



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL
ECUADOR**

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES

TEMA:

DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE
ELASTICIDAD PARA HORMIGONES DE RESISTENCIA $f'c=210$
KG/CM², ELABORADO CON MATERIAL GRANULAR DE LA MINA
“REVILLA S.A”. UBICADA EN EL CANTÓN OTAVALO PROVINCIA
DE IMBABURA, MATERIAL RECICLADO (ADOQUINES) Y
CEMENTO CHIMBORAZO TIPO HE

AUTOR:

ENRÍQUEZ SÁENZ JONATHAN GABRIEL

TUTOR:

ING. WILSON OSWALDO CANDO TIPÁN MSC

QUITO-ECUADOR

2024

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	7
ABSTRACT	9
CAPÍTULO I	11
1.1. INTRODUCCIÓN	11
1.1.1. JUSTIFICACIÓN	11
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.3. OBJETIVOS	12
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4. ALCANCE	13
1.5. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS	13
CAPÍTULO II.....	15
2.1. MARCO TEÓRICO	15
2.1.1. ANTECEDENTES	15
2.1.2. UBICACIÓN	15
2.1.3. GEOLOGÍA.....	16
2.2. MARCO CONCEPTUAL	17
2.2.1. AGREGADOS.....	17
2.2.2. CEMENTO	18
2.2.3. EL AGUA	20
2.2.4. ADITIVOS	21
2.2.5. HORMIGÓN	21
2.2.6. MÓDULO DE ELASTICIDAD	25
2.2.7. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	25
2.2.8. TIPOS DE FALLA	26
2.2.9. OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL	28
CAPÍTULO III	31
3.1. PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS	31
3.1.1. MINA LA “REVILLA S.A”	31
3.1.2. MATERIAL RECICLADO “ADOQUINES”	31
3.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS	32
3.3. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS	33
3.3.1. CONTENIDO ORGÁNICO	33
3.3.2. GRANULOMETRÍA	34
3.3.3. AGREGADO GRUESO	35
3.3.4. AGREGADO FINO.....	36

3.3.5. GRANULOMETRÍA COMPLETA	38
3.3.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA	39
3.3.7. ABSORCIÓN	39
3.3.8. PESO UNITARIO.....	40
3.3.9. DESGASTE POR ABRASIÓN	41
3.3.10. CONTENIDO DE HUMEDAD	42
CAPÍTULO IV.....	44
4.1. DISEÑO DE MEZCLAS.....	44
4.2. DOSIFICACIÓN AL PESO SEGÚN MÉTODO DEL ACI.....	45
4.2.1. ASENTAMIENTOS	46
4.3. GRANULOMETRÍA, CONTENIDO DE AIRE Y AGUA NETA.....	47
4.3.1. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO	47
4.3.2. CONTENIDO DE AIRE.....	47
4.3.3. CONTENIDO DE AGUA EN LA MEZCLA.....	48
4.3.4. RELACIÓN AGUA / CEMENTO.....	49
4.4. DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PREVIO	50
4.4.1. RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS DOSIFICACIONES PREVIAS ..	51
4.4.2. MUESTRA PATRÓN	53
4.4.3. RESULTADOS DE ENSAYOS PARA DOSIFICACIÓN DE MUESTRA PATRÓN.....	54
4.4.4. DOSIFICACIÓN CON MATERIAL RECICLADO.....	55
4.4.5. RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS DOSIFICACIONES CON MATERIAL RECICLADO	56
4.4.6. CÁLCULO DEL PROMEDIO EN LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS PARA (4%, 8% y 12%) DEL MATERIAL RECICLADO Y LA MUESTRA PATRÓN (MP).....	56
4.4.7. GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LOS RESULTADOS	58
4.5. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL	59
4.5.1. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MUESTRA PATRÓN EXPERIMENTAL.....	59
4.5.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD INCLUIDO MATERIAL RECICLADO EXPERIMENTAL.....	60
4.5.3. CÁLCULO DEL FACTOR DE MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL.....	62
4.5.4. RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTAL	63
4.6. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO.....	64
4.6.1. MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO TEÓRICO DE LA MUESTRA PATRÓN Y LOS PORCENTAJES 4%, 8% y 12% DEL MATERIAL RECICLADO (ADOQUÍN TRITURADO).....	67

4.6.2.	CÁLCULO DEL FACTOR DE MÓDULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO....	68
4.7.	ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	69
CAPÍTULO V		71
5.1.	CONCLUSIONES	71
5.2.	RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA		74
ANEXOS		78
7.1.	RESULTADOS DE LABORATORIO.....	78
7.1.1.	PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO.....	78
7.1.2.	PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO	79
7.1.3.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO	80
7.1.4.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO	81
7.1.5.	GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)	82
7.1.6.	GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO FINO).....	83
7.1.7.	COMBINACIÓN SEGÚN ASTM	84
7.1.8.	ABRASIÓN E IMPACTO POR LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....	85
7.2.	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA PATRÓN.....	86
7.3.	CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA PATRÓN.....	87
7.4.	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA 4%.....	90
7.5.	CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA 4%	91
7.6.	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA 8%.....	94
7.7.	CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA 8%	95
7.8.	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA 12%.....	98
7.9.	CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA 12%	99
8.1.	ANEXO FOTOGRÁFICO	102

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación mina la Revilla S.A.	16
Ilustración 2. Cemento Chimborazo hidráulico de alta resistencia inicial tipo HE.	19
Ilustración 3. Tipos de falla.....	26
Ilustración 4. Diagrama de desplazamientos.....	27
Ilustración 5. Curva esfuerzo deformación unitaria del hormigón.	30
Ilustración 6. Mina la Revilla S.A., cantón Otavalo.	31
Ilustración 7. Adoquín reciclado.	32
Ilustración 8. Escala de colores de Gardner.	33
Ilustración 9. Máquina de los ángeles.	41
Ilustración 10. Gráfico de condiciones de humedad de agregados.	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz para descripción de formaciones geológicas.	17
Tabla 2. Lista de ensayos.	32
Tabla 3. Lista de ensayos.	33
Tabla 4. Comparador de color normalizado.....	34
Tabla 5. Requisitos de gradación para árido grueso.	35
Tabla 6. Datos obtenidos del ensayo de granulometría árido grueso.....	36
Tabla 7. Gradación para áridos finos.	37
Tabla 8. Datos obtenidos del ensayo de granulometría árido fino.....	37
Tabla 9. Datos obtenidos del ensayo de granulometría áridos grueso y fino.....	38
Tabla 10. Proporciones de material óptimo.	39
Tabla 11. Gravedad específica del agregado fino.	40
Tabla 12. Gravedad específica del agregado grueso.....	40
Tabla 13. Peso unitario de los agregados.	41
Tabla 14. Especificaciones para el ensayo.....	42
Tabla 15. Ensayo de abrasión.	42
Tabla 16. Contenido de humedad del agregado grueso.	43
Tabla 17. Contenido de humedad del agregado fino.	43
Tabla 18. Asentamientos por tipo de construcción.	46
Tabla 19. Valores recomendados de tamaño máximo nominal.....	47
Tabla 20. Valores recomendados para el contenido de aire.	48
Tabla 21. Requerimientos de agua de la mezcla.	49
Tabla 22. Relación agua/cemento.	49
Tabla 23. Resumen características agregados para cada relación agua/cemento.	50
Tabla 24. Resumen cantidades utilizadas para cada mezcla en kg.	50
Tabla 25. Resistencias de las dosificaciones con varias relaciones agua/cemento.	51
Tabla 26. Resumen características agregados muestra patrón.....	53
Tabla 27. Resumen cantidades utilizadas para muestra patrón.....	53
Tabla 28. Resultados de la muestra patrón.	54
Tabla 29. Resumen características agregados reciclados.....	55
Tabla 30. Resumen cantidades utilizadas para cada porcentaje con inclusión del material reciclado.	55
Tabla 31. Resistencias de las dosificaciones con varias relaciones agua/cemento.	56
Tabla 32. Resumen de resultados de resistencias a la compresión.	57
Tabla 33. Módulo de elasticidad de la muestra patrón.	59
Tabla 34. Módulo de elasticidad incluyendo el material reciclado.....	60

Tabla 35. Factores módulo de elasticidad.....	62
Tabla 36. Comparación de resultados módulos de elasticidad.	63
Tabla 37. Módulos de elasticidad teórico en kg/cm ²	66
Tabla 38. Módulos de elasticidad teórico promedio en kg/cm ²	67
Tabla 39. Factores módulos de elasticidad teórico en kg/cm ²	68
Tabla 40. Ecuaciones módulos de elasticidad experimental en MPa.	69
Tabla 41. Ecuaciones módulos de elasticidad experimental en kg/cm ²	70

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva granulométrica árido grueso.	36
Gráfica 2. Curva granulométrica árido fino.	37
Gráfica 3. Curva granulométrica del material combinado.	38
Gráfica 4. Resistencia a la compresión vs tiempo de curado.	52
Gráfica 5. Resistencia a la compresión MPa.	58
Gráfica 6. Resistencia a la compresión kg/cm ²	58
Gráfica 7. Módulo de elasticidad en MPa.	61
Gráfica 8. Módulo de elasticidad en kg/cm ²	61
Gráfica 9. Factor módulo de elasticidad MPa.	62
Gráfica 10. Factor módulo de elasticidad kg/cm ²	63
Gráfica 11. Comparación de módulos en MPa.	64
Gráfica 12. Comparación de módulos en kg/cm ²	64
Gráfica 13. Módulo de elasticidad teórico en kg/cm ²	67
Gráfica 14. Factores módulo de elasticidad teórico en kg/cm ²	69
Gráfica 15. Módulo de elasticidad muestra patrón.	86
Gráfica 16. Esfuerzo deformación muestra patrón probeta 1.	87
Gráfica 17. Esfuerzo deformación muestra patrón probeta 2.	88
Gráfica 18. Esfuerzo deformación muestra patrón probeta 3.	89
Gráfica 19. Módulo de elasticidad muestra 4%.	90
Gráfica 20. Esfuerzo deformación muestra 4% probeta 1.	91
Gráfica 21. Esfuerzo deformación muestra 4% probeta 2.	92
Gráfica 22. Esfuerzo deformación muestra 4% probeta 3.	93
Gráfica 23. Módulo de elasticidad muestra 8%.	94
Gráfica 24. Esfuerzo deformación muestra 8% probeta 1.	95
Gráfica 25. Esfuerzo deformación muestra 8% probeta 2.	96
Gráfica 26. Esfuerzo deformación muestra 8% probeta 3.	97
Gráfica 27. Módulo de elasticidad muestra 12%.	98
Gráfica 28. Esfuerzo deformación muestra 12% probeta 1.	99
Gráfica 29. Esfuerzo deformación muestra 12% probeta 2.	100
Gráfica 30. Esfuerzo deformación muestra 12% probeta 3.	101

TÍTULO: Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad para hormigones de resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, elaborado con material granular de la mina "REVILLA S.A" ubicada en el cantón Otavalo provincia de Imbabura, material reciclado (adoquines) y cemento Chimborazo tipo HE.

AUTOR: Jonathan Gabriel Enríquez Sáenz

TUTOR: Wilson Oswaldo Cando Tipán

RESUMEN

Este proyecto de investigación busca establecer una ecuación específica para el módulo de elasticidad de un hormigón integrado con material granular de la mina Revilla S.A. y el aprovechamiento de material de reciclaje (adoquín). Este estudio responde a la problemática de los residuos de construcción y demolición que es un problema para las ciudades, cuya disposición inadecuada genera impactos negativos, ambientales y sanitarios. Con el fin de mitigar estos efectos, se plantea utilizar dichos materiales reciclados y el material granular de la mina Revilla S.A. para realizar mezcla de hormigón, proponiendo así una solución que reduzca costos y mejore la sostenibilidad de los proyectos constructivos.

El módulo de elasticidad es un parámetro clave en el diseño de estructuras de hormigón, ya que refleja la rigidez del material ante cargas aplicadas. En este estudio experimental se utiliza cemento tipo HE, agregados de la mina Revilla S.A. y material de reciclaje (adoquín) para realizar cilindros de hormigón con distintos porcentajes. Tras someter los cilindros a ensayos de compresión, se busca obtener un valor confiable del módulo de elasticidad para hormigones de resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, con la finalidad de

contribuir a un diseño estructural más eficiente y adecuado a los recursos y condiciones locales.

Mediante pruebas de laboratorio, el estudio identifica las características mecánicas de los agregados y determina la dosificación óptima del hormigón que incluye material reciclado, con los valores obtenidos, se procedió a realizar las correspondientes dosificaciones por peso cumpliendo con lo establecido en el método ACI.

Luego de obtener la dosificación de la muestra patrón y su resistencia de $f'c=210$ kg/cm², se procedió a realizar la inclusión del material reciclado en distintos porcentajes (4%, 8% y 12%) respectivamente retirando dichos porcentajes de la dosificación del agregado fino, con el fin de realizar cilindros de hormigón y ensayarlos a los 7 y 28 días.

De los diferentes ensayos realizados se obtuvo resultados de carga axial, resistencia a la compresión del hormigón, así como también se procedió a determinar las ecuaciones del módulo de elasticidad, los cuales fueron comparados con las ecuaciones del hormigón de la muestra patrón, el hormigón con material reciclado (4%, 8% y 12%) respectivamente y la del ACI 318-14.

La ecuación resultante del módulo de elasticidad permitirá una aplicación más precisa en estructuras de hormigón, promoviendo la economía, ofreciendo una alternativa viable en la gestión de residuos de construcción en la ciudad donde fueron obtenidos los agregados. Este enfoque innovador no solo favorece el diseño de hormigones sostenibles, sino que también mejora la eficiencia en los procesos constructivos.

PALABRAS CLAVE: AGREGADOS / RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN /
MATERIAL RECICLADO DE ADOQUÍN / MÓDULO DE ELASTICIDAD /
DEMOLICIÓN Y RECICLAJE

ABSTRACT

TITLE: Determination of the equation of the elastic modulus for concrete with resistance $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, made with granular material from the "REVILLA S.A" mine located in the Otavalo canton, province of Imbabura, recycled material (paving stones) and Chimborazo type HE cement.

AUTHOR: Jonathan Gabriel Enríquez Sáenz

ADVISOR: Wilson Oswaldo Cando Tipán

This research project seeks to establish a specific equation for the elastic modulus of concrete integrated with granular material from the Revilla S.A. mine. and the use of recycling material (paving stones). This study responds to the problem of construction and demolition waste, which is a problem for cities, whose inadequate disposal generates negative environmental and health impacts. In order to mitigate these effects, it is proposed to use these recycled materials and the granular material from the Revilla S.A. mine. to mix concrete, thus proposing a solution that reduces costs and improves the sustainability of construction projects.

The modulus of elasticity is a key parameter in the design of concrete structures, since it reflects the rigidity of the material under applied loads. In this experimental study, HE type cement is used, aggregates from the Revilla S.A. mine. and recycling material (paving stones) to make concrete cylinders with different percentages. After subjecting the cylinders to compression tests, the aim is to obtain a reliable value of the elasticity modulus for concrete with resistance $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$, with the aim of contributing to a more efficient structural design appropriate to local resources and conditions.

Through laboratory tests, the study identifies the mechanical characteristics of the aggregates and determines the optimal dosage of concrete that includes recycled material. With the values obtained, the corresponding dosages by weight were carried out in compliance with the provisions of the ACI method.

After obtaining the dosage of the standard sample and its resistance of $f'_c=210$ kg/cm², the recycled material was included in different percentages (4%, 8% and 12%) respectively, removing these percentages from the dosage of the fine aggregate, in order to make concrete cylinders and test them after 7 and 28 days.

From the different tests carried out, results of axial load, compressive strength of the concrete were obtained, as well as the equations of the elastic modulus were determined, which were compared with the equations of the concrete of the standard sample, the concrete with recycled material (4%, 8% and 12%) respectively and that of ACI 318-14.

The resulting equation of the modulus of elasticity will allow a more precise application in concrete structures, promoting economy, offering a viable alternative in the management of construction waste in the city where the aggregates were obtained. This innovative approach not only favors the design of sustainable concrete, but also improves efficiency in construction processes.

KEYWORDS: AGGREGATE / COMPRESSION RESISTANCE / RECYCLED PAVER
STONE MATERIAL / ELASTICITY MODULE / DEMOLITION AND RECYCLING

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. JUSTIFICACIÓN

Frente a la irresponsabilidad del mal manejo de residuos y escombros de construcción, en especial de obras nuevas, la demolición y remodelación de estructuras de viviendas, que para su desalojo suelen generar botaderos clandestinos en lugares no autorizados como: quebradas, zanjas, terrenos no habitados, dando como resultado riesgos sanitarios y destrucción del medio ambiente.

Para afrontar esta problemática se propone la reutilización de los materiales reciclados de construcción, demolición y remodelación, como componente principal para producir nuevos hormigones, utilizando un porcentaje en la mezcla del hormigón para obtener una resistencia optima similar al hormigón convencional, con el fin de reducir el impacto ambiental que estos materiales causan.

En este caso vamos a considerar el comportamiento y la resistencia del hormigón para un módulo de elasticidad de 210 kg/cm^2 , con el uso de materiales reciclados (adoquines).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de estudio se basa en la obtención de la ecuación del módulo de elasticidad para hormigón de resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, elaborado con agregados pétreos, inclusión de material reciclado (adoquín) y cemento. Con el aporte del adoquín reciclado se espera brindar soluciones sostenibles que permita reutilizar de mejor manera las piezas de adoquines provenientes de las vías a ser mejoradas. Por lo tanto, determinar la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón puede ser un desafío dado que el

hormigón reciclado proveniente de los adoquines, presenta variaciones en sus propiedades, tales como la calidad y composición de los agregados, la cantidad de cemento residual y la posible presencia de impurezas.

Basándonos en investigaciones anteriores sobre la ecuación del módulo de elasticidad que se ha propuesto en el país, se ha observado que la fórmula actual no se ajusta adecuadamente a las condiciones locales, donde las características de los materiales difieren significativamente de las que se encuentran en el Ecuador. Por lo tanto, se ha considerado esencial llevar a cabo un estudio exhaustivo de las propiedades de los agregados, con el propósito de desarrollar una nueva ecuación para el módulo de elasticidad del hormigón en estudio que refleje de manera precisa las particularidades del material existente provenientes de la mina “Revilla S.A.”.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener la ecuación del módulo de elasticidad para el diseño de un hormigón de resistencia $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, utilizando material granular de la mina “REVILLA S.A” ubicada en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura, cemento Chimborazo tipo HE y diferentes porcentajes de material reciclado (adoquín).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir las características mecánicas de los áridos naturales (finos y gruesos) mediante la aplicación de ensayos indicados en la Norma Técnica Ecuatoriana-NTE, para obtener la resistencia del hormigón propuesto.
- Obtener la dosificación requerida para la elaboración de cilindros de hormigón, con una resistencia específica ($f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) considerando la inclusión del material reciclado (adoquín) previamente identificado.

