\varepsilon2 - 0.00005)} \quad \text{Ec. 1 ACI 318-19}$$

Donde:

E= Módulo de elasticidad

S2= Esfuerzo respectivo para el 40% de la carga máxima (MPa)

S1= Esfuerzo mínimo (MPa)

$\varepsilon2$ = Deformación unitaria respectivo para el 40% de la carga máxima (mm/mm)

1.7. DETERMINACIÓN DEL FACTOR PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Una vez determinado el módulo de elasticidad experimental se procederá a utilizar la ecuación 19.2.2.1.b del American Concret Institute, la cual se muestra a continuación:

$$E = 4700 * \sqrt{f'c} \quad \text{Ec. 2 ACI 318-19}$$

Despejando el factor tenemos:

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

1.8.DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para determinar la ecuación del módulo de elasticidad para cada porcentaje de sustitución de agregado fino por material reciclado de construcción se utilizarán los módulos de elasticidad experimentales obtenidos mediante los ensayos de laboratorio y los factores determinados mediante cálculos y tabulación de resultados.

CAPITULO IV

1.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la presente sección se colocará y analizará los distintos resultados obtenidos en los ensayos realizados en cada cilindro respectivamente, además se determinará la ecuación del módulo de elasticidad para la dosificación más optima con la cual se obtuvo el $f'c=300$ kg/cm² al momento de sustituir el agregado fino por material reciclado de construcción.

1.9.1. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Los resultados obtenidos de la caracterización de agregados tanto fino como grueso se encuentran en la sección 3 del presente documento debido a que fueron considerados como resultados parciales previos al diseño de mezclas de hormigón, en la sección mencionada se encuentra los valores establecidos por la normativa y los obtenidos en cada ensayo de laboratorio respectivo.

1.9.2. RESULTADOS MATERIAL RECICLADO DE CONSTRUCCIÓN

El material reciclado de construcción es proveniente de adoquines y hormigón demolido que tiene origen en distintos proyectos de obra civil.

Es necesario mencionar que dicho material reciclado paso por un proceso de triturado, en el presente estudio el proceso de triturado se lo realizó en la máquina de los ángeles la cual arrojo material fino de color gris claro, para lo cual fue necesario mantener la maquina encendida durante 15 minutos a 500 rpm, el material obtenido es adecuado para sustituir el agregado fino al momento de realizar las mezclas de hormigón ya que posee características similares, sin embargo al contener más finos el porcentaje de absorción es un poco más alto, el material reciclado de construcción sustituyo el 4, 8 y 12 % del agregado fino respectivamente.

CARACTERÍSTICAS MATERIAL RECICLADO		
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2.34
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2.51
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2.80
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab (%) =	7.00
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%H=	0.43
MODULO DE FINURA		3.10

Tabla 19. Características del material reciclado de construcción



Ilustración 8. Material reciclado de construcción triturado

1.9.3. RESULTADOS CILINDROS DOSIFICACIONES PREVIAS

Se realizó tres dosificaciones previas con diferentes relaciones de agua-cemento, las cuales fueron: 0.4, 0.45 y 0.50, de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados al ensayar los distintos cilindros a los 7, 14 y 28 días respectivamente.

DOSIFICACIONES PREVIAS												
Probeta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Descripción A/C	0.4	0.4	0.45	0.45	0.5	0.5	0.4	0.45	0.5	0.4	0.45	0.5
Dureza neopreno	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Fecha de fabricación	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024	19/02/2024
Fecha de ensayo	26/02/2024	26/02/2024	26/02/2024	26/02/2024	26/02/2024	26/02/2024	05/03/2024	05/03/2024	05/03/2024	18/03/2024	18/03/2024	18/03/2024
Días de curado	7	7	7	7	7	7	15	15	15	28	28	28
Desviación de la superficie de carga (mm)	0.4	0.4	0.35	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.45	0.45	0.35
Desviación al eje transversal de la probeta (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desviación al eje longitudinal de la probeta (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diámetro 1 (mm)	153.37	153.23	152.97	152.71	152.77	152.59	151.66	150.99	151.7	151.71	151.17	151.6
Diámetro 2 (mm)	153.92	152.91	152.66	153	153.21	153.07	151.26	150.87	151.31	151.47	151.49	151.33
Altura 1 (mm)	305	300	299	300	300	299	300	299	300	301	300	299
Altura 2 (mm)	305	300	300	301	299	299	301	299	300	301	300	300
Altura 3 (mm)	306	299	299	300	300	300	300	300	300	300	301	299
Masa (kg)	11.89	11.51	11.5	11.62	11.53	11.5	11.13	10.91	11.12	11.5	11.19	11.14
Hora de ensayo	15:01	15:04	15:07	15:10	15:13	15:16	14:26	14:29	14:32	12:06	12:09	12:12
Carga Maxima (KN)	253.2	256.3	219.2	196.5	75.4	76.5	333.28	305.10	119.20	463.4	444.7	188.6
Tipo de falla	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4
Resistencia (MPa)	13.7	13.9	12	10.7	4.1	4.2	18.5	17	6.6	25.7	24.7	10.5

Tabla 20. Dosificaciones con varias relaciones agua cemento

Al observar la tabla colocada previamente se puede determinar que la relación agua-cemento que más se aproxima a una resistencia a la compresión de $f'c = 30$ MPa es la de 0.4 teniendo una resistencia a los 28 días de 25.7 Mpa, además se puede observar que a mayor relación agua-cemento la resistencia a la compresión disminuye considerablemente.

1.9.4. MUESTRA PATRÓN

Debido a que la relación agua-cemento no cumplió con la resistencia objetivo se realizó una corrección de la misma utilizando la norma NTE INEN 1855 que permitió determinar la resistencia de diseño requerida.

RESISTENCIA ESPECIFICADA	RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA
F'C	F'CR
MENOR 21 MPA	F'C+7
ENTRE 21 Y 35 MPA	F'C+8,5
MAYOR 35 MPA	F'C+10

Tabla 21. Resistencia de diseño corregida

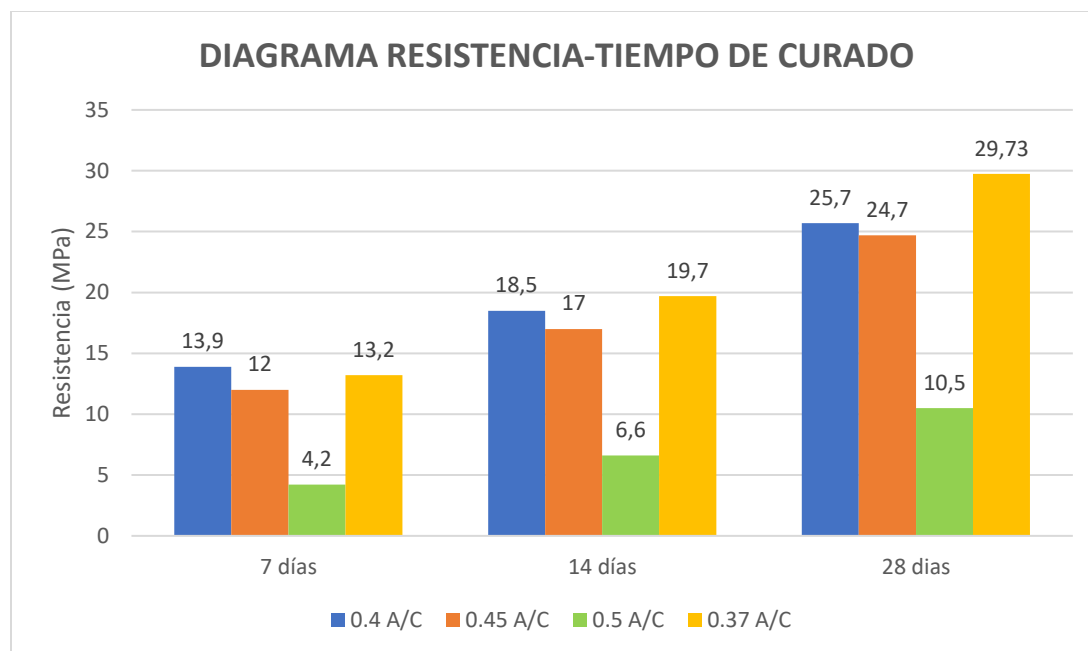
Fuente: (NTE INEN 1855, 2015)

Considerando que a mayor relación A/C la resistencia disminuye, se ha optado por disminuir dicha relación adoptando el valor de 0.37, esto debido a que la resistencia de diseño corregida aumento a 38.5 MPa.

MUESTRA PATRÓN					
Probeta No.	1	2	3	4	5
Descripción A/C	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Dureza neopreno	50	50	50	50	50
Fecha de fabricación	26/03/2024	26/03/2024	26/03/2024	26/03/2024	26/03/2024
Fecha de ensayo	03/04/2024	11/04/2024	25/04/2024	25/04/2024	25/04/2024
Días de curado	8	16	30	30	30
Desviación de la superficie de carga (mm)	0.1	0.15	0.2	0.15	0.15
Desviación al eje transversal de la probeta (mm)	0	0	0	0	0
Desviación al eje longitudinal de la probeta (mm)	0	0	0	0	0
Diámetro 1 (mm)	152.17	150.09	153.46	151.16	150.5
Diámetro 2 (mm)	151.22	150.18	154.82	152.19	150.7
Altura 1 (mm)	303	303	299	300	299
Altura 2 (mm)	304	303	300	300	300
Altura 3 (mm)	303	302	300	300	300
Masa (kg)	11.6	11.23	11.85	11.47	11.25
Hora de ensayo	13:00	13:03	14:10	14:15	14:25
Carga Maxima (KN)	237.7	355.63	562	535.6	523.54
Tipo de falla	5	5	5	4	5
Resistencia (MPa)	13.2	19.7	30.1	29.7	29.4
Resistencia (Kg/cm2)	134.60	200.88	306.93	302.85	299.79

Tabla 22. Muestra patrón

Analizando la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días de los 3 cilindros realizados se obtuvo una resistencia promedio de $f'_c=303.19 \text{ kg/cm}^2$, la cual es adecuada y acorde al objetivo planteado para el presente trabajo de titulación.



Grafica 3. Diagrama Resistencia a la compresión-tiempo de curado

Analizando la gráfica previa se ha determinado que mientras que si bajamos la relación agua-cemento podremos obtener una mayor resistencia a la compresión en este caso el obtenido para la muestra patrón con valor de 0.37 A/C, además cabe indicar que solo se ha variado la relación A/C mientras que el asentamiento sigue siendo el inicial de 80 mm.