- Determinar la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón mediante ensayos experimentales con distintos porcentajes de material reciclado (adoquín) conforme el ACI 318-14.

1.4. ALCANCE

Se deberá realizar un proceso en el cual intervienen materiales agregados pétreos (finos y gruesos) extraídos de la mina "REVILLA S.A" ubicada en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura, material reciclado (adoquín) y cemento Chimborazo tipo HE, para obtener la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón en estudio.

Se realizará una cantidad determinada de cilindros de hormigón dosificados por peso, con materiales provenientes de la mina Revilla S.A para alcanzar una resistencia de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, posteriormente serán sometidos éstos a ensayos 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 (adoquín) con lo cual se realizarán nuevos cilindros de hormigón y se verificará qué 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 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

1.5. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS

La metodología para determinar la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón, con material reciclado (adoquín) en el presente estudio es de tipo experimental, la misma que se basa en el método del ACI; con ensayos de laboratorio se procederá a realizar una muestra patrón, en la cual se utilizará material reciclado (adoquín) en

porcentajes (4%, 8% y 12%) hasta obtener un hormigón de alta resistencia $f'c=210$ kg/cm².

A continuación, se detalla los pasos a seguir:

- Los agregados se adquirieron de la mina "REVILLA S.A" (previamente seleccionada).
- A través de ensayos de laboratorio se obtendrán las propiedades mecánicas de los agregados.
- Se creará una dosificación para obtener una muestra patrón con los agregados, para conseguir una resistencia $f'c=210$ kg/cm², usando el método de dosificación al peso mencionado en el ACI 318-14.
- Una vez obtenida la resistencia ($f'c=210$ kg/cm²) se reemplazará el agregado fino por diferentes porcentajes de material reciclado (adoquín).
- Con la dosificación obtenida se procederá a realizar cilindros de hormigón en laboratorio, para luego efectuar un ensayo de compresión a los 28 días, que nos permitirá determinar si la dosificación óptima cumple con la resistencia requerida y así establecer la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón.
- Luego de obtener el hormigón de la muestra patrón y el hormigón con material reciclado en porcentajes (4%, 8% y 12%) se procederán a comparar las ecuaciones de los diferentes módulos de elasticidad con la ecuación presentada en el ACI 318-14.

CAPÍTULO II

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. ANTECEDENTES

En el Ecuador se ha analizado la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón, dando una variación en los ensayos experimentales en el laboratorio que se utiliza de acuerdo al método del ACI 318-14. La principal propiedad para la elaboración del hormigón es la selección de los agregados que varían sus propiedades dependiendo del lugar donde se obtengan.

Debido a esto, se consideró analizar este parámetro utilizando material granular proveniente de una mina ubicada en el cantón Otavalo en la provincia de Imbabura, material reciclado (adoquín) proveniente de un mejoramiento vial y un tipo de cemento (Chimborazo Tipo HE) que asegure una buena resistencia, durabilidad e impermeabilidad al momento de realizar los ensayos de los cilindros, para determinar la ecuación del módulo de elasticidad con los materiales enunciados anteriormente.

2.1.2. UBICACIÓN

El material granular proviene de la mina “REVILLA S.A”, ubicada en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura que debido a su ubicación geográfica presenta una gran variedad de materiales pétreos (rocas naturales).



Ilustración 1. Ubicación mina la Revilla S.A.
Fuente: Google Maps.

2.1.3. GEOLOGÍA

El primer aporte volcánico corresponde a los volcánicos Cotacachi, representados principalmente en la Unidad TD, tobas dacíticas Cuicocha, de finales del Plioceno y cuyo aporte llega desde el occidente del cantón Otavalo, cubre las parroquias de Selva Alegre y Quichinche. Desde el noreste, en cambio, se produce un segundo y tercer aporte de los productos eruptivos de tobas dacíticas del Imbabura (TD), y del Cubilche (TCub), de edad geológica similar. El tercer aporte extrusivo se relaciona directamente con los remanentes volcanoclásticos andesíticos del complejo volcánico Cusín (AA Cus), aporte que viene directamente del SE del cantón. Para finalizar, quizá el aporte más representativo y el mayor en extensión se refiere a los productos depositados del complejo Mojanda, cuya dirección predominante de flujo, tiene que ver con los depósitos riodacíticos Mojanda (RD Moj), que se dirigen hacia el centro del cantón en dirección S a N, y más hacia el occidente, se tiene el aporte del remanente volcánico Cushnirrumi (RD Csh), con productos riodacíticos. Tal parece que los flujos volcánicos Fuya, más al Sur de Mojanda, no llegaron a desplazarse apreciablemente dentro de la zona de estudio. El valle de Otavalo se distribuye uniformemente a lo largo de una dirección NO – SE con depósitos

cuaternarios (QA) de aproximadamente 100 kilómetros cuadrados de superficie. Hacia el Occidente del cantón, se puede encontrar un paquete de rocas volcanoclásticas de las formaciones Yunguilla, Piñón, Silante y Machuchi, de edad Pre-Cretácica, con rumbos de emplazamiento preferenciales N-NE. (CELAEP, 2015)

Formaciones Geológicas	Descripción
Volcánicos Imbabura (Plm)	Constituidos de lavas, aglomerados y lahares. Las lavas son andesitas de grano fino a medio, con fenocristales de plagioclasas y ortopiroxenos en una matriz vidriosa. Los aglomerados están constituidos por fragmentos de rocas volcánicas redondeadas a angulares. Los depósitos laharíticos se han desplazado a lo largo de las pendientes hasta las llanuras. El espesor total de los volcánicos del Imbabura sobrepasan los 700m.
Depósitos Glaciares (Q8)	Se encuentran formados por materiales de tilitas, arenas, gravas y bloques sedimentarios, de composición variable, dependiendo de los depósitos de origen, estos materiales han sido arrastrados y depositados en las partes bajas de los valles, ubicados en los valles altos al oriente del cantón.
Depósitos Coluvio Aluviales (Q3)	De edad Cuaternaria, están compuestos por material heterogéneo (limos, arenas y gravas con clastos volcánicos), que rellenan los valles formados por los ríos y parte de las cuencas hidrográficas.
Depósitos Aluviales (Q1)	Constituyen los depósitos más recientes y están constituidos de gravas subredondeadas de grano fino a medio en matriz limo arenosa; contienen gran cantidad de materiales erosionados y arrastrados de las montañas adyacentes.

Tabla 1. Matriz para descripción de formaciones geológicas.

Fuente: IEE, 2013

Elaboración: (CELAEP, 2015)

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. AGREGADOS

Los agregados son materiales inertes que proceden de rocas naturales o artificiales, adecuados para la construcción cuando cumplen con algunas propiedades físicas, químicas y mecánicas específicas, este caso para la fabricación de hormigones; constituyen entre el 65% y el 85% del volumen total del hormigón.

De manera general los agregados de acuerdo al tamaño de la partícula se dividen en agregados finos y agregados gruesos.

Agregados finos, generalmente se clasifican en arena gruesa o fina, pueden tener un tamaño hasta de 4.75mm.

Agregados gruesos, conocidos como ripio y grava que por su tamaño quedan retenidos en el tamiz No. 4 y que pueden variar hasta 150mm.

En resumen, los agregados desempeñan un papel muy fundamental en la fabricación del hormigón, permiten lograr un mejor manejo en la compresión que garantizan la resistencia y la durabilidad de las estructuras construidas.

2.2.2. CEMENTO

Se utiliza como conglomerante hidráulico, que mezclado con agua y áridos adecuados forma una pasta que fragua y endurece, por medio de reacciones y proceso de hidratación que una vez endurecido produce hormigones o morteros que conservan su trabajabilidad, resistencia y estabilidad dentro de la construcción.

Cabe destacar que el cemento es un material que presenta una composición química variada, en este caso para la investigación se utilizó el cemento CHIMBORAZO HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL, TIPO HE que cumple estrictamente la norma NTE INEN 2380 (2011), de alta resistencia inicial, lo que lo hace ideal para fabricar hormigones con mayores resistencias mecánicas. Este cemento es producido con Clinker, adiciones minerales, sulfato de calcio, estos componentes son dosificados en la molienda obteniendo un producto de alta fineza y calidad.

Las propiedades del cemento Chimborazo tipo HE son: durabilidad, mayor resistencia a la compresión, resistencias al ataque de sulfatos, mayor impermeabilidad, disminuye la reacción nociva álcali-agregado y menor calor de hidratación; este tipo de cemento permite cuidar y preservar el ambiente, reduciendo en gran escala la emisión de gases efecto invernadero.

Según la norma ASTM C 150-07 hay varios tipos de cemento Portland, cada uno de ellos tienen propiedades específicas que son utilizados para ciertas aplicaciones y condiciones. Al rato de seleccionar el cemento es importante conocer las características técnicas del mismo ya que cada uno de ellos son hechos para ciertos tipos de necesidades dentro de la construcción.

El cemento Chimborazo tipo HE tiene las siguientes propiedades físicas y químicas:

- Resistencia: Altas resistencias iniciales y finales, y excelentes resistencias mecánicas a la compresión, flexión y tracción.
- Fraguado: Tiempo de fraguado óptimo y rápido desencofrado.
- Trabajabilidad: Excelente manejabilidad y trabajabilidad.
- Permeabilidad: Baja probabilidad de permeabilidad.
- Fisuración: Menor tendencia a fisuración.
- Segregación y exudación: Disminución de la segregación y exudación.
- Composición: Está compuesto por la trituración de Clinker, yeso y adiciones minerales de excelente calidad.



Ilustración 2. Cemento Chimborazo hidráulico de alta resistencia inicial tipo HE.
Fuente: ucem.com.ec.

Densidad del cemento

La densidad del cemento se determina entre la masa de una cantidad obtenida y el volumen absoluto de dicha masa. En el cemento normal este valor está muy cerca de 3,15 g/cm³.

2.2.3. EL AGUA

Se define como el componente esencial en las mezclas de hormigón, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante, como agua de mezcla y principalmente como agua de curado. La humedad que proporciona el agua le da al hormigón su resistencia durante el proceso de curado.

El agua que sirve para la mezcla cumple dos roles fundamentales, el primer rol fundamental es hidratar al cemento para formar una pasta que pueda fraguar y posteriormente endurecer, convirtiéndose en el cementante requerido para unir las partículas del árido; la cantidad de agua que se utiliza para este propósito es de aproximadamente el 28% de su peso. Es decir que por cada 100kg de cemento se necesita 28 litros de agua para hidratar, sin embargo, si utilizamos esta proporción la mezcla resultaría extremadamente seca y no sería manejable. El otro rol fundamental del agua es otorgar la trabajabilidad o la fluidez del hormigón para que pueda ser utilizado en obra. La cantidad de agua necesaria para esta función es adicional a la requerida para combinarse con el cemento.

La relación entre la cantidad de agua y la cantidad de cemento es fundamental para determinar la resistencia y durabilidad del hormigón.

Se indica entonces que el agua utilizada en la mezcla del hormigón debe estar limpia (evitar usar agua de mar) y no se debe añadir en exceso ya que puede afectar al rendimiento del hormigón. Es decir que podría disminuir su resistencia y durabilidad.

2.2.4. ADITIVOS

Considerados como productos químicos de naturaleza orgánica o inorgánica, cuya colocación tiene como objeto modificar las propiedades del hormigón en estado fresco o endurecido. Se suelen presentar generalmente en forma líquida o que también los hay en polvo, que se coloca en pequeña proporción de la mezcla para modificar algunas propiedades en la forma deseada.

Los aditivos para el hormigón deben utilizarse con prudencia de acuerdo con las especificaciones y el método de aplicación para evitar efectos desfavorables en las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido, después de seleccionar el producto.

2.2.5. HORMIGÓN

Es el material más utilizado en la construcción, está compuesto de una mezcla de diferentes componentes como: cemento, agua, arena y gravas o piedras trituradas, se caracteriza por ser resistente, duradero y versátil.

A continuación, se indica las principales características del hormigón:

- Es maleable y tiene una gran consistencia,
- Se seca rápidamente,
- Es resistente a la compresión,
- Se puede reforzar con acero,
- Es versátil,
- Se puede moldear en diferentes formas,
- Es duradero y es fácil de ejecutar, incluso en entornos difíciles.

2.2.5.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

El hormigón fresco puede moldearse por su plasticidad, va desde que el hormigón se crea hasta el fraguado del cemento, este tiempo que transcurre depende de los aditivos, temperatura, la dosificación de agua, la clase de cemento, así como de otros factores. Desde el primer instante que se produce la mezcla, este experimenta reacciones químicas que influyen en sus características finales como en su dureza. El hormigón fresco es un material heterogéneo, se lo encuentra en tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

A continuación, se detalla las propiedades que definen el hormigón fresco:

Consistencia

Esta propiedad define la resistencia que ejerce el hormigón fresco a deformarse por acción de su peso, principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams. Consiste en colocar el hormigón fresco en un molde metálico troncocónico con una altura de 30 cm, en tres capas pisoneadas dándole a cada tercio 25 golpes con una varilla-pisón, luego se retira el cono verticalmente para medir la diferencia del asentamiento del hormigón.

Trabajabilidad

Es la propiedad que hace que el hormigón fresco sea fácil de manejar y de contraer sin ningún riesgo de segregación que determina la facilidad con la que se puede mezclar, colocar o compactar y que en el estado fresco se pueda dar un mejor acabado.

Homogeneidad

Esta característica constituye de la distribución de todos los componentes del hormigón en proporciones similares.

Masa específica

Es la relación entre la masa del hormigón fresco y su volumen, se lo puede medir compactado o sin compactar.

Tiempo abierto

Es el intervalo de tiempo que sucede entre el amasado del hormigón y el principio del fraguado, establece la capacidad de manipulación del hormigón sin restar sus características.

Segregación

Se define como la distribución de sus partículas de una forma no uniforme, es decir que existe segregación del hormigón, debido a la separación de sus componentes cuando se realiza el amasado. Existen dos maneras que se presente la segregación: Primero sucede cuando las partículas gruesas se separan por desplazamiento sobre la mezcla amontonada, esto es porque se asientan más que las partículas finas por acción de la gravedad, esto ocurre en mezclas secas y poco adherentes. Segundo cuando se separa el cemento y el agua del amasado en las mezclas húmedas.

Se determina que hay muchos factores que pueden influir en la segregación del hormigón.

Exudación

Este fenómeno se da cuando el agua sube a la superficie del hormigón recién colocado y compactado, ocurre por la sedimentación de partículas sólidas como cemento y agregados, su presencia debilita la superficie del hormigón, forma grietas, causa problemas de adherencia y provoca segregación. Para prevenirla hay que controlar la relación agua/cemento, usando aditivos que reduzcan la exudación, se debe asegurar una

buena proporción de agregados, se debe proteger el hormigón con técnicas de curado adecuadas y mezclar el tiempo necesario.

La exudación es normal en el hormigón fresco, pero se le debe controlar para mejorar la durabilidad y rendimiento del hormigón.

2.2.5.2. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Se presenta en el hormigón a partir del final de un proceso de fraguado y endurecimiento que ocurre después de su colocación y curado adecuado. En este proceso el hormigón va adquiriendo sus propiedades mecánicas y físicas que son las que determinan su calidad y rendimiento como material utilizado en la construcción.

El hormigón endurecido tiene las siguientes propiedades:

Densidad

Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado, varía según el tipo de hormigón y de los materiales que se utilicen en la elaboración.

Permeabilidad

Se refiere a la cantidad de agua o aire que puede entrar en los poros del hormigón una vez que está seco. Una baja permeabilidad produce una alta durabilidad del hormigón.

Resistencia

El hormigón endurecido es un material que presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión que se refiere a la capacidad del hormigón para soportar cargas de compresión sin sufrir fracturas. Se mide en MPa (Megapascales) y llegan hasta 50 MPa en hormigones normales y 100 MPa en hormigones de alta resistencia, la cual se consigue generalmente a los 28 días de edad.

Retracción

Es un fenómeno que se da cuando un material pierde volumen o se deforma, que se produce por la evaporación del agua. Además, puede causar tensiones internas que pueden provocar fisuras en el hormigón.

2.2.6. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad del hormigón es una propiedad mecánica que refleja la habilidad que tiene el hormigón para deformarse elásticamente, el cual puede ser obtenido aplicando cargas conocidas sobre un espécimen para evaluar la deformación del material (Pauw, 1960).

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 hormigón en cuestión (Quimbay, 2012).

El módulo de elasticidad es fundamental para realizar los ensayos de laboratorio en el desarrollo del proyecto al someter a los cilindros a cargas y observar su resistencia, dando como resultado la ecuación del módulo de elasticidad.

2.2.7. 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).

2.2.8. TIPOS DE FALLA

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).

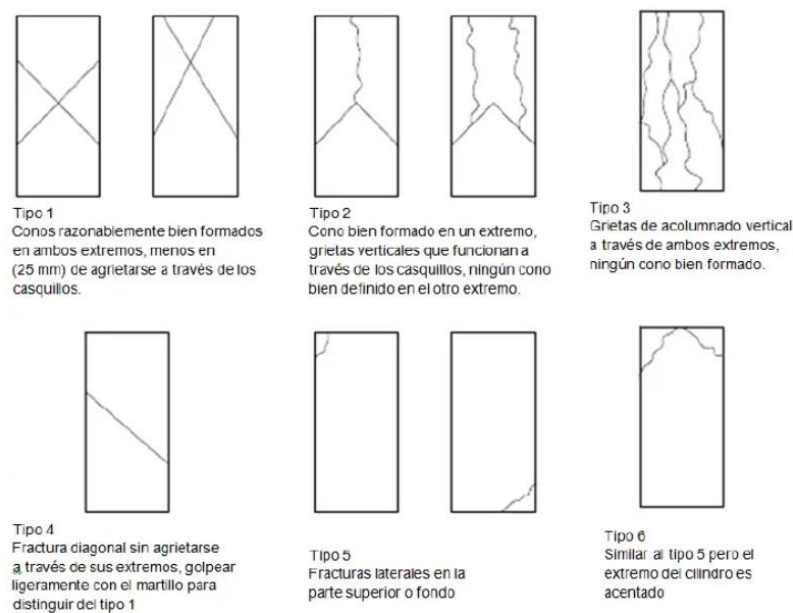


Ilustración 3. Tipos de falla.

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

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).

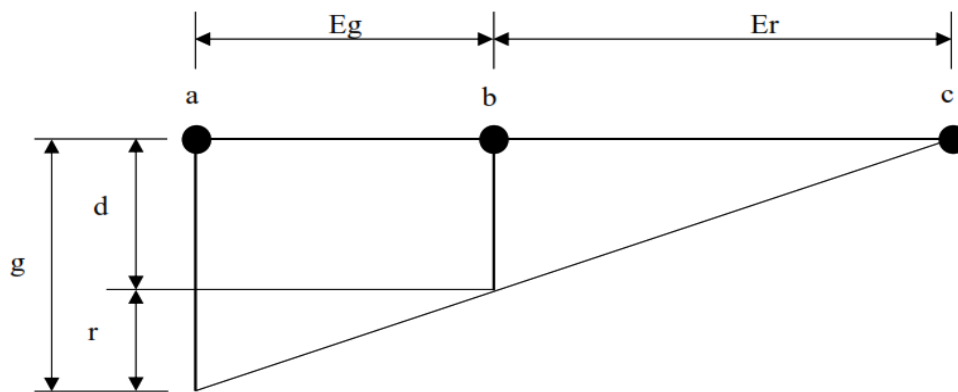


Ilustración 4. Diagrama de desplazamientos.

Fuente: American Society for Testing and Materials C469/C469M.

Donde:

d = desplazamiento total debido a la deformación del espécimen.

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

a = ubicación del deformímetro.

b = punto de soporte del dispositivo de apriete.

c = ubicación del pivote.

g = lectura del deformímetro.

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).

2.2.9. OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL

Para poder obtener el módulo de elasticidad proveniente del cilindro de hormigón, se procede de la siguiente manera:

- Obtenida el área del espécimen, las cargas axiales, las lecturas de deformación y la longitud de medición, se procede a calcular los esfuerzos y las deformaciones unitarias correspondientes a cada carga, así como su esfuerzo máximo.

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

Donde:

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

g = lectura del deformímetro.

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

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

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

Donde:

ε = deformación unitaria (mm/mm).

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

L = altura del equipo compresómetro (mm)

- Determinamos el esfuerzo “S1” en unidades de kg/cm² correspondiente a la deformación unitaria (ε_1) de 0.000050.

$$E = \frac{0.4 f_c - f_{c(0.00005)}}{\varepsilon_{(0.4f_c)} - 0.00005}$$

- Determinamos el esfuerzo “S2” que corresponde al 40% del esfuerzo máximo.
- De la misma manera producto del esfuerzo “S2” obtenemos el parámetro ε_2 .
- Con estos parámetros procedemos al cálculo del módulo de elasticidad con la siguiente fórmula:

$$\text{Módulo de elasticidad} = E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.00005)}$$

Donde:

E = módulo de elasticidad (MPa).

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

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

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

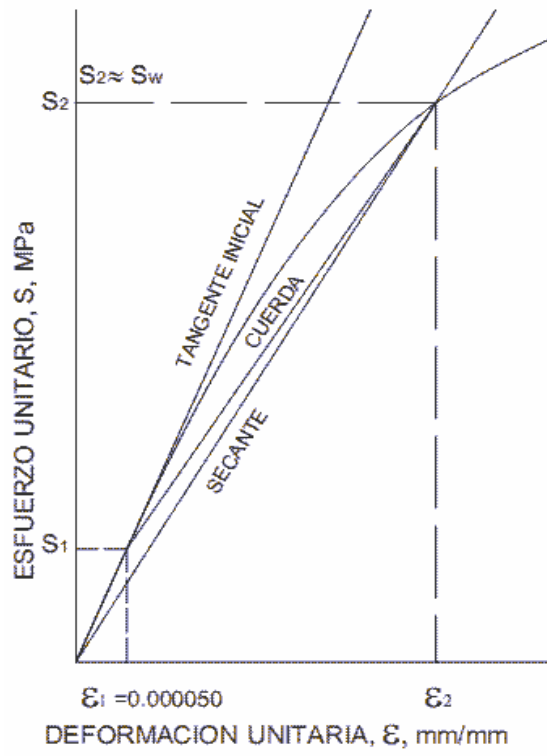


Ilustración 5. Curva esfuerzo deformación unitaria del hormigón.
Fuente: Ingeniería Civil (2011).

CAPÍTULO III

3.1. PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS

3.1.1. MINA LA “REVILLA S.A”

El sitio de procedencia del material (pétreo fino y grueso) para el desarrollo del presente proyecto es de la mina “La Revilla S.A.” que está ubicada en el sector de San Roque, ubicada a 10 minutos de la Troncal de la Sierra y a 9 km. del centro de Otavalo de la provincia de Imbabura. Su clima es cálido templado con una temperatura promedio de 18 ° C., con una topografía irregular.



Ilustración 6. Mina la Revilla S.A., cantón Otavalo.
Fuente: Jonathan Enríquez.

3.1.2. MATERIAL RECICLADO “ADOQUINES”

El material reciclado (adoquín) utilizado para el proyecto proviene de la restitución del adoquinado del parqueadero de la Unidad Municipal de Salud Sur-UMSS Quito.



Ilustración 7. Adoquín reciclado.
Fuente: Jonathan Enríquez.

3.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Los agregados tienen una importancia considerable en el hormigón, su participación es en gran porcentaje aproximadamente en un intervalo del 60% al 75% de su volumen, por ello sus propiedades y características deben cumplir con controles de calidad que rigen las normas internacionales como ASTM, y las normas nacionales INEN.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los ensayos que se les realiza a los agregados finos y gruesos.

Ensayo	Norma Nacional	Norma Internacional
Agregado Grueso		
Abrasión	INEN 860	ASTM C131
Densidad aparente suelta y compactada	INEN 858	ASTM C029
Granulometría	INEN 696	ASTM C033, C125
Densidad real peso específico	INEN 857	ASTM C128
Capacidad de absorción	INEN 857	ASTM C070
Agregado Fino		
Colorimetría	INEN 855	ASTM C040
Densidad aparente suelta y compacta	INEN 858	ASTM C029
Granulometría	INEN 696	ASTM C136
Densidad real peso específico	INEN 856	ASTM C127
Capacidad de absorción	INEN 856	ASTM C070

Tabla 2. Lista de ensayos.
Fuente: Álvarez Rodrigo y Pinto Silva (2017).

3.3. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

3.3.1. CONTENIDO ORGÁNICO

El ensayo nos permite examinar si existe materia orgánica y su cantidad existente en el material, este contenido si es en exceso puede ser muy perjudicial para la mezcla del hormigón. Este ensayo se lo realiza colocando una solución de hidróxido de sodio junto al agregado fino en un frasco de vidrio durante un lapso de 24 horas. Concluido el tiempo descrito se procede a comparar el color con una solución normalizada (dicromato de potasio) o mediante un juego de vidrios que contienen colores que corresponden a la escala de Gardner (NTE INEN 855 2011).

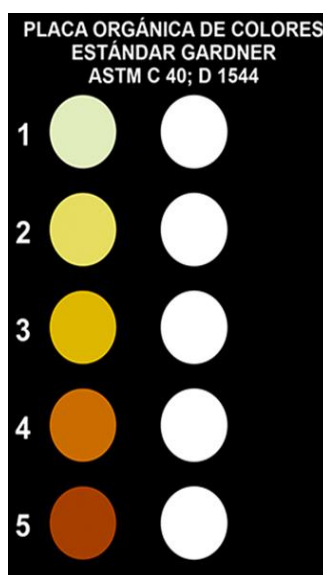


Ilustración 8. Escala de colores de Gardner.
Fuente: ASTM C 40.

Color normalizado escala de Gardner N.º	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5

Tabla 3. Lista de ensayos.
Fuente: ASTM C 40.

Resultados del ensayo


PROCEDIMIENTO CON EL COMPARADOR DE COLOR NORMALIZADO		
Color de acuerdo a la escala de Gardner	5	
Color determinado en el ensayo	1	
Conclusiones	No contiene materia orgánica	

Tabla 4. Procedimiento con el comparador de color normalizado.

3.3.2. GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico de un suelo consiste en determinar los diferentes tamaños de las partículas y los porcentajes en que esos tamaños intervienen en su universo que lo componen. Es un indicativo para determinar ciertas propiedades de los diferentes suelos y para proceder a su clasificación. El análisis granulométrico por tamizado se realiza hasta las partículas de suelo retenidas en el tamiz No 200 (0.074), y consiste en hacer pasar el suelo a través de un juego de tamices de aberturas conocidas. Por lo tanto, el tamaño o diámetro de las partículas está definido por la dimensión lateral o lado de la abertura cuadrada del tamiz. (Caballero, 2013)

Para la realización de este ensayo se tomaron muestras en seco del material fino como del material grueso.

En cualquier tipo de construcción civil se deben disponer de áridos cuyas proporciones estén dentro de los intervalos establecidos en las especificaciones (ASTM C33-NTE INEN 0696; NTE INEN 0872) lo que indicará las características aceptables para la fabricación del hormigón. Así mismo, los porcentajes de tamaño de agregado

indican una adecuada distribución de las partículas dentro del hormigón. De la misma manera, la granulometría es un parámetro para poder evaluar la calidad como la resistencia de los agregados utilizados en la mezcla del hormigón.

3.3.3. AGREGADO GRUESO

Con este ensayo se busca determinar si los agregados obtenidos de la mina cumplen y/o se encuentran dentro del intervalo de la especificación NTE INEN 0872-11 a continuación se presenta la siguiente tabla que corresponde al agregado con un número de tamaño #67 (tamaños nominales de 19 mm a 4.75 mm), con el objetivo de determinar si son adecuados para la fabricación de cilindros de hormigón.

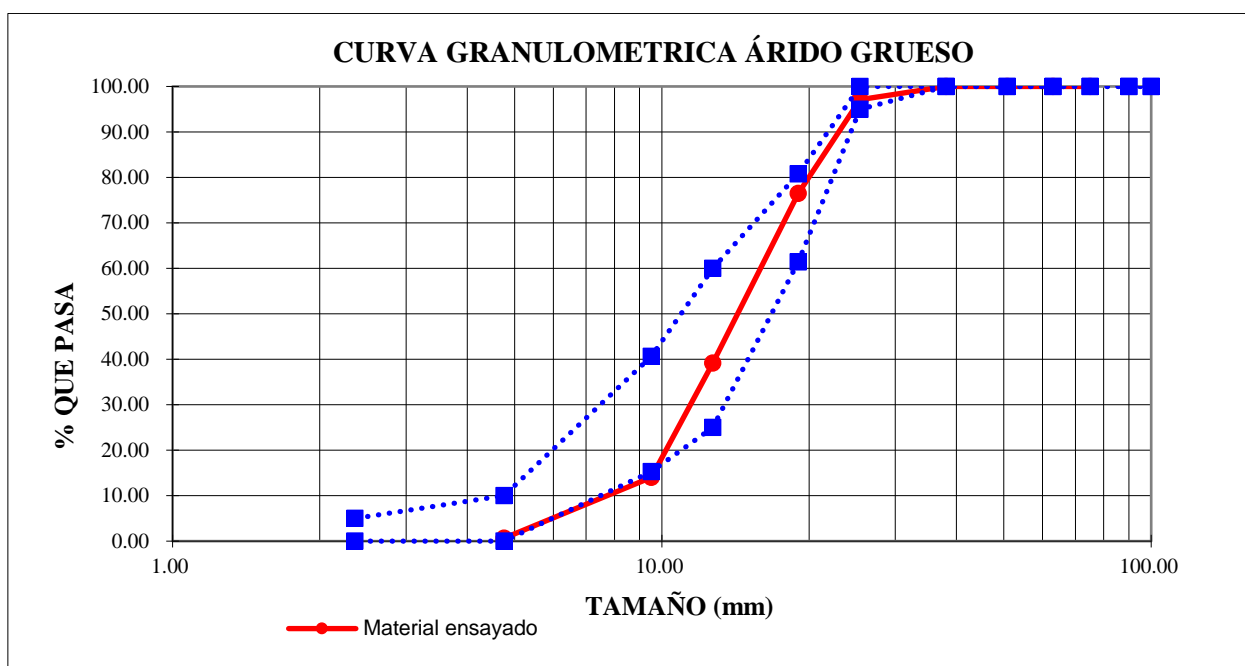
Número de Tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a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

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

Tabla 5. Requisitos de gradación para árido grueso.
Fuente: Requisitos de gradación para áridos gruesos (NTE INEN 0872-11).

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (g)	MASA RETENIDA ACUMULADA (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	100.00	0	0	0.00	100.00
3 1/2"	90.00	0	0	0.00	100.00
3"	75.00	0	0	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0	0	0.00	100.00
2"	50.80	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0	0	0.00	100.00
1"	25.40	29.30	29.30	2.91	97.09
3/4"	19.00	207.30	236.60	23.53	76.47
1/2"	12.70	375.30	611.90	60.86	39.14
3/8"	9.51	252.70	864.60	85.99	14.01
No.4	4.76	134.30	998.90	99.34	0.66
Pasa No. 4		6.60	6.60		
SUMA		1005.50	1005.50		
MASA NICIAL		1005.50			

Tabla 6. Datos obtenidos del ensayo de granulometría árido grueso.



Gráfica 1. Curva granulométrica árido grueso.

3.3.4. AGREGADO FINO

De la misma manera procedemos a realizar el análisis correspondiente a la granulometría del árido fino según la especificación NTE INEN 0872-11 a continuación se presenta la siguiente tabla para determinar la adecuada gradación del árido fino.

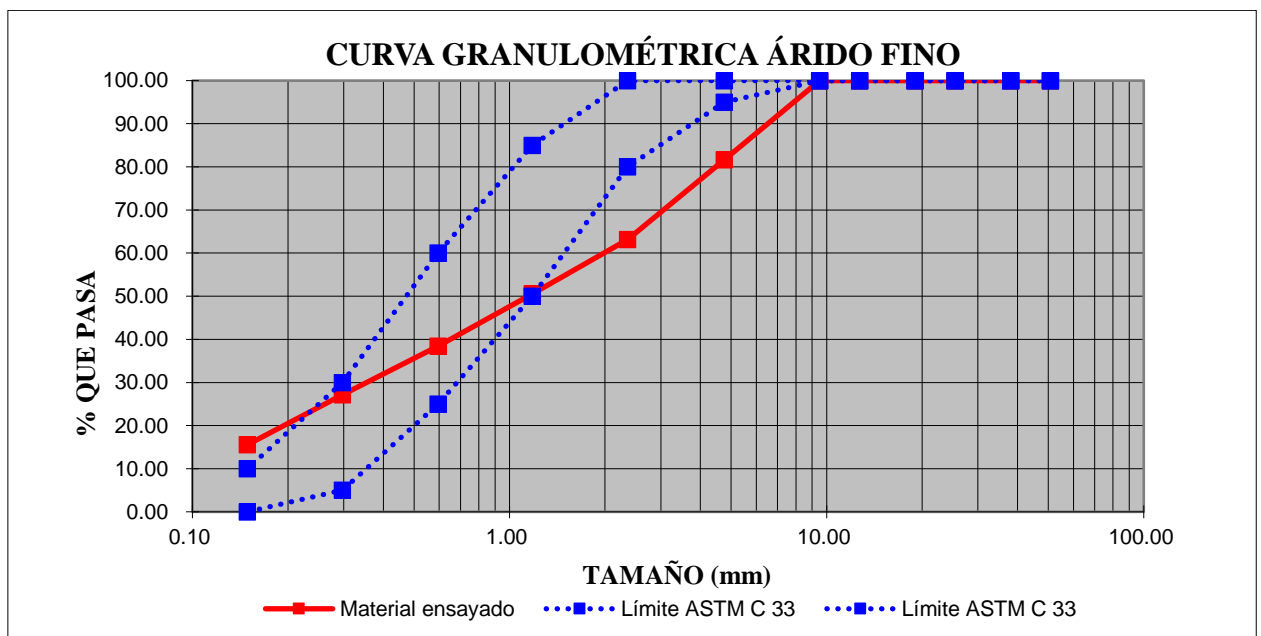
Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9.5 mm	100
4.75 mm	95 a 100
2.36 mm	80 a 100
1.18 m	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	10 a 30
150 μm	2 a 10

Tabla 7. Gradación para áridos finos.

Fuente: Requisitos de gradación para áridos gruesos (NTE INEN 0872-11)

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (g)	MASA RETENIDA ACUMULADA (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50.80	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0	0	0.00	100.00
1"	25.40	0	0	0.00	100.00
3/4"	19.00	0	0	0.00	100.00
1/2"	12.70	0	0	0.00	100.00
3/8"	9.51	0	0	0.00	100.00
No.4	4.76	91.30	91.30	18.36	81.64
No.8	2.36	91.90	183.20	36.84	63.16
No.16	1.18	62.90	246.10	49.49	50.51
No.30	0.60	60.10	306.20	61.57	38.43
No.50	0.30	56.20	362.40	72.87	27.13
No.100	0.15	57.60	420.00	84.46	15.54
Pasa No. 100		77.30	77.30		
SUMA		497.30	497.30		
MASA INICIAL		505.70			

Tabla 8. Datos obtenidos del ensayo de granulometría árido fino.

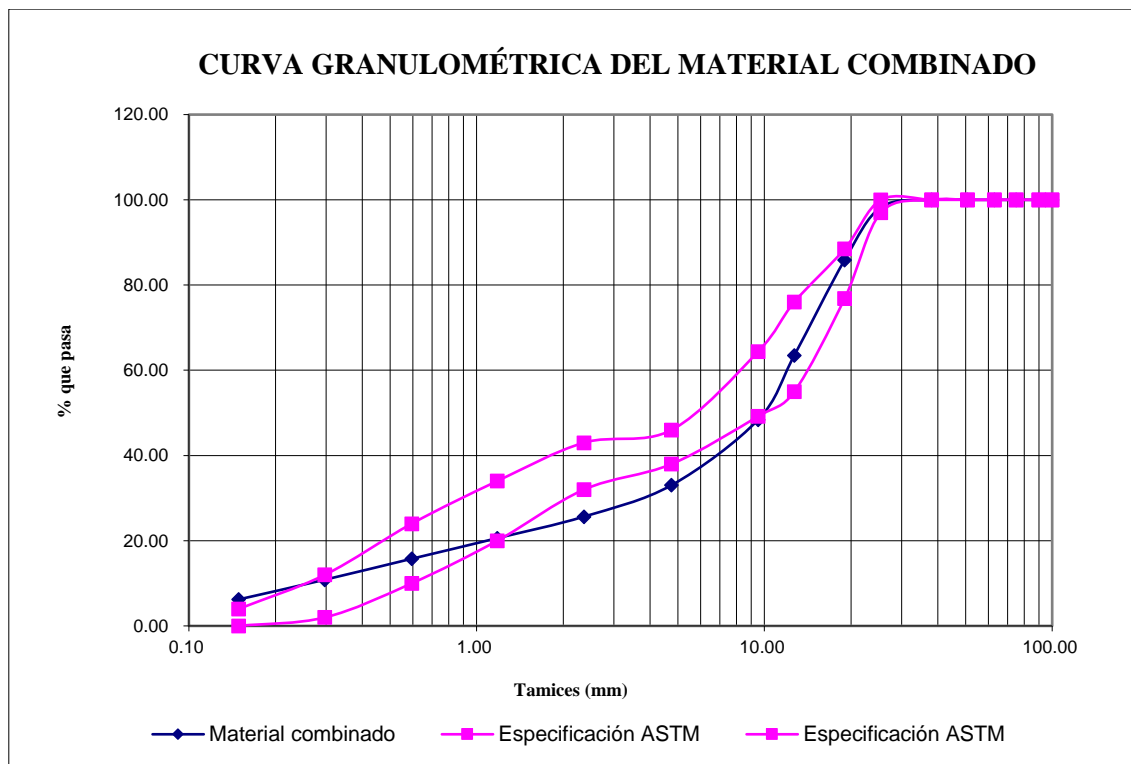


Gráfica 2. Curva granulométrica árido fino.