1.9.5. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL

Para determinar el módulo de la elasticidad experimental se utilizará los datos de esfuerzo y deformación obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad Católica del Ecuador, además se utilizará la ecuación 1 que se muestra en la sección 3 del presente documento.

$$E = \frac{(12.04 - 1.33)}{(0.00066 - 0.00005)}$$

$$E = 17497.85 \text{ MPa}$$

1.9.5.1. Módulo de elasticidad experimental muestra patrón

Relación A/C	No. Cilindros	Módulo De Elasticidad (Mpa)	Módulo De Elasticidad (Kg/Cm2)	Módulo De Elasticidad Promedio (Mpa)	Módulo De Elasticidad Promedio (Kg/Cm2)
0.37	1	17497.86	178478.13	18370.02	187374.22
	2	20105.58	205076.88		
	3	17506.63	178567.65		

Tabla 23. Módulos de elasticidad experimental muestra patrón

La determinación del módulo de elasticidad que se muestra en la tabla previa es del cilindro 1 de la muestra patrón, las demás tablas se encontrarán en los anexos del presente documento.

El ensayo determinó un módulo de elasticidad promedio de 18370.02 MPa para la muestra patrón el cual será comparado con los obtenidos al sustituir el agregado fino con material reciclado de construcción en 4, 8 y 12% respectivamente.

1.9.5.2. Módulo de elasticidad experimental con sustitución de agregado fino

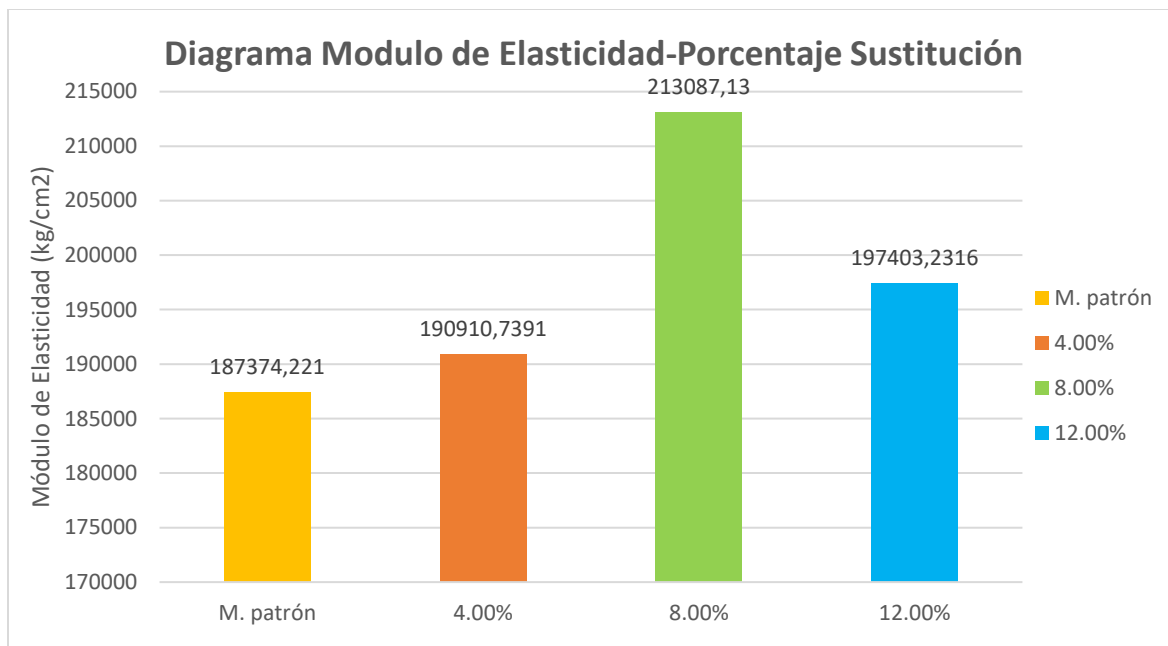
La presente sección contendrá el resultado de los módulos de elasticidad experimental con la sustitución de agregado fino al 4, 8 y 12% para su análisis.

Porcentaje de sustitución	No. Cilindros	Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo de elasticidad (kg/cm2)	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (kg/cm2)
4.00	1	20419.85	208282.49	18716.74	190910.74
	2	17755.12	181102.25		
	3	17975.24	183347.47		
8.00	1	20659.70	210728.97	20890.90	213087.13
	2	12527.52	127780.75		
	3	21122.09	215445.29		
12.00	1	19541.15	199319.73	19541.15	197403.23
	2	19199.83	195838.24		
	3	19318.80	197051.72		

Tabla 24. Módulos de elasticidad experimental con sustitución de agregado fino

De acuerdo a la tabla que se observa previamente el porcentaje del 8 % es el que presenta un mayor módulo de elasticidad, y si lo comparamos con el módulo de elasticidad de la muestra patrón todos los módulos obtenidos son mayores que la misma.

Además, la gráfica colocada a continuación indica que al pasar el porcentaje del 8% existe una reducción de módulo de elasticidad en este caso el asociado al 12%.



Grafica 4. Diagrama módulo de elasticidad-porcentaje sustitución

1.9.6. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para el cálculo del de factor de ecuación del módulo de elasticidad utilizaremos la ecuación

número 2 descrita en el presente documento perteneciente al American Concret Institute.

$$factor = \frac{17497.85}{\sqrt{30}}$$

$$factor = 3194.66$$

1.9.6.1. Factor de módulo de elasticidad muestra patrón

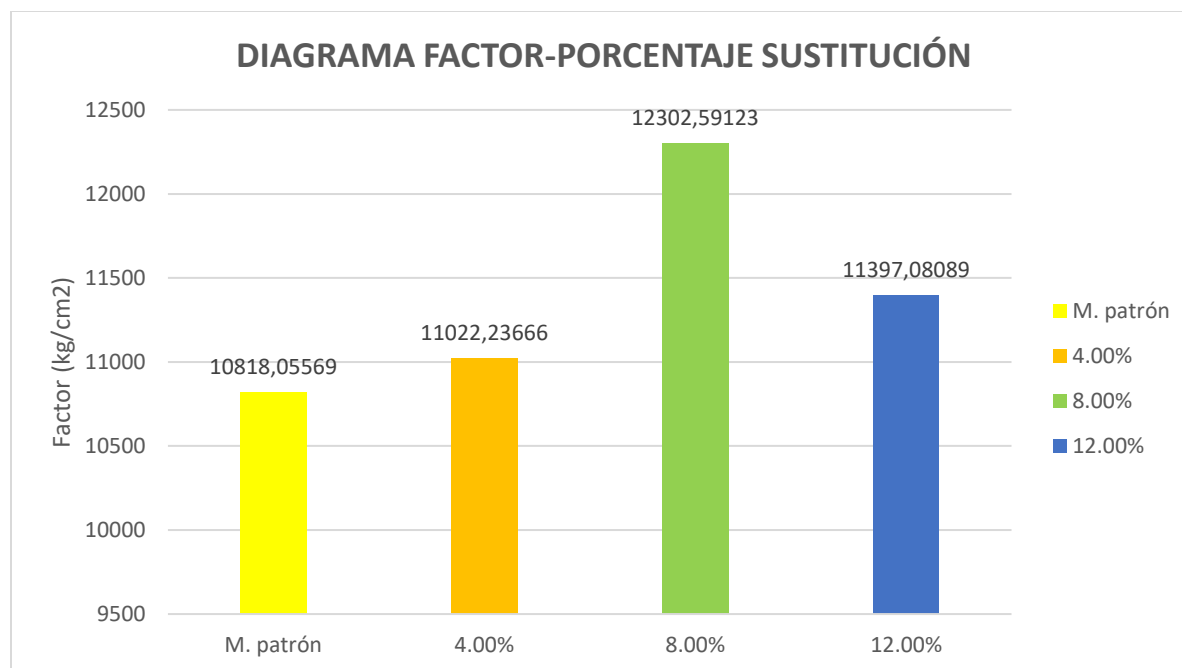
Relación A/C	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (kg/cm ²)	Factor (MPa)	Factor (kg/cm ²)
0.37	30	300	18370.02	187374.22	3353.89	10818.06

Tabla 25. Factor de módulo de elasticidad de la muestra patrón

1.9.6.2. Factor de módulo de elasticidad sustitución de agregado fino

Porcentaje de sustitución	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (kg/cm ²)	Factor (MPa)	Factor (kg/cm ²)
4%	30	300	18716.7391	190910.739	3417.19	11022.24
8%	30	300	20890.8952	213087.131	3814.14	12302.59
12%	30	300	19541.1504	197403.232	3567.71	11397.08

Tabla 26. Factor de módulo de elasticidad sustitución agregado fino



Grafica 5. Diagrama factor módulo de elasticidad-porcentaje de sustitución

Acorde a lo que se determinó en el módulo de elasticidad y al determinar su respectivo factor para encontrar la ecuación del mismo, el porcentaje de sustitución del 8% es el que presente el mayor factor dando como resultado 12303.59, siendo mucho mayor al obtenido en la muestra patrón.

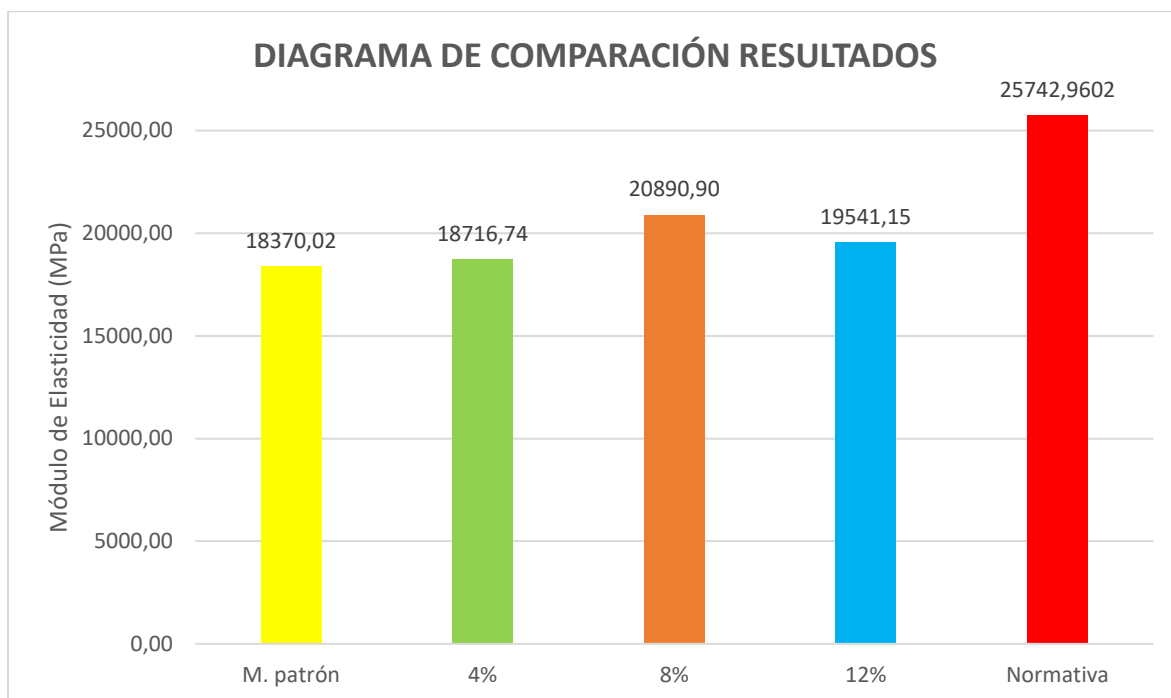
1.9.7. RESUMEN DE RESULTADOS

Descripción	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Experimental		Normativa		Diferencia en %
			Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo de elasticidad (Kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo de elasticidad (Kg/cm ²)	
M. patrón	30.00	300.00	18370.02	187374.22	25742.96	261539.67	28.64
4%	30.00	300.00	18716.74	190910.74			27.29
8%	30.00	300.00	20890.90	213087.13			18.85
12%	30.00	300.00	19541.15	197403.23			24.09

Tabla 27. Comparación resultados experimentales-normativa ACI

De acuerdo a la tabla que se observa se ha determinado que los módulos de elasticidad con porcentaje sustituido son muy cercanos a los obtenidos en la muestra patrón, sin embargo, el porcentaje del 8% tiene una mayor diferencia. En cambio, si se compara con los módulos de elasticidad obtenidos con las ecuaciones del ACI 318-19 es el que más se aproxima a dichos

resultados teniendo una diferencia del 18%, mientras que con los otros resultados la diferencia supera el 24%.