3.3.5. GRANULOMETRÍA COMPLETA

Malla		Especificaciones ASTM C33 Material de tamaño máximo 1 plg.		Agregado grueso % que pasa	Agregado fino % que pasa	Mezcla de los materiales
plg.	mm.					
4"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3 1/2"	90.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3"	75.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.80	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.40	97.00	100.00	97.09	100.00	98.25
3/4"	19.00	76.84	88.48	76.47	100.00	85.88
1/2"	12.70	55.00	76.00	39.14	100.00	63.49
3/8"	9.51	49.19	64.39	14.01	100.00	48.41
No.4	4.76	38.00	46.00	0.66	81.64	33.05
No.8	2.36	32.00	43.00	0.66	63.16	25.66
No.16	1.18	20.00	34.00	0.66	50.51	20.60
No.30	0.60	10.00	24.00	0.66	38.43	15.76
No.50	0.30	2.00	12.00	0.00	27.13	10.85
No.100	0.15	0.00	4.00	0.00	15.54	6.22

Tabla 9. Datos obtenidos del ensayo de granulometría áridos grueso y fino.



Gráfica 3. Curva granulométrica del material combinado.

De estos resultados obtenemos las proporciones del material que van a intervenir en la mezcla de hormigón y es la siguiente:

PROPORCIONES DE MATERIAL ÓPTIMO	
Agregado grueso	60
Agregado fino	40
De la curva granulométrica de la mezcla de los dos materiales se obtienen los siguientes resultados	
% que pasa el tamiz 3/8"	48.4
% que retiene el tamiz 3/8"	51.6

Tabla 10. Proporciones de material óptimo.

Análisis de Resultados: Luego de realizar los diferentes ensayos tanto del agregado fino como del grueso, podemos determinar que la gradación del material cumple con lo establecido en la norma NTE INEN 872-11.

3.3.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA

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

Con este ensayo podremos lograr identificar qué cantidad de agregados aportan a la mezcla del hormigón.

3.3.7. ABSORCIÓN

“Es el incremento de peso del agregado por agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de peso seco. El agregado es considerado seco cuando este ha sido mantenido a una temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante el suficiente tiempo para eliminar toda el agua sin combinar”. (American Society for Testing and Materials , 2001)

La realización de este ensayo está relacionada directamente con el agua/cemento (a/c), es decir, que obtendremos la cantidad de agua requerida para los agregados y así poder eliminar sus vacíos cuando realicemos la mezcla del hormigón.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	AGREGADO FINO
Masa del Matraz - Mm	gr	159.40
(A) Masa de la muestra seca	gr	487.30
(B) Masa del matraz + agua	gr	659.40
(C) Masa conjunto matraz, agua y muestra	gr	969.70
(S) Masa de muestra saturada con superficie seca	gr	500.00
Gravedad específica seca (ge)		2.57
Gravedad específica saturada con superficie seca (gea)		2.64
Gravedad específica aparente (gea)		2.75
Porcentaje de absorción (ab)	%	2.61%

Tabla 11. Gravedad específica del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	AGREGADO GRUESO
(A) Masa muestra seca	gr	4222
(B) Masa de la muestra saturada con superficie seca	gr	4312
(C) Masa aparente de la muestra saturada con superficie seca	gr	4637
Gravedad específica (ge)		2.52
Gravedad específica saturada con superficie seca (ges)		2.57
Gravedad específica aparente (gea)		2.66
Porcentaje de absorción (ab)	%	2.13

Tabla 12. Gravedad específica del agregado grueso.

3.3.8. PESO UNITARIO

“El peso unitario consiste en determinar la densidad total como el resultado de dividir la masa de un agregado en estado seco (en un determinado nivel de consolidación o compactación) y el volumen que éste ocupa incluyendo los vacíos de aire entre partículas y los de absorción y se expresa en lbf/pie³ (kg/m³). Los resultados obtenidos en este ensayo son necesarios para realizar las proporciones correctas de mezclas de hormigón hidráulico y para conversiones masa / volumen en la aceptación de materiales en la obra”. (Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”)

Con este ensayo podemos identificar el comportamiento de los agregados ya sea en condiciones reales como al rato de preparar la mezcla del hormigón, además podremos obtener sus diferentes pesos unitarios de manera suelta y compactada.

PESO UNITARIO	UNIDAD	AGREGADOS	
		FINO	GRUESO
(P) Masa del molde	kg	5.05	8.53
(V) Volumen molde	m ³	0.03	0.10
(A) Masa molde + material suelto	kg	9.94	22.02
(B) Masa molde + material compacto	kg	10.34	22.61
Masa del material suelto (ms)	kg	4.89	13.49
Masa del material compacto (mc)	kg	5.29	14.08
Peso unitario suelto	kg/m³	1640.94	1355.78
Peso unitario compacto	kg/m³	1775.17	1415.08

Tabla 13. Peso unitario de los agregados.

3.3.9. DESGASTE POR ABRASIÓN

La resistencia al desgaste del agregado grueso se determina a través del ensayo de abrasión haciendo uso de la máquina de los ángeles. Este ensayo se lleva a cabo utilizando esferas de acero, las mismas que son colocadas en un tambor giratorio. La muestra es sometida a cargas abrasivas, durante un lapso de tiempo en función de un número de revoluciones determinado. Una vez concluido este proceso la muestra se tamiza, obteniéndose así el porcentaje de desgaste del agregado, tomando en cuenta la pérdida en la masa original del mismo (NTE INEN 0860, 2011).



Ilustración 9. Máquina de los ángeles.
Fuente: Jonathan Enríquez.

El número de esferas que se introducen en la máquina de los ángeles está relacionada a la masa, esta tabla se indica a continuación:

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tabla 14. Especificaciones para el ensayo.
Fuente: NTE INEN 0860 (2011).

Los resultados de los ensayos de abrasión realizados en el agregado grueso se muestran a continuación:

ENSAYO DE ABRASIÓN		
Tipo de Gradación	A	
Tamaño Máximo Nominal del Agregado	1	plg
(A) Masa inicial de la muestra	5000	g
(B) Masa retenida en el tamiz No. 12 después de 500 revoluciones	2780	g
(C) Masa que pasa el tamiz No. 12	2220	g
(D) Porcentaje de desgaste	44	%

Tabla 15. Ensayo de abrasión.

3.3.10. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad es la capacidad que el material posee para almacenar agua en su constitución interna, dicho de otra manera, el contenido de humedad se encuentra en base al número de poros, tamaño y continuidad de los mismos. Este ensayo permite realizar las correcciones pertinentes de agua al momento de aplicar una dosificación (Gutiérrez, 2003). Las condiciones que se pueden presentar se indica a continuación:

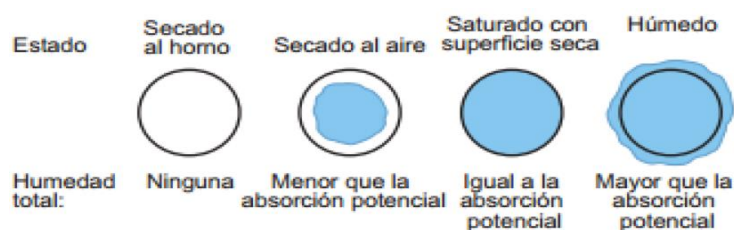


Ilustración 10. Gráfico de condiciones de humedad de agregados.
Fuente: (PCA, 2004), “Agregados para el hormigón”.

Donde:

Secada al horno: Totalmente absorbente.

Secada al aire: La superficie de la partícula se encuentra seca, pero el interior de la partícula aún contiene humedad, es decir, que la partícula es ligeramente absorbente.

Saturada con superficie seca: No absorben ni ceden agua al hormigón.

Húmedos: Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre).”

(Portland Cement Association, 2004)

Los resultados de los ensayos se muestran a continuación:

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO		
Masa del agregado en estado natural	877.87	g
Masa del agregado seco al horno	876.10	g
Contenido de humedad del agregado	0.20	%

Tabla 16. Contenido de humedad del agregado grueso.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO		
Masa del agregado en estado natural	423.44	g
Masa del agregado seco al horno	422.50	g
Contenido de humedad del agregado	0.22	%

Tabla 17. Contenido de humedad del agregado fino.

CAPÍTULO IV

4.1. DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas es un paso importante para la creación del hormigón, esto se debe a la selección de los materiales y las proporciones precisas para obtener un hormigón con las propiedades deseadas (resistencia, trabajabilidad, durabilidad), nos ayuda a determinar un hormigón en estado fresco y estado endurecido.

Con la obtención de estos datos, nos permite realizar el cálculo de la dosificación para la mezcla deseada. Según Asocreto (2011) menciona que, el porcentaje de cemento que se utiliza en el hormigón está entre el 7% y 15% del volumen total de la mezcla, el cual provee de propiedades como la adherencia y cohesión; asimismo, los agregados pétreos (grava y arena), ocupan entre el 56% y 76% del volumen; otra propiedad fundamental para la mezcla del hormigón es el agua que varía entre el 14% y 18% del volumen y finalmente se debe considerar el aire atrapado en la mezcla, el cual varía entre el 1% y 3%.

Para el diseño de mezclas existen varios métodos analíticos, cada uno de ellos optimizan unas variables en particular con el objetivo de obtener hormigones con características como: normales, secos, pesados, livianos, con alta resistencia, fraguado rápido, adición de aditivos y de alto desempeño. Para nuestro proyecto nos vamos a guiar con el método de la ACI, debido a que es el más utilizado en nuestro entorno para determinar la resistencia del hormigón y proporciones adecuadas de los materiales que se emplearan en la mezcla, los cuales sirven como base para un estudio preliminar cuando se quiere obtener una dosificación de mezclas de hormigón.

Método ACI - American Concrete Institute

Este método es uno de los más utilizados en la industria para realizar un diseño, fácil de utilizar y diseñado para obtener las componentes del hormigón desde su resistencia que se desea.

Primero se determinan los requerimientos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad que nos proporcionan las normas y especificaciones aplicadas para el diseño del hormigón.

Como segundo paso se escoge los materiales (cemento, agregados y aditivos), con el objetivo de analizar sus características y propiedades que tienen cada uno.

En el tercer paso se realizan los cálculos y reajustes en base a las tablas y gráficas proporcionadas por el ACI para determinar las proporciones adecuadas de los materiales para la resistencia deseada.

Por último, se realizan pruebas en el laboratorio para ajustar la mezcla del hormigón y poder llegar a la resistencia deseada.

4.2. DOSIFICACIÓN AL PESO SEGÚN MÉTODO DEL ACI

En esta parte se procederá a obtener una metodología y un análisis de resultados necesarios para una dosificación perfecta de agregados, agua y cemento, que permitirán elaborar un hormigón de resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y así sustituir el agregado fino por material reciclado (adoquín) extraído de una obra civil en porcentajes del 4%, 8% y 12 % respectivamente.

Al utilizar el método de dosificación al peso del ACI y calcular los respectivos porcentajes se podrán obtener resultados más exactos.

4.2.1. ASENTAMIENTOS

El asentamiento del hormigón se lo puede definir como la propiedad que nos indica la facilidad con la que se puede trabajar con el hormigón, es decir, si es fácil poder moldear, empujar y alisar la mezcla, también conocida como consistencia y fluidez del hormigón.

En definitiva, podemos decir que el valor del asentamiento indica si el estudio del hormigón es el adecuado para el trabajo a realizar, es decir que si el valor del asentamiento es más alto es factible maniobrar el hormigón, lo que no pasa cuando el valor del asentamiento es bajo va a ser difícil moldear la mezcla. Además, debemos tomar en cuenta cuando el valor del asentamiento es muy elevado se tiene el riesgo de que los agregados y cemento asentados no formen parte homogénea de la mezcla y no se pueda utilizar.

En la siguiente tabla se detalla los asentamientos recomendados para tipos de construcción por el ACI.

ASENTAMIENTO POR TIPO DE CONSTRUCCIÓN		
Tipos de construcción	Máximo asentamiento (mm)	Mínimo asentamiento (mm)
Muros de fundación reforzados y zapatas	75.00	25.00
Zapatas aisladas, cajones y muros de subestructura	75.00	25.00
Vigas y muros reforzados	100.00	25.00
Columnas de edificios	100.00	25.00
Pavimentos y losas	75.00	25.00
Hormigón masivo	75.00	25.00
Se puede aumentar 25mm (1 plg) para los métodos de consolidación		
Los plastificantes pueden proveer revenimientos mayores		

Tabla 18. Asentamientos por tipo de construcción.
Fuente: American Concrete Institute, 1997.

Para la investigación se tomó un asentamiento de 80 mm, debido a que en la mayoría de estructuras de hormigón es un valor adecuado.

4.3. GRANULOMETRÍA, CONTENIDO DE AIRE Y AGUA NETA

4.3.1. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO

Se debe seleccionar una granulometría adecuada para tener una masa más compacta con menos formación de vacíos. Como se indica en la Tabla 19. los valores recomendados son los siguientes de acuerdo al ACI.

Dimensión mínima del agregado (cm)	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL EN MM (PLG)			
	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 19. Valores recomendados de tamaño máximo nominal.
Fuente: Niño (2010).

De acuerdo a los ensayos realizados, se determinó que el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 1 plg.

4.3.2. CONTENIDO DE AIRE

El contenido de aire es importante ya que a un largo plazo puede afectar la resistencia del hormigón, sobre todo en los agregados fino, grueso y cemento por lo cual se deben prever los vacíos y tratar de mejor manera el diseño de la mezcla como se indica en la Tabla 20. Los valores recomendados por el ACI son:

Agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
			Suave	Mediano	Severo
Pulgadas	mm				
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 20. Valores recomendados para el contenido de aire.
Fuente: Niño (2010).

4.3.3. CONTENIDO DE AGUA EN LA MEZCLA

En la Tabla 21. indica que con el tamaño máximo nominal del agregado grueso se determina el contenido de agua en la mezcla de hormigón que ayude a mejorar su trabajabilidad, adherencia e hidratación.

Para nuestra mezcla tenemos un asentamiento de 8 cm, un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1 plg (25 mm), y así obtener la cantidad de agua respectiva que en este caso es de 193 kg/m³ y un porcentaje de hormigón sin aire incluido de 1.5 %; valores que proceden de la siguiente tabla:

Tamaño máximo nominal (mm)	AGUA, kg/m ³ DE HORMIGÓN, PARA LOS TAMAÑOS DE AGREGADO INDICADOS							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Asentamiento (Mm)	Hormigón 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 hormigón sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

	Hormigón 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 21. Requerimientos de agua de la mezcla.
Fuente: Steven H. Kosmatka (2008)

4.3.4. RELACIÓN AGUA / CEMENTO

La relación agua/cemento es la característica más importante dentro de la dosificación de la mezcla de hormigón, que permite evaluar la trabajabilidad, resistencia y permeabilidad. A continuación, en la Tabla 22. se detalla la siguiente consideración por parte del ACI.

Resistencia a la compresión a los 28 días		Hormigón sin incluir de aire (Relación absoluta por peso)	Hormigón con incluir de aire (Relación absoluta por peso)
kg/cm²	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 22. Relación agua/cemento.
Fuente: Niño (2010).

4.4. DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PREVIO

Para este estudio se realizó 3 mezclas, en las cuales se varió la relación agua/cemento para determinar la relación más adecuada para obtener un hormigón de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con los porcentajes de agregados obtenidos anteriormente en la mezcla como agregado fino 60% y agregado grueso 40% respectivamente; la siguiente Tabla 23. detalla las características específicas de cada mezcla con un asentamiento de 8 cm.

A/C	0.434		0.484		0.534	
Parámetro	Agregado grueso	Agregado fino	Agregado grueso	Agregado fino	Agregado grueso	Agregado fino
% Humedad	0.40	0.36	0.40	0.36	0.40	0.36
% Absorción	2.13	2.61	2.13	2.61	2.13	2.61
Estado SSS	954.59	636.39	979.96	653.31	1000.58	667.06
Estado seco	934.67	620.23	959.51	636.72	979.70	650.11
Estado natural	938.39	622.47	963.33	939.01	983.60	652.46
Cemento	496.13		444.88		403.22	
Agua neta	215.32		215.32		215.32	
Agua de mezcla	245.45		246.25		246.90	

Tabla 23. Resumen características agregados para cada relación agua/cemento.

Parámetro	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Relación A/C	0.434	0.484	0.534
No. Cilindros de hormigón	4	4	4
Volumen de hormigón a mezclar (m^3)	0.028	0.028	0.028
Agua neta (kg)	6.04	6.04	6.04
Agua de mezcla (kg)	6.88	6.90	6.92
Cemento (kg)	13.91	12.47	11.31
Agregado fino (kg)	17.45	17.92	18.29
Agregado grueso (kg)	26.31	27.01	27.58

Tabla 24. Resumen cantidades utilizadas para cada mezcla en kg.

4.4.1. RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS DOSIFICACIONES PREVIAS

Para determinar las resistencias de las tres dosificaciones previas (0.434, 0.484 y 0.534) donde varia su relación agua/cemento, se procedió a realizar el ensayo en 4 cilindros para romper en 7 y 28 días respectivamente.