Grafica 6. Comparaciones de módulos de elasticidad experimenta y normativa

1.10. ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Con los datos obtenidos previamente se procederá a determinar la ecuación del módulo de elasticidad sustituyendo el agregado fino por distintos porcentajes de material reciclado de construcción, que en el presente estudio son del 4, 8 y 12 % respectivamente.

A continuación, se colocarán las ecuaciones finales que se obtuvieron:

$$E = 15100 * \sqrt{f'c} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Ec 3. Módulo de elasticidad normativa

$$E = 4700 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa)}$$

Ec 4. Módulo de elasticidad normativa

$$E = 10818.06 * \sqrt{f'c} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Ec 5. Módulo de elasticidad muestra patrón

$$E = 3353.89 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa)}$$

Ec 6. Módulo de elasticidad muestra patrón

$$E = 11022.24 * \sqrt{f'c} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Ec 7. Módulo de elasticidad 4%

$$E = 3417.19 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa)}$$

Ec 8. Módulo de elasticidad 4%

$$E = 12302.59 * \sqrt{f'c} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Ec 9. Módulo de elasticidad 8%

$$E = 3814.14 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa)}$$

Ec 10. Módulo de elasticidad 8%

$$E = 11397.08 * \sqrt{f'c} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Ec 11. Módulo de elasticidad 12%

$$E = 3567.71 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa)}$$

Ec 12. Módulo de elasticidad 12%

Se puede observar previamente que los factores obtenidos para la ecuación son cercanos a los de la muestra patrón sin embargo son más altos, lo que indica que sustituir el agregado fino por material reciclado de construcción hasta un cierto porcentaje en nuestro caso el 8% mejora el módulo de elasticidad del hormigón, en cambio superado este porcentaje se observa un decremento del módulo de elasticidad (12%).

CAPITULO V

1.11. CONCLUSIONES

- Los agregados cumplen con los límites establecidos en la normativa como son: en el caso del agregado fino y el material reciclado de construcción triturado el módulo de finura es de 3.2 y 3.1 respectivamente, en el caso del agregado grueso la norma exige que para ser apto en la fabricación de hormigones el porcentaje de abrasión debe ser del 50%, en el caso del presente estudio dicho porcentaje es del 29% lo cual indica que cumple con la normativa y es óptimo para ser utilizado en hormigones.
- Además es importante mencionar que el material reciclado de construcción posterior a su trituración presentó un mayor número de finos comparado con el agregado fino, por este motivo su porcentaje de absorción fue mayor situándose en el 7%, sin embargo el incremento no es muy significativo al momento de fabricar el hormigón ya que tiene dicho material tiene características similares al agregado fino.
- La ecuación del módulo de elasticidad obtenida de forma experimental al fabricar cilindros con cemento Chimborazo tipo GU y agregados de mina La Esperanza ubicada en Pintag arrojó los siguientes resultados: $E = 3354 * \sqrt{f'c} (MPa)$, que difiere en gran medida con la ecuación formulada por el ACI 318-19 descrita a continuación $E = 4700 * \sqrt{f'c} (MPa)$, esto tiene una relación directa con la calidad de agregados que existen en el Ecuador haciendo que la ecuación que se debería utilizar en nuestro y para la mina antes mencionada sea la que se ha determinado en el presente trabajo de titulación.

- Al sustituir el agregado fino por material reciclado de construcción en porcentajes del 4, 8 y 12% se obtuvieron módulos de elasticidad mayores a los determinados con la muestra patrón, además, al sustituir el 8% se obtuvo el valor más alto del factor de módulo de elasticidad experimental tendiendo el siguiente resultado: $E = 3814 * \sqrt{f'c} (MPa)$, lo cual indica que sustituir agregado fino por hormigón reciclado de construcción al momento de realizar hormigones tiene una buena incidencia en sus características tales como: la resistencia a la compresión. Cabe indicar que esta sustitución tiene un límite máximo, en caso del presente estudio es del 8% ya que posterior a esto decrece.
- Al determinar que utilizar material reciclado de construcción hasta cierto porcentaje es óptimo para realizar hormigones nuevos, esto tiene una relación directa con la preservación del medio ambiente debido a que los escombros de sector de la construcción que son depositados en escombreras pueden ser reciclados disminuyendo la contaminación ambiental en los recursos naturales.

1.12. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar un trabajo de titulación con porcentajes de sustitución entre el 8 y 12% para determinar con exactitud el valor en el cual se encuentra el punto de inflexión determinando el porcentaje óptimo al momento de utilizar material reciclado de construcción al momento de fabricar hormigones.
- Son necesarios más estudios que permitan realizar una base de datos, que posteriormente sean incluidos en la normativa de construcción ecuatoriana regulando de esta manera el uso de materiales reciclables procedentes del sector de la construcción.

- Es importante que la NEC considere realizar un esquema sobre la gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD) como en el caso de otros países que permita determinar cada etapa al momento del reciclado.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute, 2. (1997). Standard Practice for selecting proportions for normal heavyweight, and mass concrete.
- ASTM C 127. (2001). *Método Estándar para la Determinación de la Gravedad Específica y Absorción de los Agregados*.
- ASTM, C. (2017). *Resistencia a la compresion de cilindros de concreto*.
- Bolaños, J. (2015, Diciembre). *Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigon*. Universidad Internacional del Ecuador, Quito.
- CCHC, C. d. (2022). *Manual de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición*. Valparaíso.
- Construmática. (2018, Mayo 15). *Construmática*. Retrieved from https://www.construmatica.com/construpedia/Residuos_Generados_en_las_Obras_de_Construcción
- Crisafulli, F. (2018). *Diseño Sismorresistente de Construcciones de Acero*. Asociación Latinoamericana del Aceero.
- ESC Group. (2021, 11 06). *ESC Global Group*. Retrieved from <https://www.escglobalgroup.com/es/post/construcción-compuesta-de-acero-y-hormigón>
- Guaño, E. (2015). *MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Guimaraes, L. (2021, Julio 02). *El reciclaje de hormigón gana cada vez más fuerza*. Retrieved from Construcción Latinoamericana:

<https://www.construccionlatinoamericana.com/news/el-reciclaje-de-hormigon-gana-cada-vez-mas-fuerza/8013322.article>

INEN NTE 156. (2009). *CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.*

Quito.

Ingenieríablog. (2016, 12 27). Retrieved from

<https://www.ingenieriablog.com/2016/12/columnas-de-tubo-de-acero-rellenas-de.html>

ISAN A. (2018, Mayo 05). *Ecología Verde.* Retrieved from

<https://www.ecologiaverde.com/definicion-de-reciclaje-240.html>

Londoño et al. (2019). *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.* Quito.

Miajadas RCD. (2024). Retrieved from <https://www.residuosdeconstruccion.com/planta-de-gestion-de-residuos.php>

MITECO, M. p. (2008). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.*

Retrieved from <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/tierras-y-escombros/cual-es-ciclo-gestion-como-pueden-tratarse.html>

Molina, A. (2007, 06 15). *ESTRUCTURAS DE ACERO. Columnas mixtas, ventajas y particularidades.* Costa Rica.

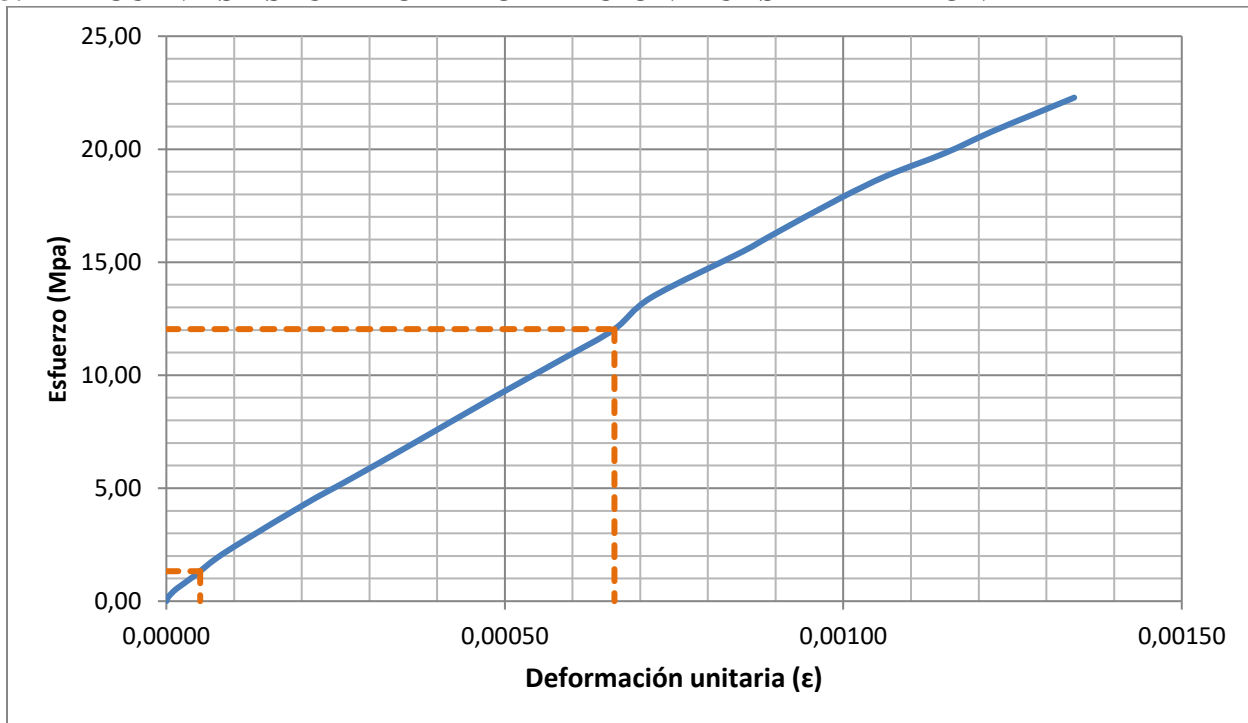
Muñoz P. et al. (2021). Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto ambiental y preservar nuestros recursos naturales. *Ecuadorian Science Journal*, 104.

NES, A. D. (2012). *Cemento Portland.*

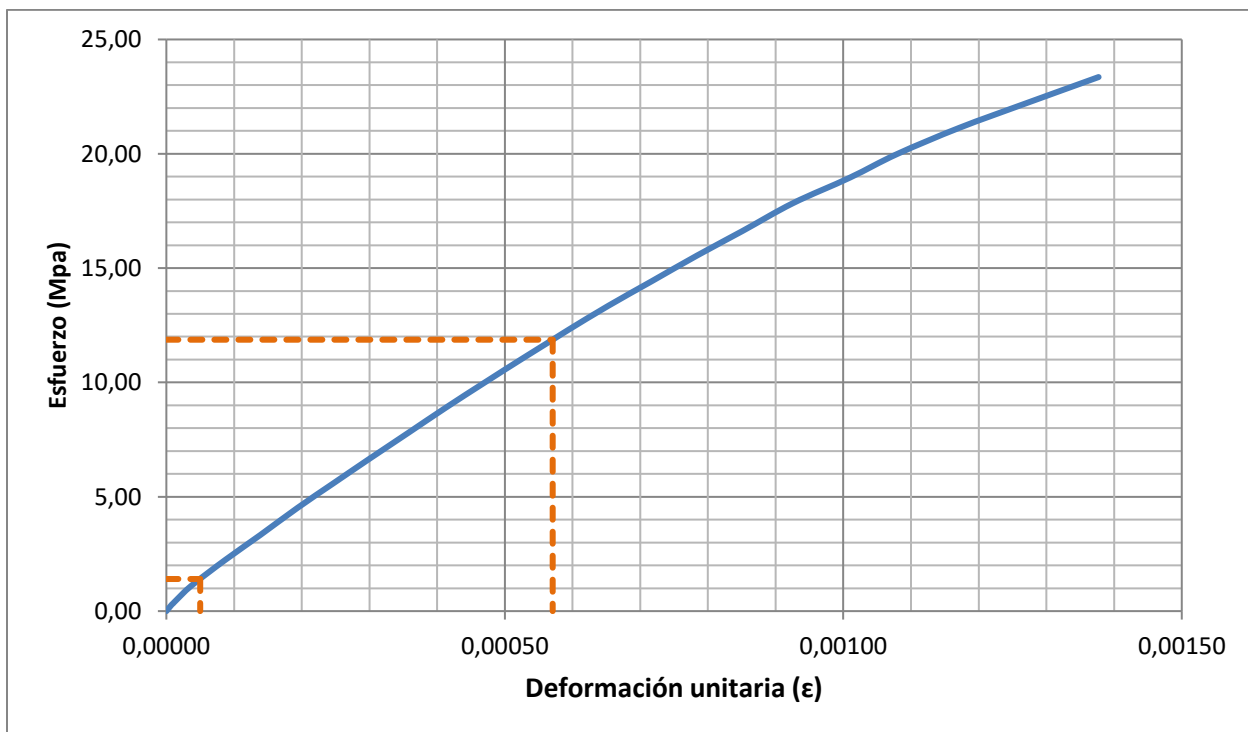
- Niño, J. (2010). *Tecnología del Concreto*. Bogotá: Asocreto.
- NTE INEN 1855. (2015). *Hormigón preparado en obra, requisitos*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 695. (2010). *Muestro Áridos*. Quito.
- NTE INEN 696. (2011). *Áridos, Análisis Granulométrico de los áridos Finos y Gruesos*. Quito.
- NTE INEN 858. (2010). *Áridos, Determinación de la Masa Unitaria y el Porcentaje de Vacíos*. Quito.
- NTE INEN 861. (2011). *Áridos, Dterminación del Valor de la Degradación del Árido Grueso de Partículas Mayore a 19mm Mediante el Uso de la Máquina de los Ángeles*. Quito.
- NTE INEN 862. (2011). *Áridos para Hormigón, Determinación del Contenido Total de Humedad*. Quito.
- NTE INEN 872. (2011). *Áridos para Hormigón Requisitos*. Quito.
- Rojas, W. (2016, 11 24). *ISSUU*. Retrieved from https://issuu.com/wilderrojas1/docs/columnas_mixtas_de_acero_y_hormig__
- Romo, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*. Quito.
- Ronquillo, G., & Verdugo, M. (2019). *USO DE HORMIGONES RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION COMO AGREGADOS PARA HORMIGON*. UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, Guayaquil.
- Steven H. Kosmatka, B. K. (2008). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Portland Cement Association.
- Structuralia. (2018, Mayo 18). *Structuralia*. Retrieved from <https://blog.structuralia.com/el-reciclado-del-hormigon-y-sus-enormes-ventajas-medioambientales>

ANEXOS

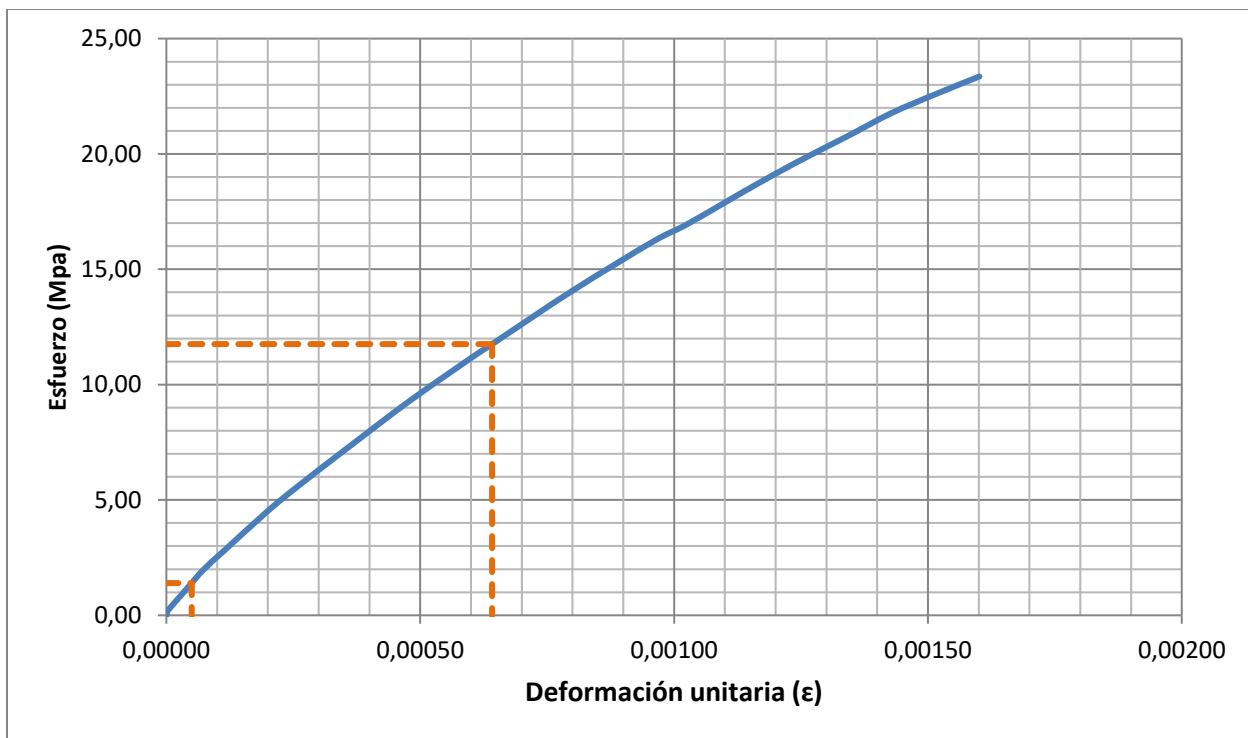
1.13. CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN MUESTRA PATRÓN



Gráfica 7. Diagrama esfuerzo deformación P1-0.37



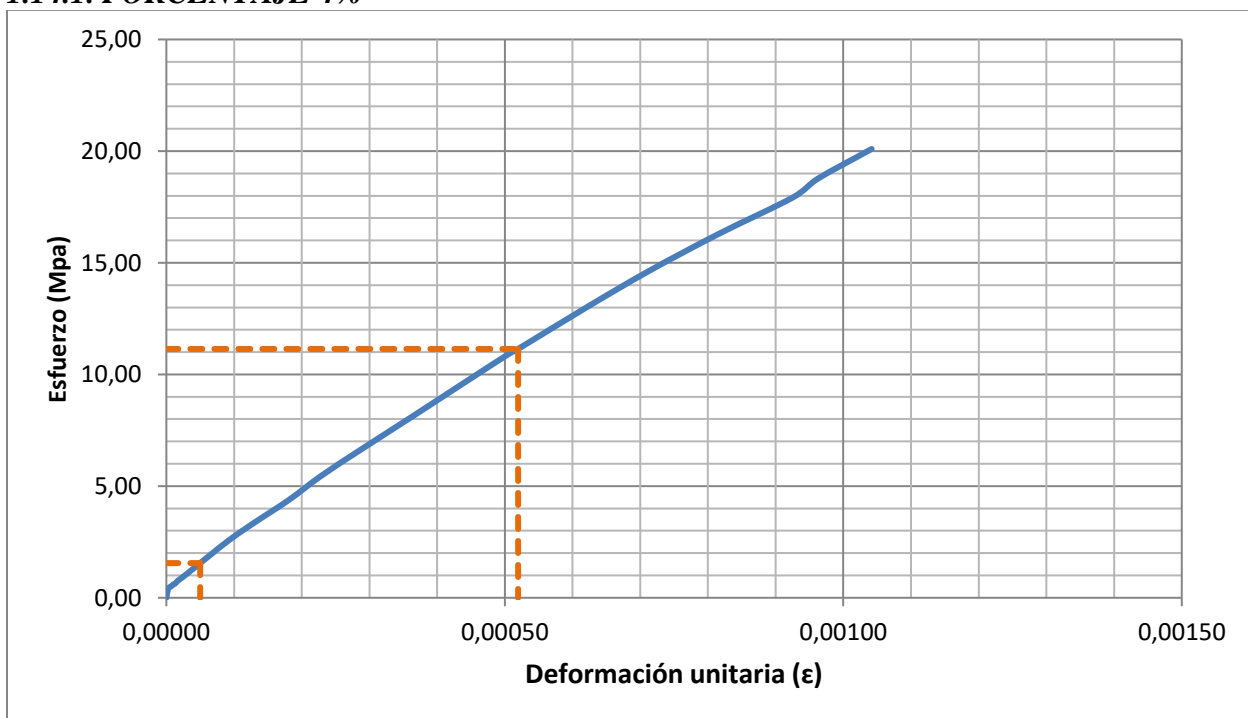
Gráfica 8. Diagrama esfuerzo deformación P2-0.37