Probeta N°:	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>
Identificación de la probeta*	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Descripción A/C	0.434		0.484		0.534		0.434		0.484		0.534	
Dureza Neopreno	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Fecha de fabricación	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024	8/4/2024
Fecha de ensayo	16/4/2024	16/4/2024	16/4/2024	16/4/2024	16/4/2024	16/4/2024	7/5/2024	7/5/2024	7/5/2024	7/5/2024	7/5/2024	7/5/2024
Hora de ensayo	14:50	14:54	14:58	15:02	15:06	15:10	8:25	8:27	8:29	8:31	8:33	8:35
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	28	28	28	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	0.4	0.4	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)	151.5	150.66	153.58	151.1	150.9	154	150.84	150.81	152.14	149.88	152	152.9
Diámetro 2 (mm)	151.19	151.1	154.18	151.27	151.51	153.66	149.85	151.43	152.72	152.23	151.61	152.59
Diámetro promedio (mm)	151.25	151	154	151.25	151.25	153.75	150.25	151	152.5	151	151.75	152.75
Relación entre diámetros (%)	0.21	0.29	0.39	0.11	0.4	0.22	0.66	0.41	0.38	1.57	0.26	0.2
Altura promedio (mm)	300	300	304	301	301	304	304	300	304	304	303	303
Relación H/D	1.98	1.99	1.97	1.99	1.99	1.98	2.02	1.99	1.99	2.01	2	1.98
Área (mm²)	17967	17908	18627	17967	17967	18566	17730	17908	18265	17908	18086	18325
Volumen (m³)	0.0054	0.0054	0.0057	0.0054	0.0054	0.0056	0.0054	0.0054	0.0056	0.0054	0.0055	0.0056
Masa (kg)	12.4	12.27	12.9	12.33	12.23	12.9	12.41	12.23	12.85	12.94	12.77	12.75
Peso unitario (kg/m³)	2300	2280	2280	2280	2260	2290	2300	2280	2310	2380	2330	2300
Carga máxima (KN)	395.8	471.7	400.4	376.1	335.7	236.6	564	589.2	546	547	469.3	426.4
Factor de corrección	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Resistencia a la Compresión (MPa)	22	26.3	21.5	20.9	18.7	12.7	31.8	32.9	29.9	30.5	25.9	23.3
Resistencia a la Compresión (kg/cm²)	224.4	268.3	219.3	213.2	190.7	129.5	324.4	335.6	305	311.1	264.2	237.7
Tipo de Falla	5	4	5	4	5	5	4	4	4	4	5	4

Tabla 25. Resistencias de las dosificaciones con varias relaciones agua/cemento.

Luego de realizar los ensayos para determinar la resistencia del hormigón como se observa en la Tabla 25., se procede a sacar el promedio entre los valores M1 y M2 de la relación agua/cemento en (0.434, 0.484 y 0.534) en los 7 y 28 días.

Resistencia a la compresión en base a la relación agua/cemento a los 7 días para (0.434, 0.484 y 0.534).

$$a/c (0.434) = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{22.0 + 26.3}{2} = 24.15 \text{ MPa}$$

$$a/c (0.484) = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{21.5 + 20.9}{2} = 21.20 \text{ MPa}$$

$$a/c (0.534) = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{18.7 + 12.7}{2} = 15.7 \text{ MPa}$$

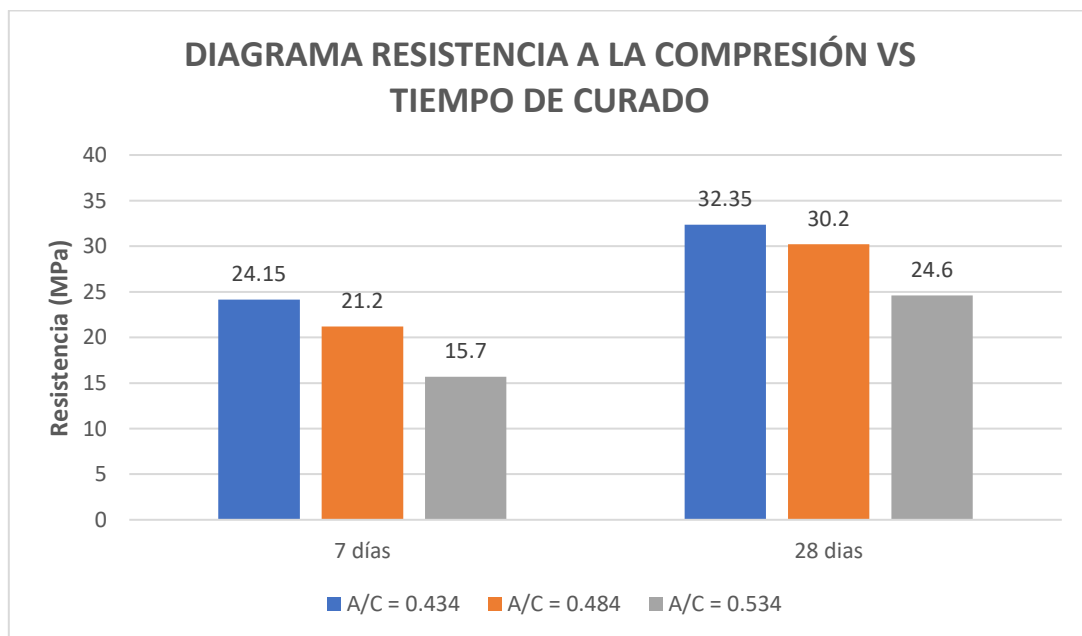
Resistencia a la compresión en base a la relación agua/cemento a los 28 días para (0.434, 0.484 y 0.534).

$$a/c (0.434) = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{31.8 + 32.9}{2} = 32.35 \text{ MPa}$$

$$a/c (0.484) = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{29.9 + 30.5}{2} = 30.2 \text{ MPa}$$

$$a/c (0.534) = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{25.9 + 23.3}{2} = 24.6 \text{ MPa}$$

Los resultados al realizar el promedio para obtener la resistencia de compresión en la relación agua/cemento (0.434, 0.484 y 0.534), se indica en el siguiente diagrama.



Gráfica 4. Resistencia a la compresión vs tiempo de curado.

4.4.2. MUESTRA PATRÓN

Para la muestra patrón se utilizó una relación agua/cemento de 0.54, los resultados se detallan en la siguiente tabla.

Muestra Patrón		
Parámetro	Agregado grueso	Agregado fino
% Humedad	0.90	2.03
% Absorción	2.13	2.61
Estado SSS	993.32	663.46
Estado seco	972.59	646.61
Estado natural	981.39	659.76
Cemento	398.74	
Agua neta	215.32	
Agua de mezcla	230.96	

Tabla 26. Resumen características agregados muestra patrón.

Los valores obtenidos para la muestra patrón correspondientes al porcentaje de humedad y el porcentaje de absorción, cumplen con los parámetros establecidos en el método del ACI.

Parámetro	Cantidad
Relación agua/cemento	0.54
No. Cilindros de hormigón	5
Volumen de hormigón a mezclar (m ³)	0.03
Agua neta (kg)	6.04
Agua de mezcla (kg)	6.48
Cemento (kg)	11.18
Agregado fino (kg)	18.50
Agregado grueso (kg)	27.52

Tabla 27. Resumen cantidades utilizadas para muestra patrón.

4.4.3. RESULTADOS DE ENSAYOS PARA DOSIFICACIÓN DE MUESTRA PATRÓN

Probeta No.	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
Identificación de la probeta	M1	M2	M3	M4
Descripción A/C	0.54	0.54	0.54	0.54
Dureza neopreno	50	50	50	50
Fecha de fabricación	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024
Fecha de ensayo	24/6/2024	15/7/2024	15/7/2024	15/7/2024
Hora de ensayo	12:18	13:26	13:45	14:08
Edad (días)	7	28	28	28
Desviación de la superficie de carga (mm)	0.35	0.40	0.40	0.30
Desviación al eje transversal de la probeta (mm)	0	0	0	0
Desviación al eje longitudinal de la probeta (mm)	0	0	0	0
Diámetro 1 (mm)	151.44	153.57	151.94	150.19
Diámetro 2 (mm)	152.11	153.80	153.39	150.80
Diámetro promedio (mm)	151.80	153.60	152.60	150.40
Relación entre diámetros (%)	0.44	0.15	0.95	0.41
Altura promedio (mm)	301	300	304	302
Relación H/D	1.98	1.95	1.99	2.01
Área (mm ²)	18098.12	18529.87	18289.38	17765.83
Volumen (m ³)	0.0054	0.0056	0.0056	0.0054
Masa (kg)	12.35	12.93	12.82	12.58
Peso unitario (kg/m ³)	2270	2330	2310	2340
Carga máxima (KN)	233.5	394.7	359.7	366.3
Factor de corrección	1	1	1	1
Resistencia a la Compresión (MPa)	12.9	21.3	19.7	20.6
Resistencia a la Compresión (kg/cm²)	131.58	217.26	200.94	210.12
Tipo de Falla	5	4	4	4

Tabla 28. Resultados de la muestra patrón.

Al obtener los resultados de la dosificación en la muestra patrón a los 7 y 28 días, se puede observar que la resistencia del hormigón a los 7 días alcanza un 62.66% de su resistencia y a los 28 días el 99.73% de su resistencia, dando como válidas las dosificaciones de los materiales calculados para una resistencia de 210 kg/cm² en el laboratorio.

4.4.4. DOSIFICACIÓN CON MATERIAL RECICLADO

De igual forma para este estudio se realizó tres diseños de mezclas en donde se utilizó el material reciclado (adoquín triturado) en un porcentaje del 4%, 8% y 12% respectivamente, el mismo que reemplazará al agregado fino en la mezcla del hormigón. En la siguiente tabla se presenta las características de los agregados incluido el material reciclado (adoquín triturado).

% Reciclado	4% - 8% - 12%	
	Agregado grueso	Agregado fino
% Humedad	0.90	2.03
% Absorción	2.13	2.61
Estado SSS	671.69	1007.54
Estado seco	657.67	981.95
Estado natural	663.62	1001.92
Cemento	398.74	
Agua neta	215.32	
Agua de mezcla	229.01	

Tabla 29. Resumen características agregados reciclados.

Los valores obtenidos en la inclusión del material reciclado (adoquín triturado) en los porcentajes de 4%, 8% y 12% respectivamente, corresponden al porcentaje de humedad y el porcentaje de absorción, que cumplen con los parámetros establecidos en el método del ACI.

Parámetro	Cantidad	Cantidad	Cantidad
	4%	8%	12%
Relación agua/cemento	0.54	0.54	0.54
No. Cilindros de hormigón	5	5	5
Volumen de hormigón a mezclar (m ³)	0.028	0.028	0.028
Agua neta (kg)	6.04	6.04	6.04
Agua de mezcla (kg)	6.42	6.42	6.42
Cemento (kg)	11.18	11.18	11.18
Agregado fino (kg)	26.97	25.84	24.72
Material reciclado	1.12	2.25	3.37
Agregado grueso (kg)	18.61	18.61	18.61

Tabla 30. Resumen cantidades utilizadas para cada porcentaje con inclusión del material reciclado.

4.4.5. RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS DOSIFICACIONES CON MATERIAL RECICLADO

Transcurrido el tiempo de fraguado, se procede a realizar los ensayos a los 7 y 28 días para obtener resistencias con el material reciclado (adoquín triturado) con los porcentajes 4%, 8% y 12% respectivamente como se observa en la Tabla 31.

Probeta N°:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Identificación de la probeta*	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
Descripción	4%	8%	12%	4%	4%	4%	8%	8%	8%	12%	12%	12%
Dureza Neopreno	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Fecha de fabricación	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024	17/6/2024
Fecha de ensayo	24/6/2024	24/6/2024	24/6/2024	25/6/2024	25/6/2024	25/6/2024	25/6/2024	25/6/2024	25/6/2024	25/6/2024	25/6/2024	25/6/2024
Hora de ensayo	12:22	12:26	12:30	13:26	13:45	14:08	13:26	13:45	14:08	13:26	13:45	14:08
Edad (días)	7	7	7	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Desviación de la superficie de carga (mm)	0.4	0.4	0.3	0.4	0.35	0.4	0.4	0.35	0.4	0.4	0.4	0.3
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)	152.58	152.00	152.00	153.94	154.41	151.83	150.24	150.35	153.28	153.02	154.94	151.36
Diámetro 2 (mm)	152.57	152.48	151.57	154.43	154.24	151.67	151.19	152.06	152.51	155.33	153.78	150.53
Diámetro promedio (mm)	152.60	152.20	151.80	154.20	154.40	151.80	150.80	151.20	152.80	154.20	154.40	151.00
Relación entre diámetros (%)	0.01	0.32	0.28	0.32	0.11	0.11	0.63	1.14	0.5	1.51	0.75	0.55
Altura promedio (mm)	301	301	301	306	300	301	302	307	303	300	307	305
Relación H/D	1.97	1.98	1.98	1.98	1.94	1.98	2.00	2.03	1.98	1.95	1.99	2.02
Área (mm²)	18289.38	18193.62	18098.12	18674.91	18723.39	18098.12	17860.46	17955.33	18337.35	18674.91	18723.39	17907.86
Volumen (m³)	0.0055	0.0055	0.0054	0.0057	0.0056	0.0054	0.0054	0.0055	0.0056	0.0056	0.0057	0.0055
Masa (kg)	12.80	12.60	12.42	13.26	13.03	12.58	12.44	13.09	12.92	12.84	13.23	12.71
Peso unitario (kg/m³)	2330	2300	2280	2320	2320	2310	2370	2330	2290	2290	2300	2330
Carga máxima (KN)	281.5	273.1	245.6	438.9	479.1	438.2	382.5	470.3	440.4	385.3	419.9	383.4
Factor de corrección	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Resistencia a la Compresión (MPa)	15.4	15.0	13.6	23.5	25.6	24.2	21.4	26.2	24.0	20.6	22.4	21.4
Resistencia a la Compresión (kg/cm²)	157.08	153.00	138.72	239.70	261.12	246.84	218.28	267.24	244.80	210.12	228.48	218.28
Tipo de Falla	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	4	4

Tabla 31. Resistencias de las dosificaciones con varias relaciones agua/cemento.

4.4.6. CÁLCULO DEL PROMEDIO EN LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS PARA (4%, 8% y 12%) DEL MATERIAL RECICLADO Y LA MUESTRA PATRÓN (MP).

Para el cálculo de la muestra patrón, utilizamos los valores obtenidos en la Tabla 28. del ensayo para la dosificación del hormigón.

$$(MP) = \frac{M_2 + M_3 + M_4}{3} = \frac{21.3 + 19.7 + 20.6}{3} = 20.53 \text{ MPa}$$

$$(MP) = \frac{M_4 + M_5 + M_6}{3} = \frac{217.26 + 200.94 + 210.12}{3} = 209.44 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Para el cálculo del material reciclado (adoquín triturado) en porcentajes del 4%, 8% y 12%, utilizamos los valores obtenidos en la Tabla 31. del ensayo para la dosificación del hormigón.

$$(4\%) = \frac{M_4 + M_5 + M_6}{3} = \frac{23.5 + 25.6 + 24.2}{3} = 24.43 \text{ MPa}$$

$$(4\%) = \frac{M_4 + M_5 + M_6}{3} = \frac{239.70 + 261.12 + 246.84}{3} = 249.22 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$(8\%) = \frac{M_7 + M_8 + M_9}{3} = \frac{21.4 + 26.2 + 24.0}{3} = 23.87 \text{ MPa}$$

$$(8\%) = \frac{M_7 + M_8 + M_9}{3} = \frac{218.28 + 267.24 + 244.80}{3} = 243.44 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$(12\%) = \frac{M_{10} + M_{11} + M_{12}}{3} = \frac{20.6 + 22.4 + 21.4}{3} = 21.47 \text{ MPa}$$

$$(12\%) = \frac{M_{10} + M_{11} + M_{12}}{3} = \frac{210.12 + 228.48 + 218.28}{3} = 218.96 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

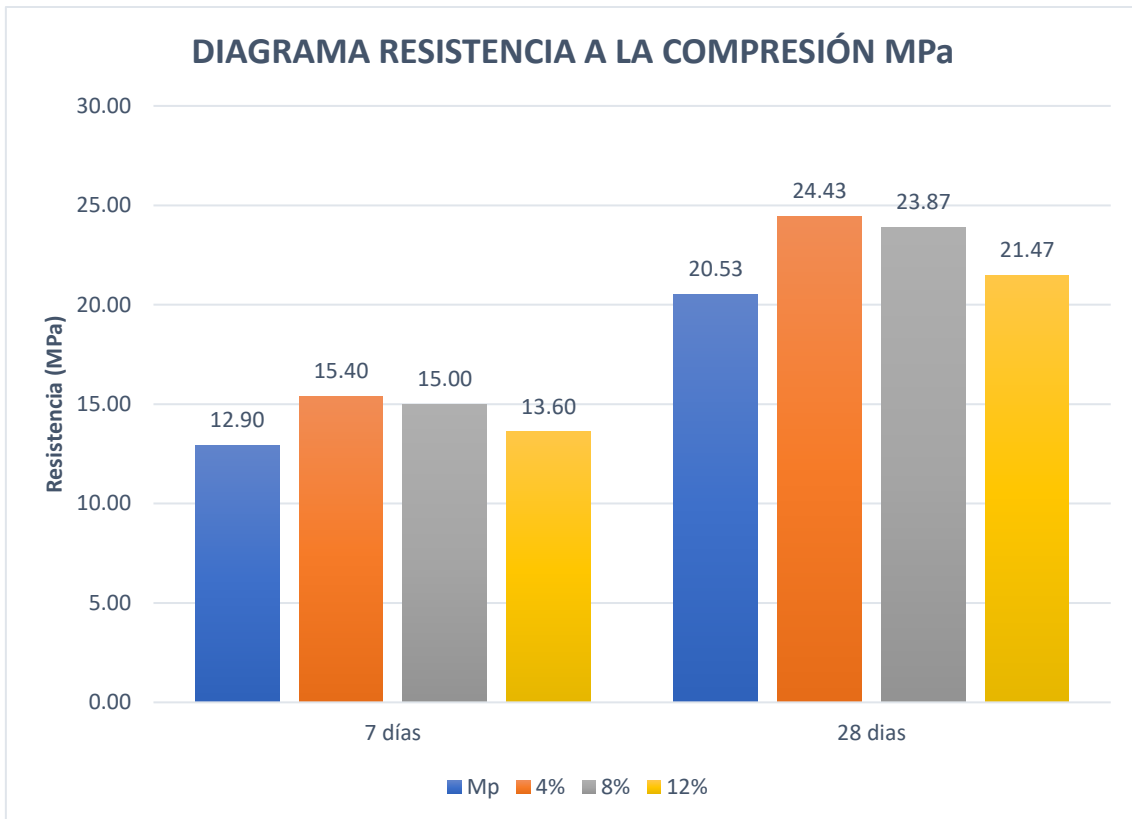
Los valores promedios de la resistencia a la compresión del material reciclado (adoquín triturado) en porcentajes del 4%, 8% y 12% y de la muestra patrón (MP), se resume en la Tabla 32.