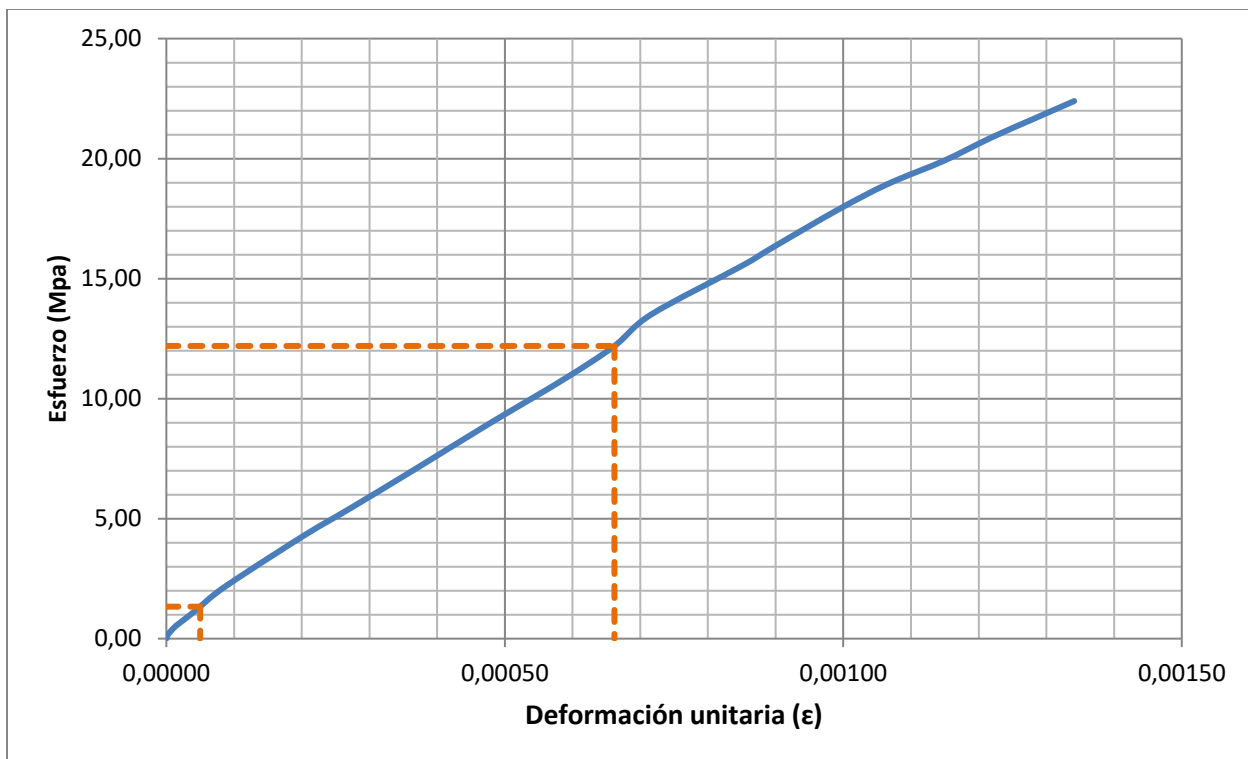
Gráfica 9. Diagrama esfuerzo deformación P3-0.37

1.14. CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN CON MATERIAL RECICLADO

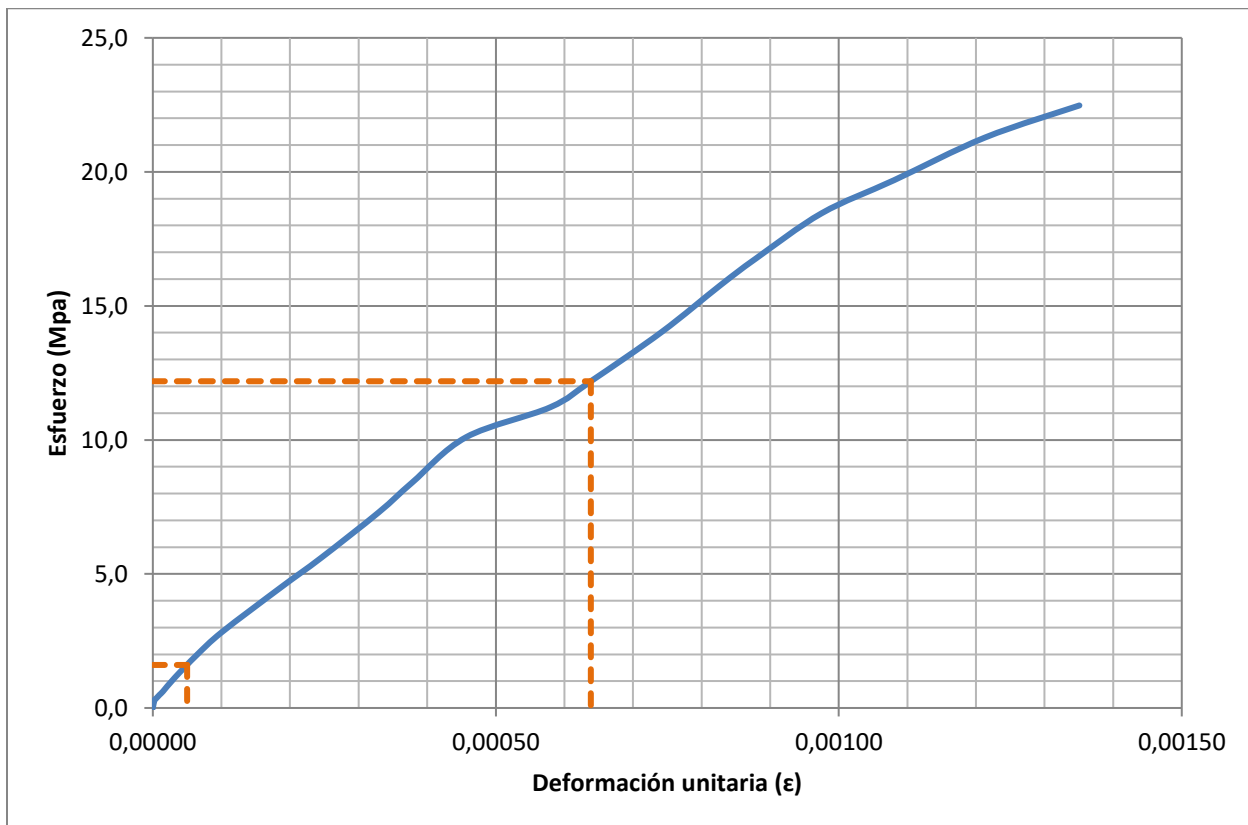
1.14.1. PORCENTAJE 4%



Gráfica 10. Diagrama esfuerzo deformación P1-4%



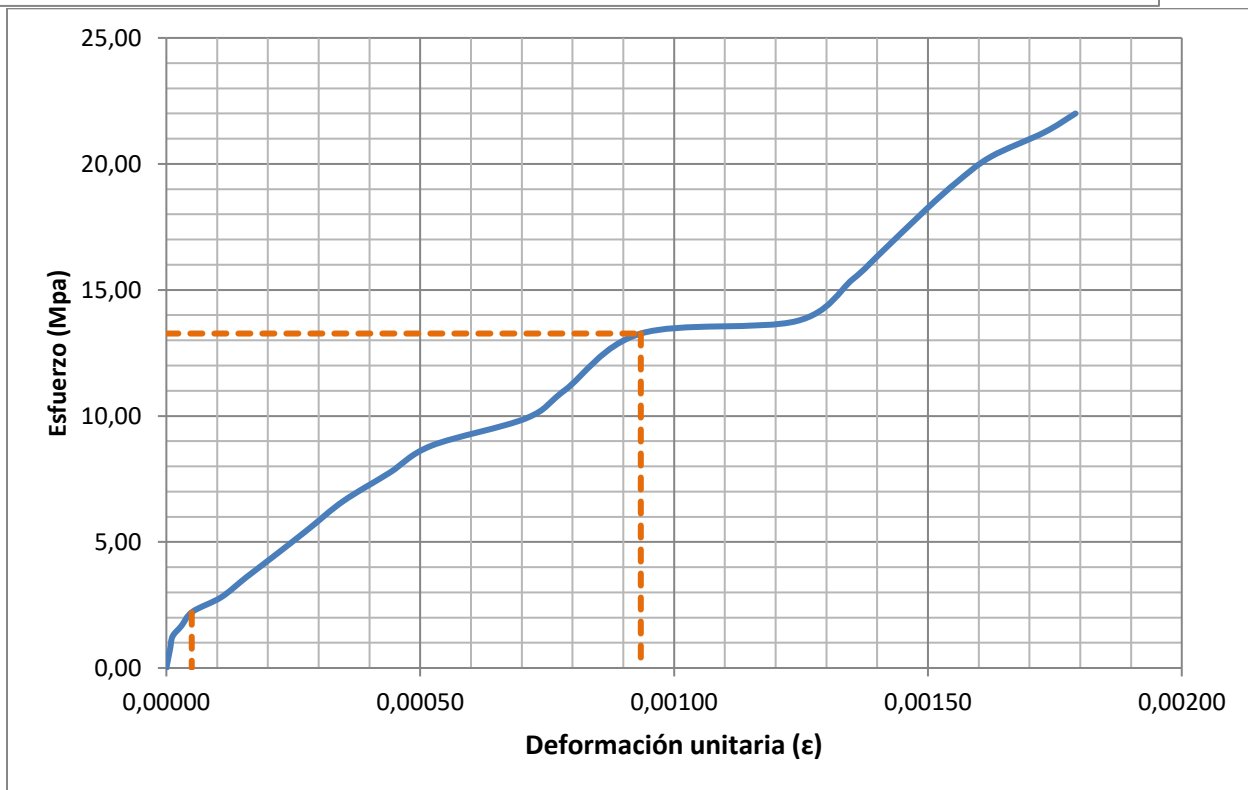
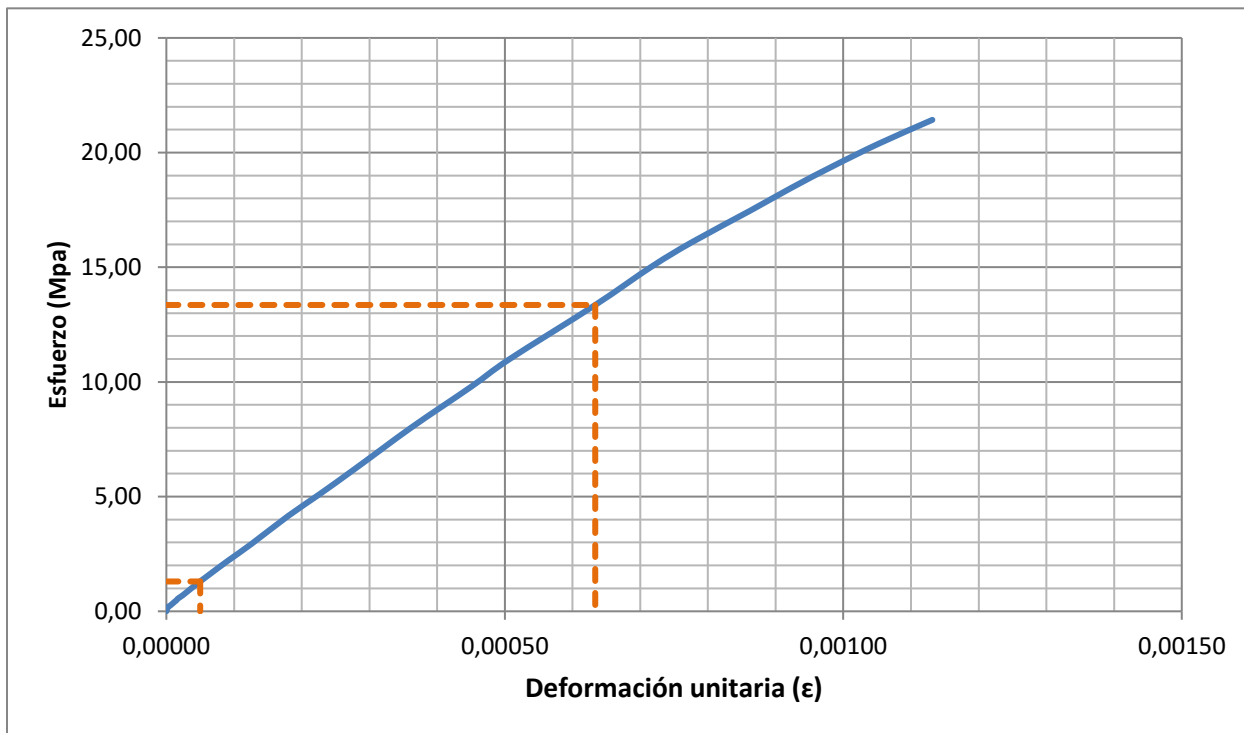
Grafica 11. Diagrama esfuerzo deformación P2-4%