Porcentaje de sustitución	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
MP	20.53	209.44
4%	24.43	249.22
8%	23.87	243.44
12%	21.47	218.96

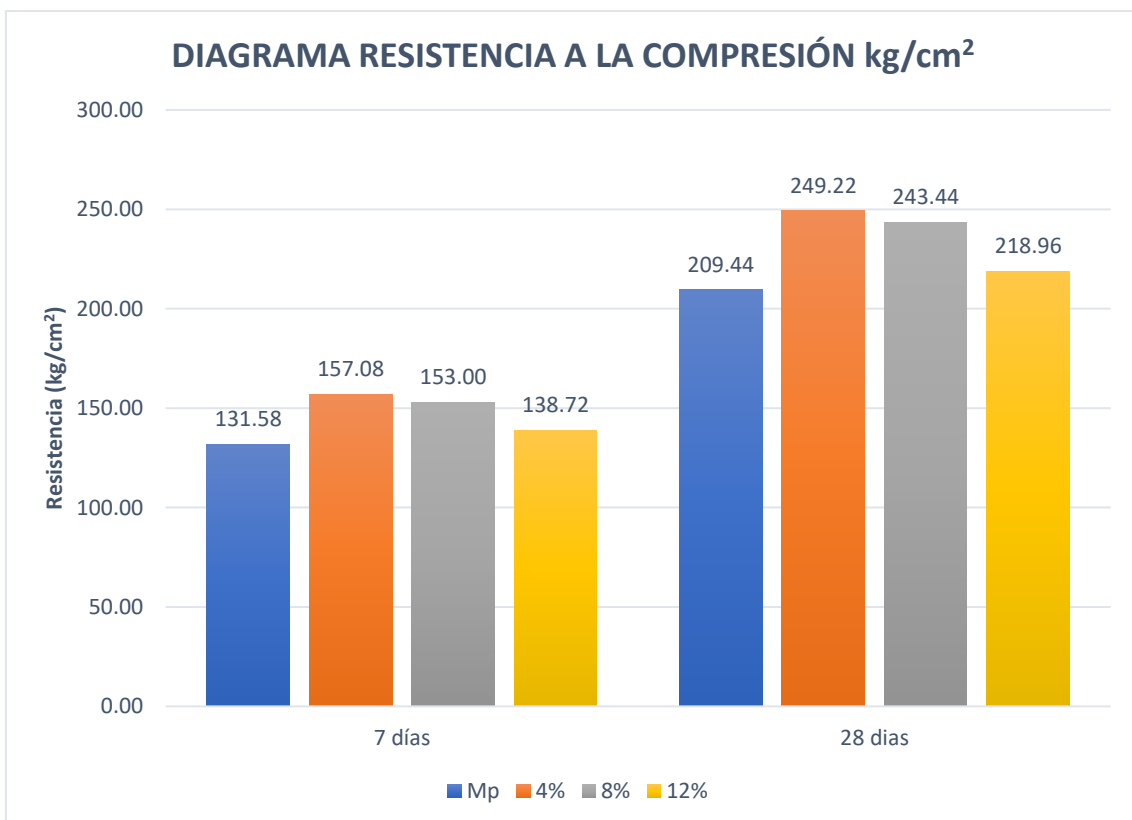
Tabla 32. Resumen de resultados de resistencias a la compresión.

En los siguientes gráficos de barras, se compara los resultados obtenidos en la resistencia a la compresión del material reciclado (adoquín triturado) en los porcentajes 4%, 8% y 12% y de la muestra patrón (MP).

4.4.7. GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LOS RESULTADOS



Gráfica 5. Resistencia a la compresión MPa.



Gráfica 6. Resistencia a la compresión kg/cm².

Luego de obtener los resultados de resistencias a la compresión para la muestra patrón (209.44 kg/cm²) y para los porcentajes de (4%=249.22 kg/cm², 8%=243.44 kg/cm² y 12%=218.96 kg/cm²) del material reciclado (adoquín triturado), la inclusión de adoquines reciclados en el diseño del hormigón es una solución técnica viable para alcanzar la resistencia necesaria en hormigones de f'c=210 kg/cm², cuando se incluye un material con mejores características hace que baje el contenido de agua/cemento y aumente la resistencia a la compresión del hormigón, como se observa en la gráfica 6.

4.5. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL

Después de realizados los ensayos en el laboratorio de la PUCE y obtenidos los resultados, se procedió a determinar el módulo de elasticidad experimental mediante las ecuaciones establecidas en el capítulo II apartado 2.2.9.

4.5.1. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MUESTRA PATRÓN EXPERIMENTAL

Los valores obtenidos del módulo de elasticidad para la muestra patrón, son tomados de las curvas Esfuerzo-Deformación de las gráficas 16, 17 y 18 que se encuentran en el capítulo Anexos apartado 7.2.

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)
0.54	1	14716.21	150105.34	13786.86	140626.02
	2	13579.49	138510.84		
	3	13064.89	133261.88		

Tabla 33. Módulo de elasticidad de la muestra patrón.

El módulo de elasticidad promedio de la muestra patrón es de 13786.86 MPa que equivale a 140626.02 kg/cm²; valor que deberá ser comparado con los módulos de elasticidad obtenidos de los cilindros con material reciclado.

4.5.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD INCLUIDO MATERIAL RECICLADO EXPERIMENTAL

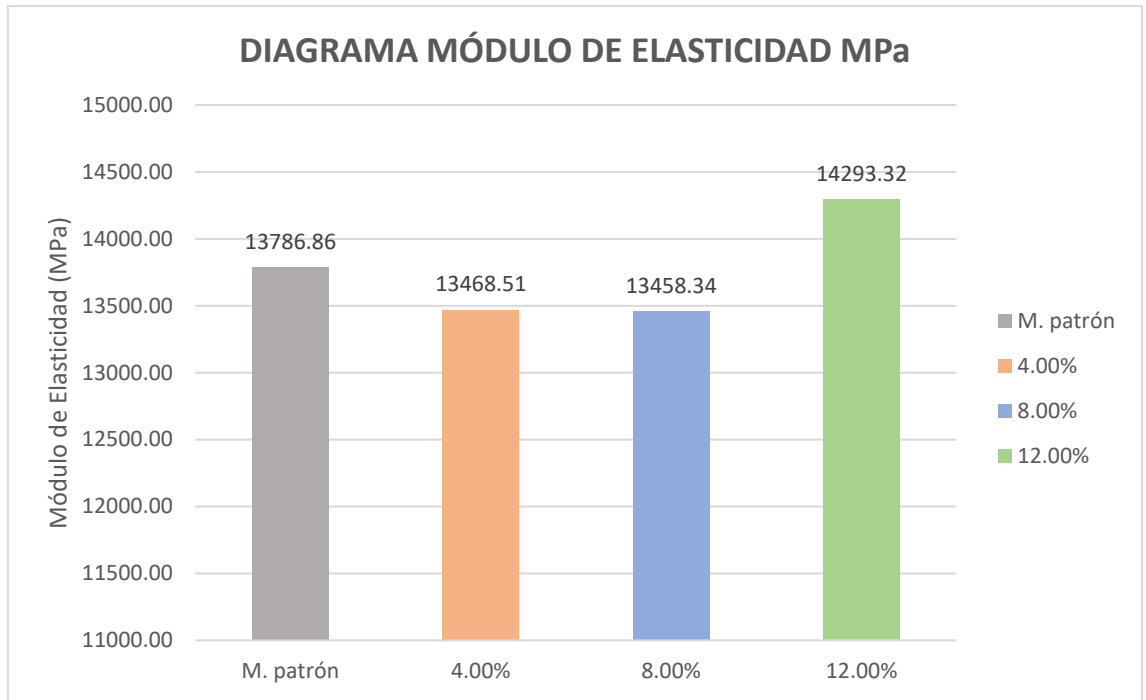
En la Tabla 34. se observa los valores de los módulos de elasticidad correspondientes a los porcentajes 4%, 8% y 12% del material reciclado, obtenidos de las curvas Esfuerzo-Deformación de las gráficas 20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 29 y 30 que se encuentran en el capítulo Anexos apartado 7.4, 7.6 y 7.8 respectivamente.

Porcentaje de sustitución	No. Cilindros	Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (kg/cm ²)
4%	1	13270.78	135361.91	13468.51	137378.85
	2	13735.77	140104.87		
	3	13399.00	136669.75		
8%	1	13150.53	134135.38	13458.34	137275.11
	2	13781.75	140573.82		
	3	13442.76	137116.13		
12%	1	13978.00	142575.57	14293.32	145791.90
	2	14559.21	148503.91		
	3	14342.77	146296.22		

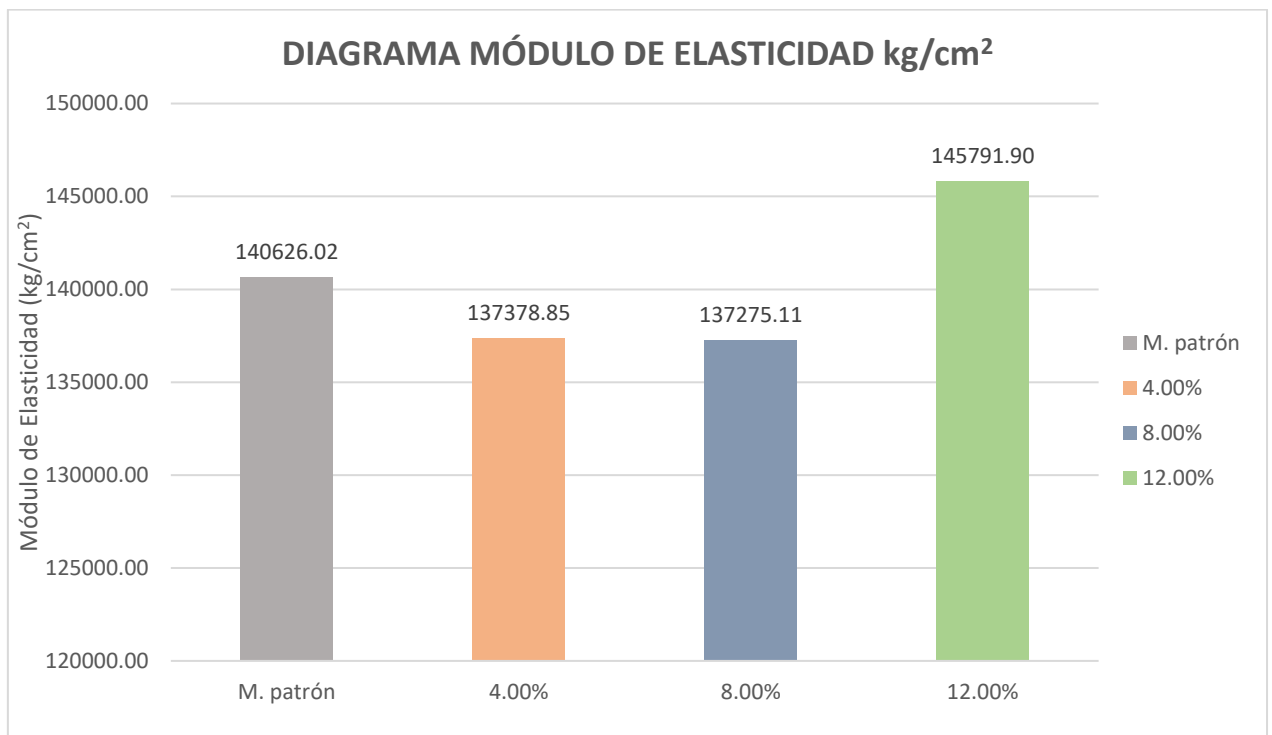
Tabla 34. Módulo de elasticidad incluyendo el material reciclado.

Luego de haber calculado el promedio del módulo de elasticidad para cada uno de los porcentajes que sustituyen al agregado fino, se observa que el porcentaje del 12% de material reciclado, es el que tiene un módulo de elasticidad mayor a los del 4% y 8% respectivamente.

A continuación, se indica las gráficas que corresponden a los módulos de elasticidad con material reciclado y la muestra patrón.



Gráfica 7. Módulo de elasticidad en MPa.



Gráfica 8. Módulo de elasticidad en kg/cm².

4.5.3. CÁLCULO DEL FACTOR DE MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL

Para determinar el cálculo del factor del módulo de elasticidad, se utilizará la ecuación del American Concret Institute - ACI.

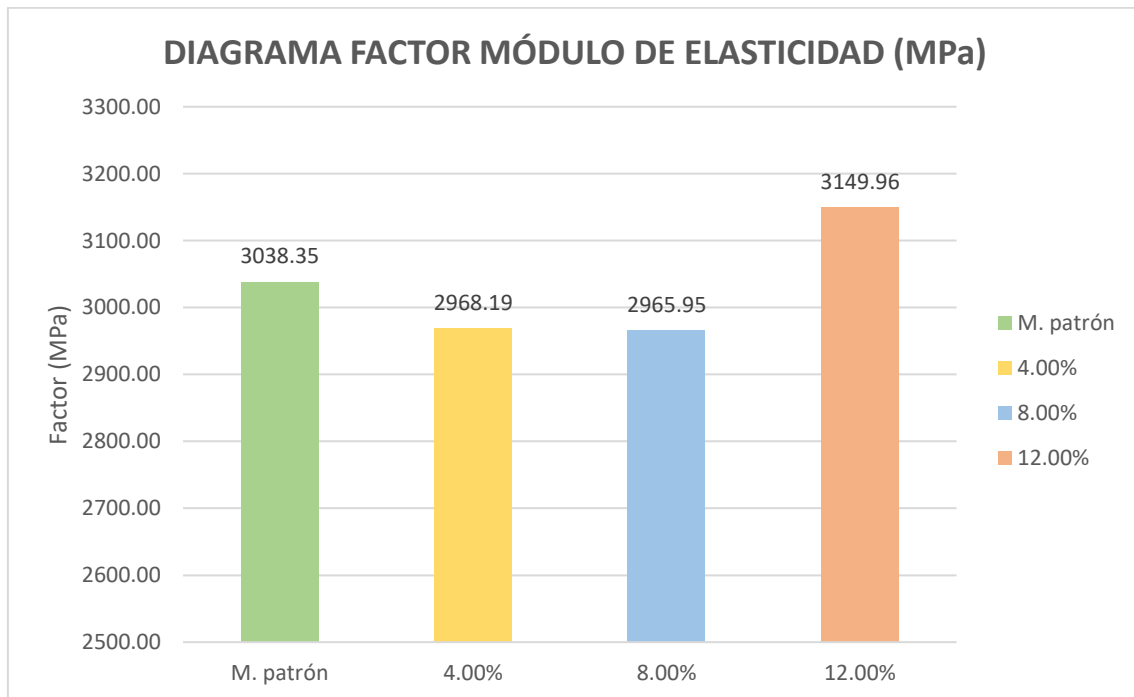
$$E = factor * \sqrt{f'c}$$

Despejando el factor tendremos:

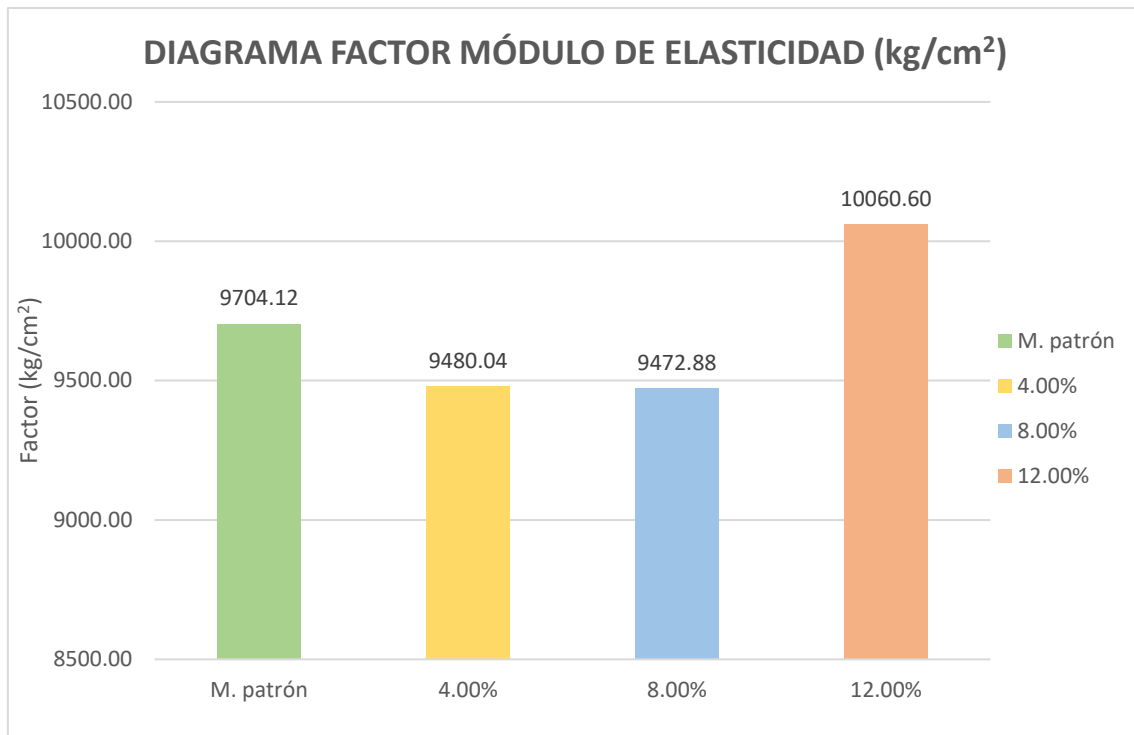
$$factor = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

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)
MP	20.59	210	13786.86	140626.02	3038.35	9704.12
4%	20.59	210	13468.51	137378.85	2968.19	9480.04
8%	20.59	210	13458.34	137275.11	2965.95	9472.88
12%	20.59	210	14293.32	145791.90	3149.96	10060.60

Tabla 35. Factores módulo de elasticidad.



Gráfica 9. Factor módulo de elasticidad MPa.



Gráfica 10. Factor módulo de elasticidad kg/cm².

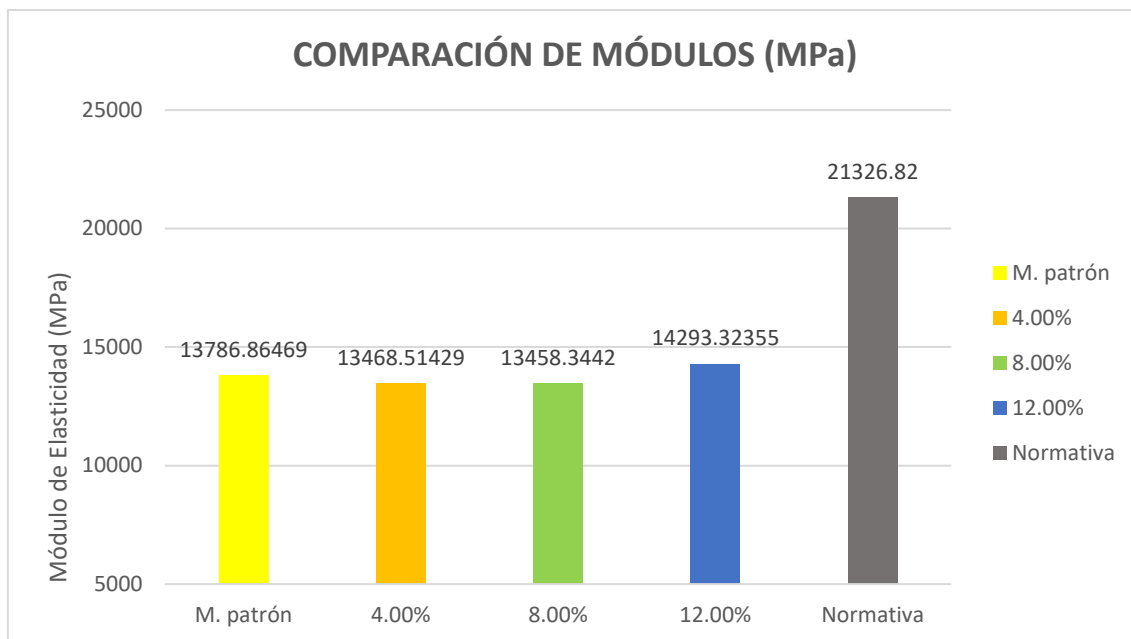
De los resultados obtenidos en la tabla 35. se determina que el factor del módulo de elasticidad (valor más alto) se encuentra en el porcentaje 12% de material reciclado, y que corresponde al valor de 10060.60 kg/cm² (3149.96 MPa).