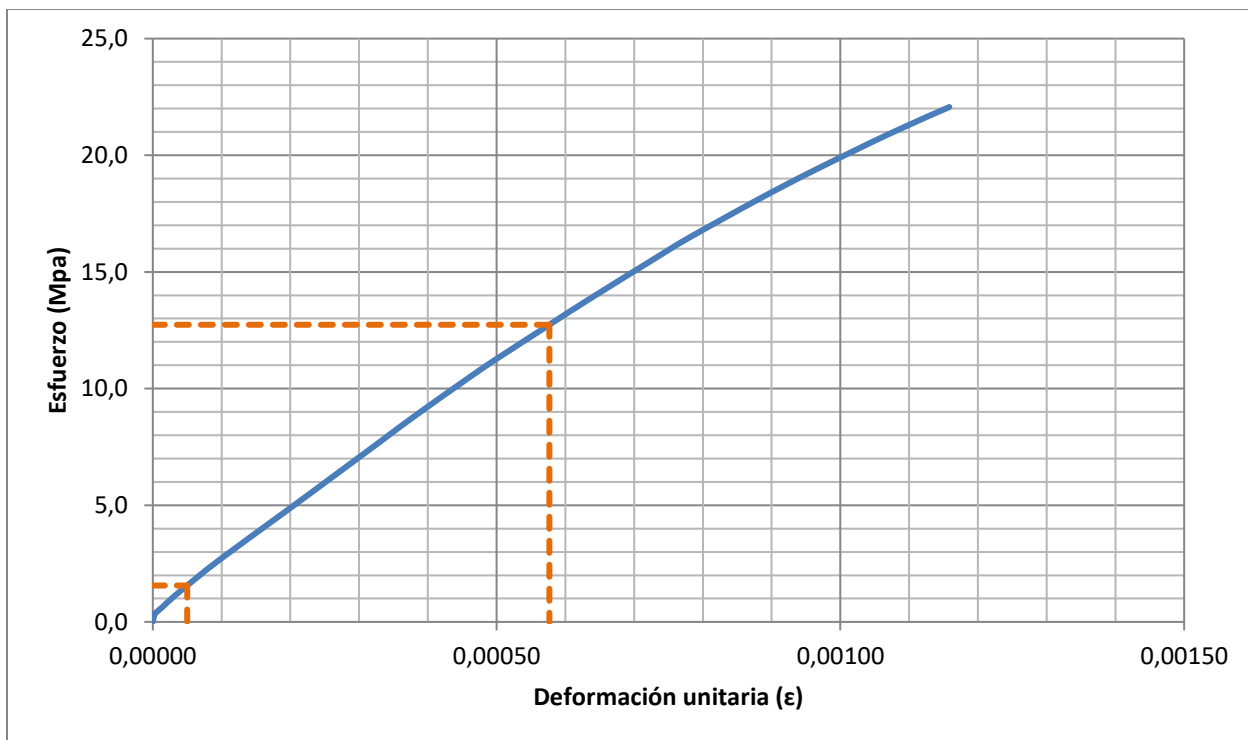
Grafica 12. Diagrama esfuerzo deformación P3-4%