4.5.4. RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTAL

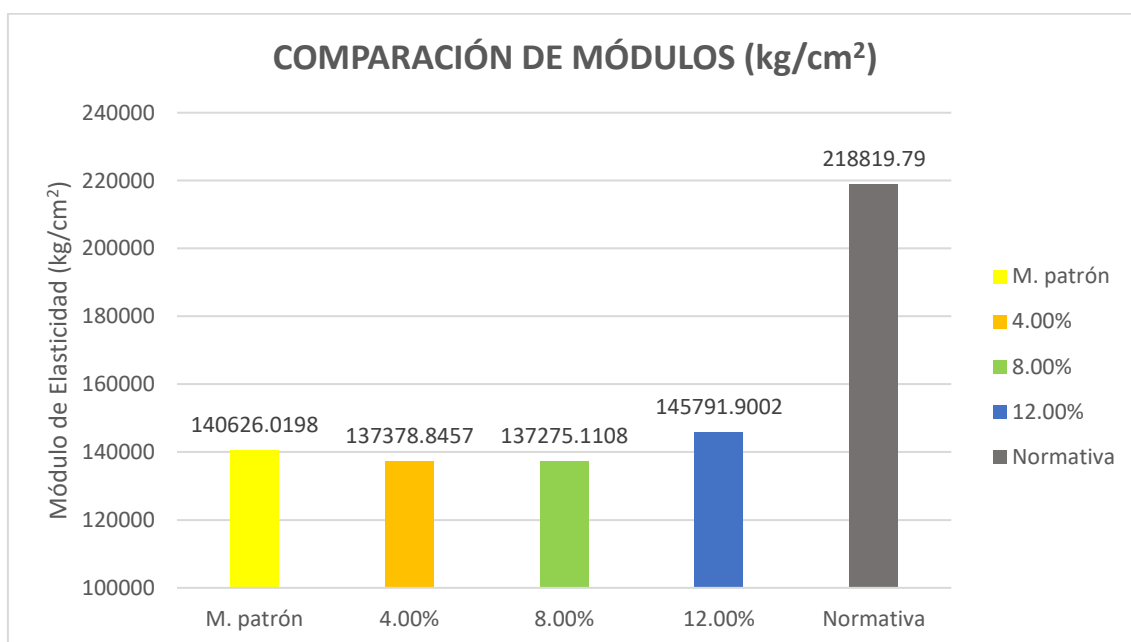
Descripción	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	Diferencia %
Normativa	20.59	210	21326.82	218819.79	
Muestra Patrón			13786.86	140626.02	35.73
4%			13468.51	137378.85	37.22
8%			13458.34	137275.11	37.27
12%			14293.32	145791.90	33.37

Tabla 36. Comparación de resultados módulos de elasticidad.

Observando los resultados del módulo de elasticidad que muestra la tabla 36, el valor que más se acerca a los valores obtenidos con las ecuaciones del ACI 318-19 es el correspondiente al 12% del material de reciclaje (adoquín triturado), el cual tiene una diferencia del 33.37%, mientras que los otros módulos de elasticidad supera el 35.73%.



Gráfica 11. Comparación de módulos en MPa.



Gráfica 12. Comparación de módulos en kg/cm².

4.6. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO

La Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC en su apartado 3.3.3. nos indica dos ecuaciones para calcular el módulo de elasticidad del hormigón, basado en el tipo de aplicación deseada (NEC-SE-HM-15, 2015).

La primera ecuación sirve para condiciones de niveles de servicio en elementos a flexión de hormigón.

$$E_c = 1.15 * \sqrt[3]{E_a} * \sqrt{f'_c}$$

Dónde:

E_c = Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa)

E_a = Módulo de elasticidad del agregado (GPa)

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

La segunda ecuación sirve para modelos elásticos del hormigón, esta será calculada para hormigones de densidad normal.

$$E_c = 4.7 * \sqrt{f'_c}$$

Dónde:

E_c = Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa)

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

En cambio, en el Instituto Americano del Concreto-ACI en su sección 19.2.2 nos mencionan dos ecuaciones para calcular el módulo de elasticidad.

La primera es semejante a la ecuación expresada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

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

Dónde:

E_c = Módulo de elasticidad para el hormigón (MPa)

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

La segunda ecuación utiliza el 45% de su capacidad de la resistencia del hormigón y el peso unitario de cada uno de ellos que estén entre 1440 kg/m³ y 2560 kg/m³ para calcular el módulo de elasticidad.

$$E_c = w^{1.50} * 0.14 * \sqrt{f'_c}$$

Dónde:

w: Módulo de elasticidad del concreto (kg/cm²).

f'c: Resistencia del concreto a compresión (kg/cm²).

Con las ecuaciones dadas por la NEC y el ACI, procedemos a calcular el módulo de elasticidad teórico para las resistencias a la compresión de la muestra patrón y los porcentajes 4%, 8% y 12% del material reciclado (adoquín triturado).

Descripción	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Ecuación NEC-15 (1) (kg/cm ²)	Ecuación NEC-15 (2) (kg/cm ²)	Ecuación de la ACI 318-19 (kg/cm ²)
Muestra Patrón				
M2	217.26	162808.64	221252.319	232087.529
M3	200.94	156574.401	212780.166	220332.826
M4	210.12	160111.032	217586.346	229712.970
4% Material reciclado (adoquín triturado)				
M4	239.7	171010.028	232397.772	242211.093
M5	261.12	178487.427	242559.346	252801.753
M6	246.84	173538.296	235833.617	244204.563
8% Material reciclado (adoquín triturado)				
M7	218.28	163190.372	221771.083	229642.876
M8	267.24	180566.963	245385.375	264059.190
M9	244.8	172819.708	234857.077	246358.541
12% Material reciclado (adoquín triturado)				
M10	210.12	160111.032	217586.346	222389.847
M11	228.48	166959.700	226893.492	233423.128
M12	218.28	163190.372	221771.083	232631.698

Tabla 37. Módulos de elasticidad teórico en kg/cm².

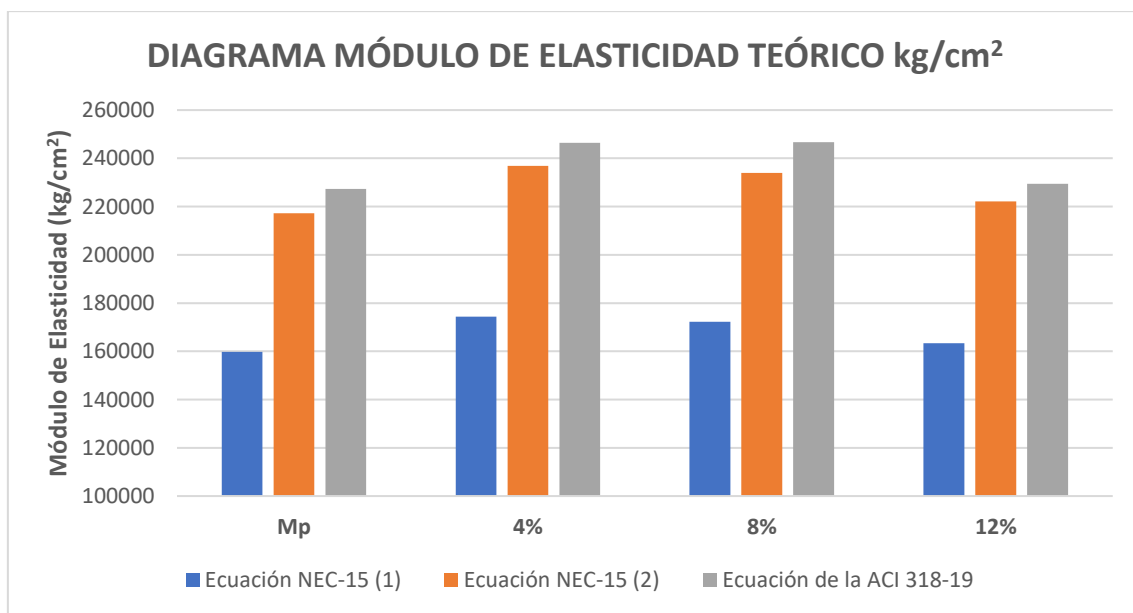
4.6.1. MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO TEÓRICO DE LA MUESTRA PATRÓN Y LOS PORCENTAJES 4%, 8% y 12% DEL MATERIAL RECICLADO (ADOQUÍN TRITURADO).

En la tabla 38. se observa los valores promedio de los módulos de elasticidad teóricos obtenidos de las ecuaciones NEC-15 y ACI 318-19.

Descripción	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Ecuación NEC-15 (1) (kg/cm ²)	Ecuación NEC-15 (2) (kg/cm ²)	Ecuación de la ACI 318-19 (kg/cm ²)
Muestra Patrón				
Muestra Patrón	209.44	159831.358	217206.277	227377.775
Material reciclado (adoquín triturado) 4%				
4%	249.22	174345.251	236930.245	246405.803
Material reciclado (adoquín triturado) 8%				
8%	243.44	172192.348	234004.511	246686.869
Material reciclado (adoquín triturado) 12%				
12%	218.96	163420.368	222083.64	229481.557

Tabla 38. Módulos de elasticidad teórico promedio en kg/cm².

En la gráfica 13. se observa los valores de los módulos de elasticidad teóricos obtenidos de las ecuaciones proporcionadas por la NEC-15 y ACI 318-19.



Gráfica 13. Módulo de elasticidad teórico en kg/cm².

Luego de haber calculado el promedio para cada uno de los valores del módulo de elasticidad teórico, se observa que los valores calculados con las ecuaciones NEC-15 y ACI 318-19 correspondientes a los porcentajes 4%, 8% y 12% son mayores que los valores de la muestra patrón, esto se debe a que las resistencias a la compresión del 4%, 8% y 12% del material reciclado, fueron más altos a los valores de la muestra patrón.

4.6.2. CÁLCULO DEL FACTOR DE MÓDULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO

Para determinar el cálculo del factor del módulo de elasticidad, se utilizará la ecuación del American Concret Institute-ACI.

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

Despejando el factor tendremos:

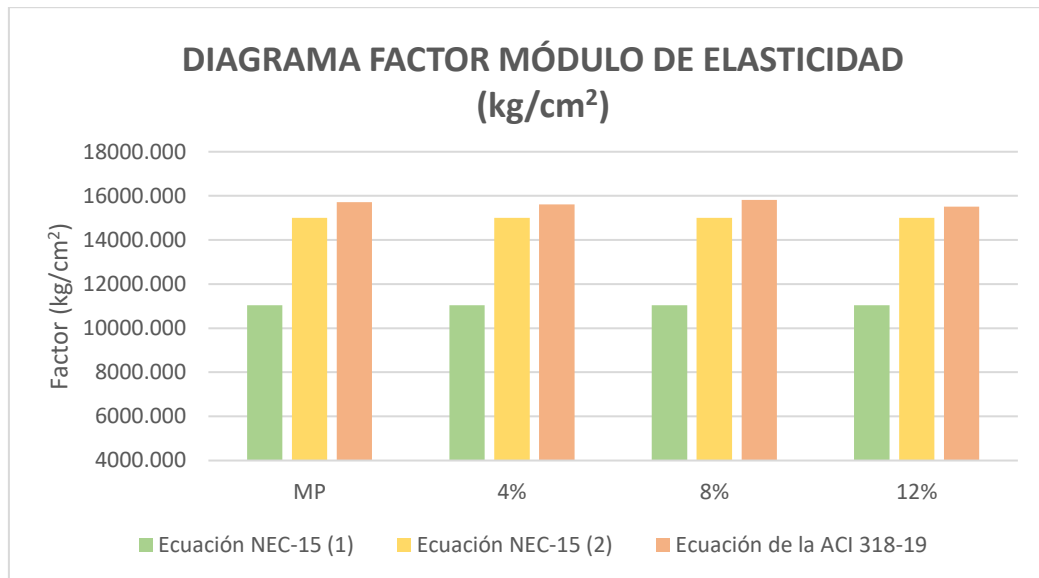
$$factor = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

Descripción	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Ecuación NEC-15 (1) Factor (1)	Ecuación NEC-15 (2) Factor (2)	Ecuación de la ACI 318-19 Factor (3)
Muestra Patrón				
Muestra Patrón	209.440	11044.147	15008.682	15711.520
Material reciclado (adoquín triturado) 4%				
4%	249.220	11043.804	15008.216	15608.440
Material reciclado (adoquín triturado) 8%				
8%	243.440	11036.157	14997.824	15810.662
Material reciclado (adoquín triturado) 12%				
12%	218.960	11043.934	15008.392	15508.343

Tabla 39. Factores módulos de elasticidad teórico en kg/cm².

Con los factores de los módulos de elasticidad teórico calculados, podemos observar que en la ecuación de la NEC-15 (1), los factores quedan muy por debajo del

valor de 15100 que nos indica en la misma norma, en cambio los factores obtenidos en la ecuación de la NEC-15 (2), están más cercanos al valor indicado en la norma y con la ecuación ACI 318-19, sobrepasan del valor proporcionado por la misma norma.



Gráfica 14. Factor módulo de elasticidad teórico en kg/cm².

4.7. ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

La ecuación del módulo de elasticidad se determina de los resultados obtenidos de los ensayos para la muestra patrón y para los porcentajes del 4%, 8% y 12% del material reciclado (adoquín triturado).

Ecuaciones módulo de elasticidad experimental en MPa	
$E = 4700.00 * \sqrt{f'c}(MPa)$	Módulo de elasticidad normativa
$E = 3038.35 * \sqrt{f'c}(MPa)$	Módulo de elasticidad muestra patrón
$E = 2968.19 * \sqrt{f'c}(MPa)$	Módulo de elasticidad 4%
$E = 2965.95 * \sqrt{f'c}(MPa)$	Módulo de elasticidad 8%
$E = 3149.96 * \sqrt{f'c}(MPa)$	Módulo de elasticidad 12%

Tabla 40. Ecuaciones módulos de elasticidad experimental en MPa.

Ecuaciones módulo de elasticidad experimental	
$E = 15100.00 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Módulo de elasticidad normativa
$E = 9704.12 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Módulo de elasticidad muestra patrón
$E = 9480.04 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Módulo de elasticidad 4%
$E = 9472.88 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Módulo de elasticidad 8%
$E = 10060.59 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	Módulo de elasticidad 12%

Tabla 41. Ecuaciones módulos de elasticidad experimental en kg/cm²

Se observa que los factores de los cilindros con material reciclado (adoquín triturado) son cercanos a los de la muestra patrón, pero ninguno de los casos supera al factor indicado por la ACI 318-19.

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

- Luego de determinar los resultados de las ecuaciones de los módulos de elasticidad para la muestra patrón y para los porcentajes del 4%, 8% y 12% del material reciclado (adoquín triturado) como se puede observar en la tabla 38, se puede concluir que la ecuación que más se acerca a la indicada por el ACI 318-19 $E = 15100.00 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$, es la ecuación del módulo de elasticidad con el 12% de material reciclado $E = 10060.59 * \sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$, cuyo resultado refleja una diferencia de $5039.10 \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$. Este resultado muestra que los agregados extraídos de la mina en estudio varían en la calidad y característica con respecto a los agregados utilizados en el ACI 318-19.
- Después de realizar los ensayos y analizar los resultados obtenidos en el laboratorio correspondiente a los agregados gruesos y finos provenientes de la mina La Revilla S.A., podemos concluir que cumplen con los parámetros y límites establecidos en la norma ASTM e INEN como se puede observar en las tablas y anexos que fueron aplicados en el proyecto.
- Luego de obtener los resultados de resistencias a la compresión para la muestra patrón (209.82 kg/cm^2) y para los porcentajes del (4%= 249.71 kg/cm^2 , 8%= 243.92 kg/cm^2 y 12%= 219.39 kg/cm^2) del material reciclado (adoquín triturado) como se observa en la tabla 31., se concluye que la inclusión de adoquines reciclados en el diseño del hormigón, es una solución técnica viable para alcanzar la resistencia necesaria en hormigones de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, promoviendo así prácticas sostenibles en el sector de la construcción.

- Los resultados del estudio confirman que, al incorporar un 12% de material reciclado adoquín, el hormigón alcanza una resistencia a la compresión adecuada, lo cual valida su aplicación en estructuras sometidas a cargas moderadas.
- Las dosificaciones probadas muestran que es posible alcanzar propiedades mecánicas adecuadas sin depender exclusivamente de agregados convencionales, lo cual abre nuevas oportunidades para ajustar los diseños de mezclas en función de los materiales disponibles.
- Se concluye que al incorporar materiales de alta rigidez como el material reciclado (adoquín), el hormigón presenta una rigidez adecuada para estructuras sismo-resistentes en Ecuador, contribuyendo a la seguridad estructural en zonas sísmicas.
- La investigación demuestra que es posible elaborar hormigones con una resistencia adecuada ($f'c=210 \text{ kg/cm}^2$) utilizando material reciclado (adoquín) y agregados de la mina "Revilla S.A". esto ofrece una solución sostenible para la reutilización de desechos de construcción, disminuyendo el impacto ambiental asociado a la disposición inadecuada de escombros.
- El diseño de mezclas basado en el método ACI permitió una dosificación precisa de los materiales, lo cual es crucial para alcanzar las propiedades deseadas del hormigón, especialmente en términos de resistencia a compresión.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar este tipo de hormigón en proyectos de obras públicas, para fomentar el uso de materiales reciclados a gran escala.
- Se recomienda integrar al estudio la aplicación de materiales reciclados en hormigón en programas académicos y de formación técnica, creando conciencia y habilidades en futuros profesionales, debido a que no se tiene mucha

información con respecto a la implementación de materiales reciclados en la dosificación del hormigón.