1.14.2. PORCENTAJE 8%

Grafica 13. Diagrama esfuerzo deformación P1-8%

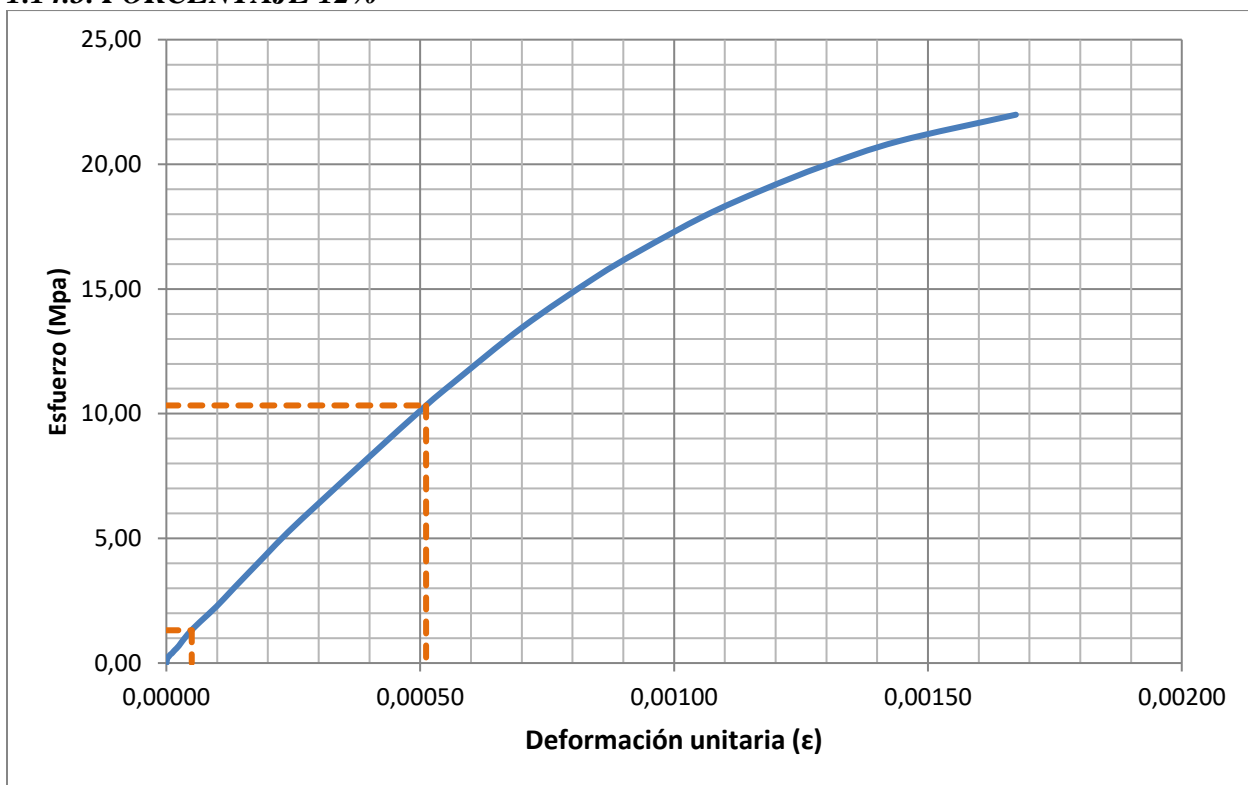


Grafica 14. Diagrama esfuerzo deformación P2-8%

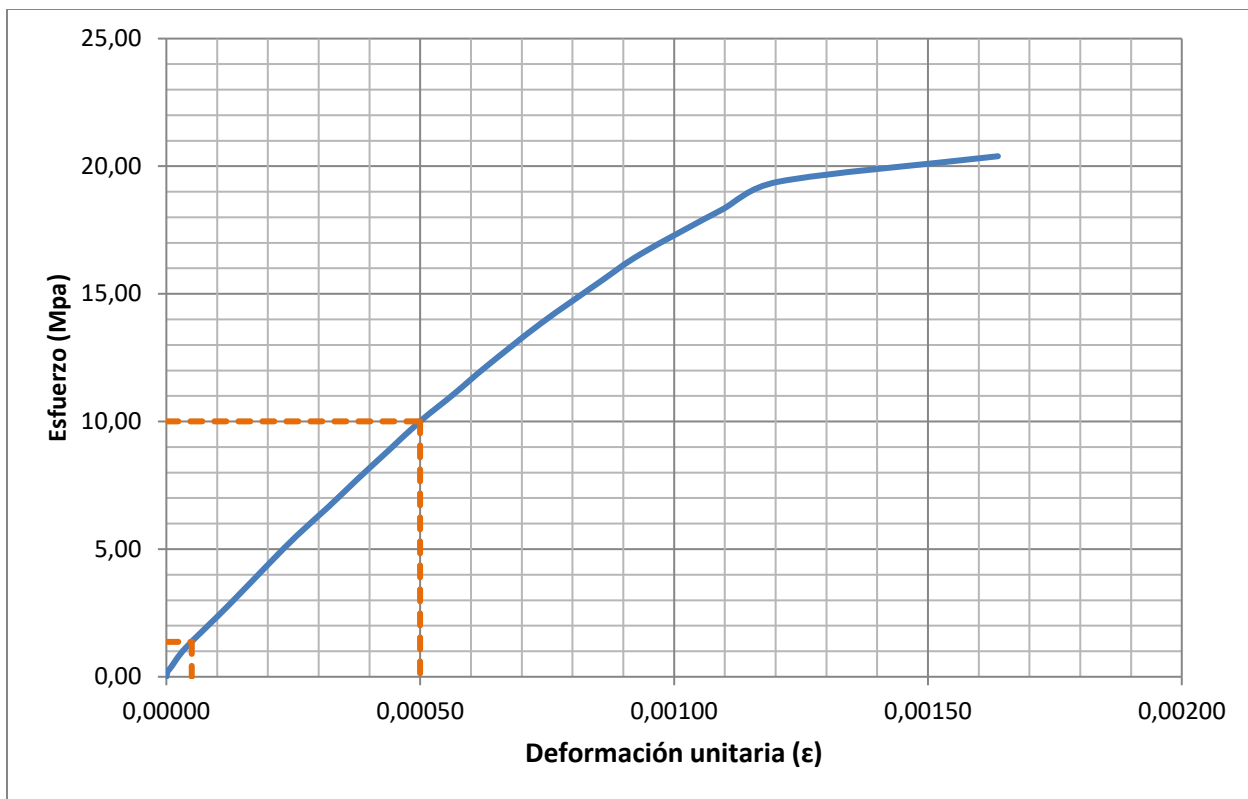


Grafica 15. Diagrama esfuerzo deformación P3-8%

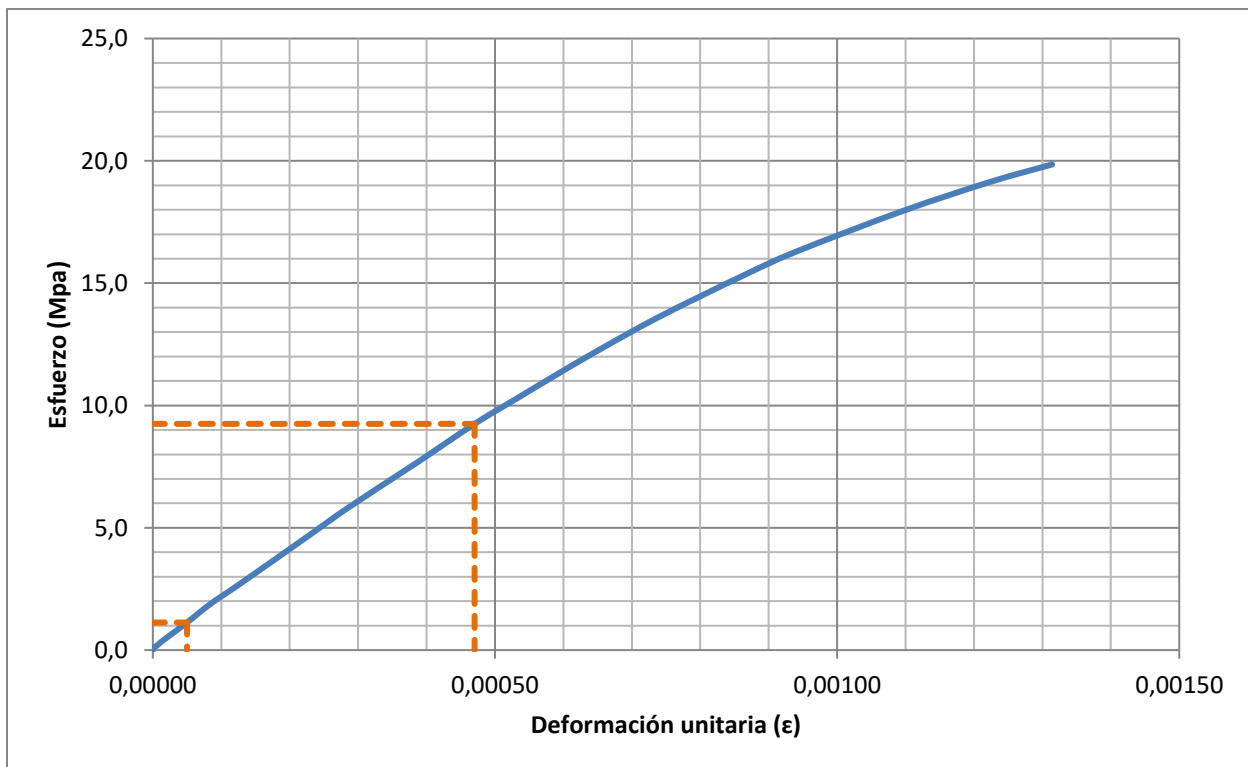
1.14.3. PORCENTAJE 12%



Grafica 16. Diagrama esfuerzo deformación P1-12%



Grafica 17. Diagrama esfuerzo deformación P2-12%



Grafica 18. Diagrama esfuerzo deformación P3-12%

1.15. DETERMINACIÓN MÓDULOS DE ELASTICIDAD

1.15.1. MUESTRA PATRÓN

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0.0	0.000	0.00000	0.00	17497.856	178478.13
	3169.9	0.001	0.00000	0.17		
	4818.4	0.002	0.00000	0.26		
	6246.8	0.003	0.00001	0.33		
	10149.0	0.006	0.00001	0.54		
	21117.0	0.017	0.00004	1.13		
	35378.0	0.030	0.00007	1.89		
	50362.0	0.047	0.00012	2.70		
	80893.0	0.084	0.00021	4.33		
	101304.0	0.111	0.00027	5.42		
	130907.0	0.149	0.00037	7.01		
	165756.0	0.193	0.00047	8.88		
	201069.0	0.239	0.00059	10.77		
40% carga máxima	224800.0	0.269	0.00066	12.04		
	250866.0	0.291	0.00072	13.43		
	288896.0	0.346	0.00085	15.47		
	302035.0	0.363	0.00089	16.17		
	331871.0	0.403	0.00099	17.77		
	351854.0	0.433	0.00107	18.84		
	370016.0	0.467	0.00115	19.81		
	387687.0	0.495	0.00122	20.76		
	402536.0	0.521	0.00128	21.55		
	416093.0	0.545	0.00134	22.28		

Tabla 28. Módulo de elasticidad P1-0.37

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0.0	0.000	0.00000	0.00	20105.577	205076.88
	4789.7	0.003	0.00001	0.27		
	6061.4	0.004	0.00001	0.34		
	8783.8	0.006	0.00001	0.49		
	20127.0	0.015	0.00004	1.12		
	40352.0	0.035	0.00009	2.24		
	60139.0	0.056	0.00014	3.33		
	81415.0	0.078	0.00019	4.51		
	100482.0	0.099	0.00025	5.57		
	120308.0	0.121	0.00030	6.67		
	140685.0	0.144	0.00036	7.79		
	160268.0	0.166	0.00041	8.88		
	180865.0	0.190	0.00047	10.02		
	200224.0	0.213	0.00053	11.09		
40% carga máxima	214240.0	0.230	0.00057	11.87		
	222552.0	0.240	0.00060	12.33		
	240927.0	0.263	0.00065	13.35		
	260436.0	0.289	0.00072	14.43		
	280726.0	0.316	0.00078	15.55		
	300052.0	0.343	0.00085	16.62		
	321982.0	0.373	0.00093	17.84		
	342208.0	0.407	0.00101	18.96		
	360788.0	0.435	0.00108	19.99		
	381450.0	0.472	0.00117	21.13		
	400476.0	0.511	0.00127	22.19		
	421582.0	0.555	0.00138	23.36		

Tabla 29. Módulo de elasticidad P2-0.37

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0.0	0.000	0.00000	0.00	17506.632	178567.65
	3379.7	0.001	0.00000	0.19		
	4686.4	0.002	0.00000	0.26		
	5706.0	0.003	0.00001	0.32		
	9145.1	0.006	0.00001	0.51		
	21117.0	0.017	0.00004	1.19		
	35378.0	0.030	0.00007	1.99		
	50362.0	0.047	0.00012	2.83		
	80893.0	0.082	0.00020	4.54		
	101304.0	0.108	0.00026	5.69		
	130907.0	0.148	0.00036	7.35		
	165756.0	0.196	0.00048	9.31		
	200578.0	0.248	0.00061	11.26		
40% carga máxima	209416.0	0.262	0.00064	11.76		
	250866.0	0.327	0.00080	14.08		
	288896.0	0.392	0.00096	16.22		
	302035.0	0.419	0.00103	16.96		
	331871.0	0.473	0.00116	18.63		
	351854.0	0.511	0.00125	19.75		
	370016.0	0.548	0.00134	20.77		
	387687.0	0.583	0.00143	21.76		
	402536.0	0.619	0.00152	22.60		
	416093.0	0.654	0.00160	23.36		

Tabla 30. Módulo de elasticidad P3-0.37

1.15.2. PORCENTAJE 4%

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0.0	0.000	0.00000	0.00	20419.852	208282.49
	7277.8	0.001	0.00000	0.39		
	8818.5	0.002	0.00000	0.48		
	9636.8	0.003	0.00001	0.52		
	10916.0	0.004	0.00001	0.59		
	11559.0	0.005	0.00001	0.62		
	12914.0	0.006	0.00001	0.70		
	14305.0	0.007	0.00002	0.77		
	17380.0	0.010	0.00002	0.94		
	25182.0	0.017	0.00004	1.36		
	35229.0	0.026	0.00006	1.90		
	47355.0	0.037	0.00009	2.56		
	60940.0	0.051	0.00013	3.29		
	81039.0	0.073	0.00018	4.37		
	100730.0	0.092	0.00023	5.44		
	121009.0	0.114	0.00028	6.53		
	150534.0	0.147	0.00036	8.12		
	181324.0	0.181	0.00045	9.79		
	202825.0	0.205	0.00051	10.95		
40% carga máxima	206440.0	0.210	0.00052	11.14		
	241128.0	0.251	0.00062	13.01		
	271069.0	0.288	0.00071	14.63		
	301406.0	0.329	0.00081	16.27		
	332177.0	0.374	0.00093	17.93		
	347788.0	0.389	0.00096	18.77		
	372365.0	0.421	0.00104	20.10		
	401103.0	0.470	0.00116	21.65		

Tabla 31. Módulo de elasticidad P1-4%

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0.0	0.000	0.00000	0.00	17755.123	181102.25
	3169.9	0.001	0.00000	0.17		
	4818.4	0.002	0.00000	0.26		
	6246.8	0.003	0.00001	0.34		
	10149.0	0.006	0.00001	0.55		
	21117.0	0.017	0.00004	1.14		
	35378.0	0.030	0.00007	1.90		
	50362.0	0.047	0.00012	2.71		
	80893.0	0.084	0.00021	4.35		
	101304.0	0.111	0.00027	5.45		
	130907.0	0.149	0.00037	7.05		
	165756.0	0.193	0.00047	8.92		
	201069.0	0.239	0.00059	10.82		
40% carga máxima	226560.0	0.269	0.00066	12.19		
	250866.0	0.291	0.00072	13.50		
	288896.0	0.346	0.00085	15.55		
	302035.0	0.363	0.00089	16.26		
	331871.0	0.403	0.00099	17.86		
	351854.0	0.433	0.00107	18.94		
	370016.0	0.467	0.00115	19.92		
	387687.0	0.495	0.00122	20.87		
	402536.0	0.521	0.00128	21.67		
	416093.0	0.545	0.00134	22.40		

Tabla 32. Módulo de elasticidad P2-4%

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0	0.000	0.00000	0.00	17975.243	183347.475
	5372.2	0.001	0.00000	0.30		
	6396.9	0.002	0.00000	0.36		
	8785.5	0.004	0.00001	0.49		
	11039	0.006	0.00001	0.62		
	20216	0.013	0.00003	1.13		
	35285	0.026	0.00006	1.97		
	50696	0.041	0.00010	2.83		
	80552	0.076	0.00019	4.50		
	100386	0.100	0.00025	5.61		
	130614	0.134	0.00033	7.29		
	150681	0.154	0.00038	8.41		
	180933	0.186	0.00046	10.10		
	200947	0.236	0.00058	11.22		
40% carga máxima	218280	0.260	0.00064	12.19		
	251142	0.302	0.00074	14.02		
	282527	0.337	0.00083	15.78		
	300298	0.358	0.00088	16.77		
	330504	0.397	0.00097	18.46		
	352616	0.440	0.00108	19.69		
	381114	0.494	0.00121	21.28		
	402529	0.550	0.00135	22.48		

Tabla 33. Módulo de elasticidad P3-4%

1.15.3. PORCENTAJE 8%

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0.0	0.000	0.00000	0.00	20659.703	210728.97
	3472.7	0.001	0.00000	0.19		
	4395.0	0.002	0.00000	0.23		
	5489.1	0.003	0.00001	0.29		
	6643.6	0.004	0.00001	0.35		
	7878.3	0.005	0.00001	0.42		
	8890.3	0.006	0.00001	0.47		
	10461.0	0.007	0.00002	0.56		
	13256.0	0.010	0.00002	0.71		
	20978.0	0.017	0.00004	1.12		
	30248.0	0.026	0.00006	1.62		
	41380.0	0.037	0.00009	2.21		
	54984.0	0.051	0.00013	2.94		
	77838.0	0.073	0.00018	4.16		
	95792.0	0.092	0.00023	5.12		
	117282.0	0.114	0.00028	6.26		
	150233.0	0.147	0.00036	8.02		
	183665.0	0.183	0.00045	9.81		
	205313.0	0.205	0.00051	10.97		
40% carga máxima	250080.0	0.257	0.00063	13.36		
	281597.0	0.291	0.00072	15.04		
	301378.0	0.315	0.00078	16.10		
	327168.0	0.350	0.00086	17.47		
	346048.0	0.375	0.00092	18.48		
	363818.0	0.400	0.00099	19.43		
	381852.0	0.427	0.00105	20.39		
	401185.0	0.459	0.00113	21.43		

Tabla 34. Módulo de elasticidad P1-8%

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0.0	0.000	0.00000	0.00	12527.524	127780.75
	13705.8	0.003	0.00001	0.75		
	22843.0	0.005	0.00001	1.25		
	30327.0	0.012	0.00003	1.66		
	40705.0	0.021	0.00005	2.23		
	51165.0	0.044	0.00011	2.80		
	65500.0	0.064	0.00016	3.59		
	80694.0	0.086	0.00021	4.42		
	100433.0	0.114	0.00028	5.51		
	120725.0	0.142	0.00035	6.62		
	141174.0	0.179	0.00044	7.74		
	160932.0	0.213	0.00052	8.82		
	180768.0	0.289	0.00071	9.91		
	201069.0	0.320	0.00078	11.02		
40% carga máxima	242080.0	0.381	0.00093	13.27		
	251068.0	0.506	0.00124	13.76		
	281238.0	0.551	0.00135	15.42		
	300692.0	0.574	0.00141	16.48		
	331871.0	0.610	0.00150	18.19		
	351854.0	0.635	0.00156	19.29		
	370016.0	0.662	0.00162	20.28		
	387687.0	0.705	0.00173	21.25		
	401336.0	0.730	0.00179	22.00		

Tabla 35. Módulo de elasticidad P2-8%

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0	0.000	0.00000	0.00	21122.087	215445.288
	5886.7	0.001	0.00000	0.32		
	7369	0.002	0.00000	0.40		
	9783.5	0.004	0.00001	0.54		
	12074	0.006	0.00001	0.66		
	20596	0.013	0.00003	1.13		
	34769	0.026	0.00006	1.91		
	50384	0.041	0.00010	2.76		
	84392	0.076	0.00019	4.63		
	107867	0.100	0.00025	5.91		
	141319	0.134	0.00033	7.75		
	161078	0.154	0.00038	8.83		
	191198	0.186	0.00046	10.48		
	206520	0.203	0.00050	11.32		
40% carga máxima	232320	0.233	0.00058	12.74		
	251142	0.255	0.00063	13.77		
	282491	0.293	0.00073	15.49		
	300298	0.315	0.00078	16.46		
	330504	0.356	0.00088	18.12		
	352616	0.388	0.00096	19.33		
	381114	0.432	0.00107	20.89		
	402529	0.468	0.00116	22.07		

Tabla 36. Módulo de elasticidad P3-8%

1.15.4. PORCENTAJE 12%

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0.0	0.000	0.00000	0.00	19541.15	199319.73
	4055.5	0.001	0.00000	0.22		
	4792.1	0.002	0.00000	0.26		
	6035.4	0.003	0.00001	0.33		
	6749.5	0.004	0.00001	0.37		
	7653.4	0.005	0.00001	0.42		
	8748.1	0.006	0.00001	0.48		
	9702.6	0.007	0.00002	0.53		
	12622.0	0.010	0.00002	0.69		
	20978.0	0.017	0.00004	1.15		
	30248.0	0.027	0.00007	1.66		
	41380.0	0.040	0.00010	2.27		
	54984.0	0.054	0.00013	3.01		
	77838.0	0.078	0.00019	4.27		
	95792.0	0.097	0.00024	5.25		
	117282.0	0.122	0.00030	6.43		
	150233.0	0.161	0.00040	8.24		
40% carga máxima	188440.0	0.207	0.00051	10.33		
	205313.0	0.229	0.00057	11.26		
	245788.0	0.284	0.00070	13.47		
	281597.0	0.341	0.00084	15.44		
	301378.0	0.377	0.00093	16.52		
	327168.0	0.429	0.00106	17.94		
	346048.0	0.475	0.00117	18.97		
	363818.0	0.524	0.00130	19.94		
	381852.0	0.584	0.00144	20.93		
	401149.0	0.677	0.00167	21.99		

Tabla 37. Módulo de elasticidad P1-12%



	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0.0	0.000	0.00000	0.00	19199.827	195838.24
	3765.8	0.001	0.00000	0.21		
	4910.4	0.002	0.00000	0.27		
	7131.0	0.004	0.00001	0.39		
	20198.0	0.015	0.00004	1.11		
	50290.0	0.049	0.00012	2.77		
	80694.0	0.082	0.00020	4.45		
	100433.0	0.104	0.00026	5.53		
	120725.0	0.129	0.00032	6.65		
	141174.0	0.153	0.00038	7.78		
	160932.0	0.177	0.00044	8.87		
40% carga máxima	181560.0	0.202	0.00050	10.01		
	201069.0	0.229	0.00057	11.08		
	220785.0	0.255	0.00063	12.17		
	251068.0	0.298	0.00074	13.84		
	281238.0	0.346	0.00086	15.50		
	300692.0	0.378	0.00094	16.57		
	331871.0	0.442	0.00109	18.29		
	351854.0	0.487	0.00120	19.39		
	370016.0	0.662	0.00164	20.39		

Tabla 38. Módulo de elasticidad P2-12%

	Carga	Def.	Def. unitaria	Esf. máx	Módulo de elasticidad	Módulo de elasticidad
	N	mm	mm/mm	MPa	MPa	kg/cm2
	0	0.000	0.00000	0.00	19318.796	197051.724
	2346.6	0.001	0.00000	0.13		
	3006.2	0.002	0.00000	0.16		
	5196.3	0.004	0.00001	0.28		
	7268.2	0.006	0.00001	0.39		
	20596	0.020	0.00005	1.12		
	34769	0.034	0.00008	1.89		
	50384	0.052	0.00013	2.73		
	84392	0.090	0.00022	4.58		
	107867	0.116	0.00029	5.85		
	141319	0.156	0.00039	7.67		
40% carga máxima	170480	0.190	0.00047	9.25		
	191198	0.217	0.00054	10.37		
	206520	0.237	0.00059	11.20		
	225858	0.263	0.00065	12.25		
	251142	0.299	0.00074	13.62		
	282491	0.349	0.00086	15.32		
	300298	0.380	0.00094	16.29		
	330504	0.442	0.00109	17.93		
	352616	0.494	0.00122	19.13		
	365938	0.531	0.00131	19.85		

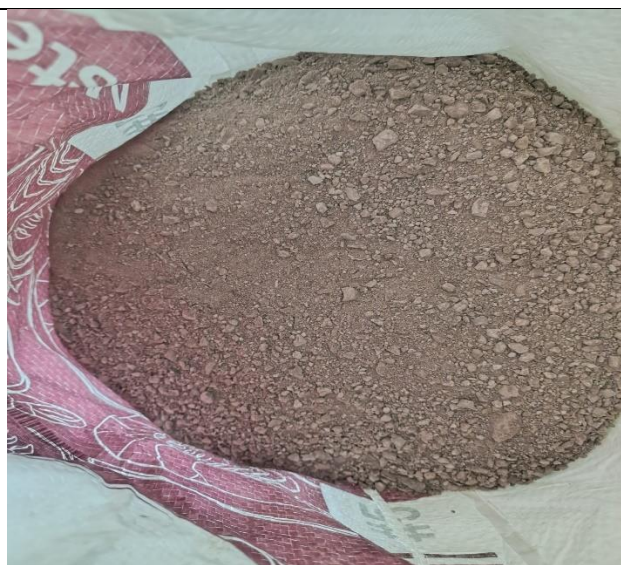
Tabla 39. Módulo de elasticidad P3-12%

1.16. APARTADO FOTOGRÁFICO

IMAGEN	DESCRIPCIÓN
	<p>En la imagen se puede observar que se cumple con el ensayo de asentamiento que fue de 80 mm de acuerdo a la medición in situ y a los cálculos realizados.</p>
	<p>Se puede observar el recipiente con agua y la muestra para realizar el ensayo de gravedad específica del agregado fino.</p>



Se distribuye la muestra sobre el recipiente, para posteriormente ser colocada en el horno de secado.



Agregado fino procedente la mina La Esperanza de Pintag.



Agregado fino y grueso preparado para la fabricación de hormigón de alta resistencia $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$.

	<p>Realización de la mezcla con la concretera con capacidad para 1 saco de cemento.</p>
	<p>Desmolde de cilindros realizados con la muestra patrón para su posterior curado.</p>
	<p>Máquina para realizar el ensayo de compresión con la cual se someterán los cilindros de hormigón a cargas axiales de compresión.</p>



Colocación del compresómetro en los cilindros de hormigón para medir la deformación de los mismos al ser sometidos a cargas de compresión, para la colocación del compresómetro es necesario medir la altura de los cilindros y sus diámetros para colocar el aparato lo más centrado posible.



Colocación del cilindro de hormigón y el compresómetro en la maquina universal que someterá los mismos a cargas de compresión para determinas sus deformaciones con las cargas correspondientes.

	<p>Falla tipo 5 producida en el cilindro de hormigón posterior a la aplicación de cargas de compresión.</p>
	<p>En la presente imagen se puede observar la falla tipo 4 en el cilindro de hormigón posterior al ensayo de compresión en el mismo.</p>
	<p>Complemento que permite la medición de la carga a compresión que ejerce la máquina universal sobre el cilindro de hormigón.</p>