- Se recomienda explorar otros materiales reciclables, como residuos de demolición y otros escombros de construcción, para expandir las posibilidades de uso de agregados reciclados en el hormigón, aumentando así la sostenibilidad.
- Se recomienda llevar a cabo un análisis de costos comparativos en proyectos que utilicen hormigón reciclado versus hormigón convencional, permitiendo cuantificar el ahorro económico y facilitando la adopción de esta práctica en la industria.
- Se recomienda promover la adopción de materiales reciclados en proyectos públicos para minimizar el uso de recursos naturales y reducir el impacto ambiental.
- Se recomienda realizar estudios adicionales con distintos porcentajes de material reciclado para explorar un rango más amplio de propiedades mecánicas en hormigones reciclados, y determinar configuraciones óptimas para diversas aplicaciones estructurales.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI318-19. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI318-19)*. American Concrete Institute.
https://doi.org/https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/318-19_preview.pdf
- American Concrete Institute. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)*. ACI Ecuador Chapter.
https://doi.org/https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/318-19_preview.pdf
- ASTM C 469/C469M-22. (2022). *Método de Ensayo Estándar para determinar el Módulo de elasticidad Estático y Relación de Poisson del concreto a compresión*. ASTM International.
https://doi.org/https://www.astm.org/c0469_c0469m-22.html
- ASTM C1064. (2022). *Método de Ensayo Normalizado para determinar la temperatura del hormigón fresco con Cemento Portland*. ASTM.
<https://doi.org/https://es.scribd.com/document/358667300/ASTM-C-1064-01-pdf>
- ASTM C127. (1993). *Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate*. American Society for Testing and Materials.
https://doi.org/https://www.academia.edu/36570885/Standard_Test_Method_for_Specific_Gravity
- ASTM C138. (2024). *Método de ensayo estándar para: Densidad, Volumen, Contenido de Aire en una Mezcla de Concreto*. ASTM.
<https://doi.org/https://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-138-01-aashto-no-t.html>
- ASTM C143. (2003). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. En A. C143, *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete* (págs. 1-4). ASTM International.
- ASTMC39/C39M. (2018). *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. ASTM International.
<https://doi.org/https://la.astm.org/es/standards/>
- NTE INEN 2566. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana: Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo*. INEN.
<https://doi.org/https://es.scribd.com/document/177808958/NORMA-2566-H>
- NTE INEN 695. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 695: Áridos Muestreo*. INEN.
<https://doi.org/https://ia802909.us.archive.org/25/items/ec.nte.0696.2011/ec.nte.0696.2011.pdf>
- NTE INEN 696. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 696: Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso*. INEN.
<https://doi.org/https://ia802909.us.archive.org/25/items/ec.nte.0696.2011/ec.nte.0696.2011.pdf>

- NTE INEN 698. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 698. Áridos Para Hormigón. Determinación del Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Desmenuzables*. INEN.
<https://doi.org/https://es.scribd.com/document/396865753/n-te-inen-698-1-ARIDOS-PARA-EL-HORMIGON-DETERMINACION-CONTENIDO-DE-ARCILLA-pdf>
- NTE INEN 856. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana. Áridos. Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción en Árido Fino*. INEN.
<https://doi.org/https://archive.org/details/ec.nte.0856.2010/page/n1/mode/1up>
- NTE INEN 857. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 587: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso*. INEN.
<https://doi.org/https://ia902907.us.archive.org/27/items/ec.nte.0857.2010/ec.nte.0857.2010.pdf>
- NTE INEN 858. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 858. Áridos. Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) y Porcentaje de Vacíos*. INEN.
https://doi.org/https://www.academia.edu/16107439/NTE_INEN_0858_Áridos_Determinación_de_la_masa_unitaria_peso_volumétrico_y_el_porcentaje_de_vacíos
- NTE INEN 860. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 861. Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.50mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. INEN.
<https://doi.org/https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/861-normas-n-te-inen-861-para-los-ensayos-respectivos-de-los-agregados-gruesos-y/31180408>
- NTE INEN 862. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 862. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. INEN.
<https://doi.org/https://archive.org/details/ec.nte.0862.2011/mode/1up>
- NTE INEN 872. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 872. Áridos Para Hormigón*. INEN. <https://doi.org/https://studylib.es/doc/4495341/n-te-inen-0872-áridos-para-hormigón.-requisitos>
- American Society for Testing and Materials . (2001). *Método Estándar para la Determinación de la Gravedad Específica y Absorción de los Agregados*. ASTM C 127.
- 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.
- 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 hormigón*. Universidad Internacional del Ecuador, Quito.

- 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.
- Ronquillo, G., & Verdugo, M. (2019). *Uso de hormigones reciclados de residuos de construcción y demolición como agregados para hormigón*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil.
- Structuralia. (2018, Mayo 18). *Structuralia*. Retrieved from <https://blog.structuralia.com/el-reciclado-del-hormigon-y-sus-enormes-ventajas-medioambientales>
- CELAEP, A. O. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Otavalo - Provincia de Imbabura*. Obtenido de <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes-programas/PDOT/Cantonal/PDOT%2520OTAVALO.pdf>
- Anasi. (2013). *Módulo estático de elasticidad del hormigón*. Quito.
- ASOCRETO. (2010). *Tecnología del concreto*. Colombia.
- C31, A. (2002). *Práctica Normalizada para Preparación y Curado*.
- Caballero. (2013). *Definición de Contenido de Humedad*.
- Portland Cement Association. (2004). *Diseño y control de Mezclas de Concreto*. Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". (s.f.). *Densidad total (peso unitario) y vacíos en agregados para concreto*.
- NES, A. D. (2012). *Cemento Portland*.
- Niño, J. (2010). *Tecnología del Concreto*. Bogotá: Asocreto.
- Romo, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*. Quito.
- Valladares, A., & Jiménez, H. (2019). *Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad representativo para la Provincia de Pichincha, en muestras de cilindros de hormigón con materiales de la mina de San Antonio de Pichincha*. PUCE-Quito. <https://doi.org/https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/26330>
- Torres, J., Guardo, M., Moira, J., Merlano, O., & Silgado, C. (2018). *Módulo de elasticidad. Resistencia a la compresión del concreto*. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Sánchez D., Chilibingua J., Flores E. & Orosco M. (2020). *Módulo estático de elasticidad del hormigón fabricado con agregados de la mina de San Roque, Imbabura, Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. <https://Vista de Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón Fabricado con Agregados de la Mina de San Roque, Imbabura, Ecuador>.
- Allauca H. (2018). *Determinación del módulo de elasticidad del agregado (E_a), del sector Cerro Negro, cantón Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/UNACH-EC-ING-CIVIL-2018-0017.pdf>

- Calderón J. (2021). *Determinación del módulo de elasticidad del hormigón hidráulico de (f_c 21 y 24) MPa, con árido de la cantera Agre S.A del cantón Portoviejo*. Universidad Estatal Del Sur De Manabí, Manabí.
file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TESIS%20JOFFRE%20CALDERON.pdf
- Borja A., & Guanopatin J. (2022). *Determinación del módulo de elasticidad del hormigón para la región de Quito D.M, utilizando agregados de la mina de Pintag y cemento Selva Alegre con resistencias a la compresión esperadas de 210, 280 y 350 kg/cm²*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
file:///C:/Users/Usuario/Downloads/12.2%20DISERTACI%C3%93N%20PREVI
A%20A%20LA%20OBTENCI%C3%93N%20DEL%20T%C3%8DTULO%20
DE%20INGENIERO%20CIVIL_%20GUANOPATIN%20DENISE_BORJA%2
0ABEL(FINAL).pdf
- Alves H., & Barcelos L. (2022). *Determination of elastic moduli of concrete by Impulse Excitation Technique*. SONELASTIC Advanced Impulse Excitation Technique, Brazil.
file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ITC-07_IET_MOE_Concretes-v-1.2.pdf

7.1.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO

ÁREA DE HORMIGONES

INFORME DE ENSAYO

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: Proyecto de Investigación Jonathan Gabriel Enríquez Sáenz **SOLICITADO POR:** -
LOCALIZACIÓN: PUCE **FISCALIZACIÓN:** -
MUESTRA: Tomada por el Cliente **CONTRATISTA:** -
NORMA ENSAYO: ASTM C 127 **FECHA DE RECEPCIÓN:** -
FECHA DE EMISIÓN: 28/10/2024
CANtera: Mina La Revilla S.A.
LOCALIZACIÓN: Otavalo - Imbabura **ORDEN DE TRABAJO:** -
DESCRIPCIÓN: Diseño de Hormigón

Gravedad específica seca = $A / (B - C)$

Gravedad específica saturada con superficie seca = $B / (B - C)$

Gravedad específica aparente = $A / (A - C)$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	4222.00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	4312.00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2637.00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2.52	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2.57	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2.66	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2.1	%

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

7.1.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO

ÁREA DE HORMIGONES		
INFORME DE ENSAYO		
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO FINO		
PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO		
PROYECTO:	Proyecto de Investigación Jonathan Gabriel Enríquez Sáenz	SOLICITADO POR: -
LOCALIZACIÓN:	PUCE	FISCALIZACIÓN: -
MUESTRA:	Tomada por el Cliente	CONTRATISTA: -
NORMA ENSAYO:	ASTM C 128	FECHA DE RECEPCIÓN: -
		FECHA DE EMISIÓN: 28/10/2024
CANTERA:	Mina La Revilla S.A.	
LOCALIZACIÓN:	Otavalo - Imbabura	ORDEN DE TRABAJO: -
DESCRIPCIÓN:	Diseño de Hormigón	HOJA: 4 de 8
 Gravedad específica seca = $A / (B + S - C)$ Gravedad específica saturada con superficie seca = $S / (B + S - C)$ Gravedad específica aparente = $A / (B + A - C)$ 		
MASA DEL MATRAZ	Mm =	159.40 gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B =	659.40 gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	969.70 gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	500.00 gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	487.30 gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2.57
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2.64
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2.75
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2.6 %
OBSERVACIONES:		
NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.		
 <hr style="width: 20%; margin: auto;"/> 		
RESPONSABLE DE ÁREA		COORDINADOR

7.1.5. GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)

ÁREA DE HORMIGONES

INFORME DE ENSAYO

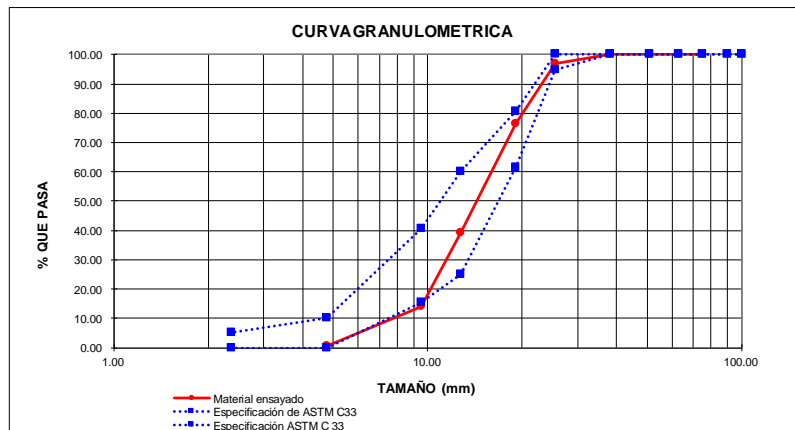
GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)

PROYECTO: Proyecto de Investigación Jonathan Gabriel Enríquez Sáenz **SOLICITADO POR:** -
LOCALIZACIÓN: PUCE **FISCALIZACIÓN:** -
MUESTRA: Tomada por el Cliente **CONTRATISTA:** -
NORMA ENSAYO: ASTM C 136 **FECHA DE RECEPCIÓN:** -
FECHA DE EMISIÓN: 28/10/2024
CANTERA: Mina La Revilla S.A.
LOCALIZACIÓN: Otavalo - Imbabura **ORDEN DE TRABAJO:** -
DESCRIPCIÓN: Diseño de Hormigón

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO: 1 plg
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO: 1 1/2 plg

MASA INICIAL: 1005.50

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	100.00	0	0	0.00	100.00
3 1/2"	90.00	0	0	0.00	100.00
3"	75.00	0	0	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0	0	0.00	100.00
2"	50.80	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0	0	0.00	100.00
1"	25.40	29	29	2.91	97.09
3/4"	19.00	207	237	23.52	76.48
1/2"	12.70	375	612	60.83	39.17
3/8"	9.51	253	865	85.95	14.05
No.4	4.76	134	999	99.30	0.70
Pasa N° 4		7	7		
SUMA		1006	1006		



OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

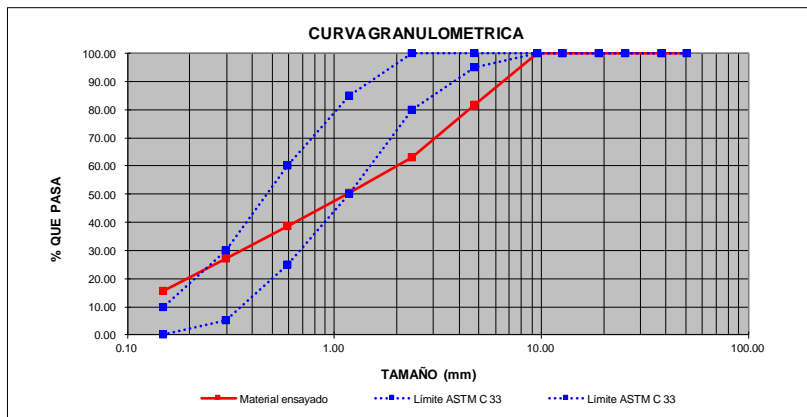
7.1.6. GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO FINO)

ÁREA DE HORMIGONES INFORME DE ENSAYO GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO FINO)

PROYECTO: Proyecto de Investigación Jonathan Gabriel Enríquez Sáenz **SOLICITADO POR:** -
LOCALIZACIÓN: PUCE **FISCALIZACIÓN:** -
MUESTRA: Tomada por el Cliente **CONTRATISTA:** -
NORMA ENSAYO: ASTM C 136 **FECHA DE RECEPCIÓN:** -
FECHA DE EMISIÓN: 28/10/2024
CANTERA: Mina La Revilla S.A.
LOCALIZACIÓN: Otavalo - Imbabura **ORDEN DE TRABAJO:** -
DESCRIPCIÓN: Diseño de Hormigón

MASA INICIAL: 505.70
MODULO DE FINURA: 3.2

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50.80	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0	0	0.00	100.00
1"	25.40	0	0	0.00	100.00
3/4"	19.00	0	0	0.00	100.00
1/2"	12.70	0	0	0.00	100.00
3/8"	9.51	0	0	0.00	100.00
No.4	4.76	91	91	18.36	81.64
No.8	2.36	92	183	36.84	63.16
No.16	1.18	63	246	49.49	50.51
No.30	0.60	60	306	61.57	38.43
No.50	0.30	56	362	72.67	27.13
No.100	0.15	58	420	84.46	15.54
Pasa No. 100		77	77		
SUMA		497	497		



OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

7.1.7. COMBINACIÓN SEGÚN ASTM

ÁREA DE HORMIGONES

PROYECTO: Proyecto de Investigación Jonathan Gabriel Enriquez Sáenz
LOCALIZACIÓN: PUCE
MUESTRA: Tomada por el Cliente
NORMA ENSAYO: ASTM C 29

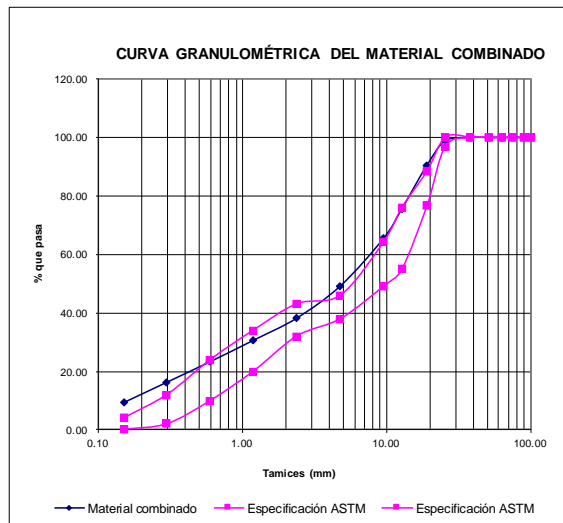
SOLICITADO POR: -
FISCALIZACIÓN: -
CONTRATISTA: -
FECHA DE EMISIÓN: 2024-10-28

CANTERA: Mina La Revilla S.A.
LOCALIZACIÓN: Olavalo - Imbabura
DESCRIPCIÓN: Diseño de Hormigón

ORDEN DE TRABAJO: -

COMBINACIÓN SEGÚN ASTM

Malla		Especificaciones ASTM C33		Ag. Grueso	Ag. Fino	Mezcla de los materiales
		Material de tamaño máximo				
plg.	mm	1 plg		% que pasa	% que pasa	
4"	100.00	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00
3 1/2"	90.00	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00
3"	75.00	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.00	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00
2"	50.80	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00
1"	25.40	97.0	100.0	97.09	100.00	98.83
3/4"	19.00	76.8	88.5	76.48	100.00	90.59
1/2"	12.70	55.0	76.0	39.17	100.00	75.67
3/8"	9.51	49.2	64.4	14.05	100.00	65.62
No.4	4.76	38.0	46.0	0.70	81.6	49.26
No.8	2.36	32.0	43.0	0.70	63.2	38.17
No.16	1.18	20.0	34.0	0.70	50.5	30.59
No.30	0.60	10.0	24.0	0.70	38.4	23.33
No.50	0.30	2.0	12.0	0.00	27.1	16.28
No.100	0.15	0.0	4.0	0.00	15.5	9.33



Proporciones de material	
Agregado grueso	40
Agregado fino	60
De la curva granulométrica de la mezcla de los dos materiales se obtienen los siguientes resultados	
% que pasa el tamiz 3/8"	65.6
% que retiene el tamiz 3/8"	34.4

RESPONSABLE DE ÁREA




COORDINADOR

7.1.8. ABRASIÓN E IMPACTO POR LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

ÁREA DE HORMIGONES			
INFORME DE ENSAYO			
ABRASIÓN E IMPACTO POR LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES			
PROYECTO:	Proyecto de Investigación Jonathan Gabriel Enríquez Sáenz	SOLICITADO POR:	-
LOCALIZACIÓN:	PUCE	FISCALIZACIÓN:	-
MUESTRA:	Tomada por el Cliente	CONTRATISTA:	-
NORMA ENSAYO:	ASTM C 131	FECHA DE RECEPCIÓN:	-
		FECHA DE EMISIÓN:	28/10/2024
CANTERA:	Mina La Revilla S.A.		
LOCALIZACIÓN:	Otavalo - Imbabura	ORDEN DE TRABAJO:	-
DESCRIPCIÓN:	Diseño de Hormigón	HOJA:	3 de 8
 Porcentaje de desgaste = $(C / A) * 100$ Masa que pasa el tamiz No. 12 = $(A - B)$ 			
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:	1 plg		
TIPO DE GRADACION:	A		
MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5000	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ Nº 12 DESPUÉS DE 500 REVOLUCIONES	B=	2780	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ Nº 12	C=	2220	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	D=	44	%
OBSERVACIONES:			
NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.			
<hr/>		<hr/>	
RESPONSABLE DE ÁREA		COORDINADOR	

7.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA PATRÓN

NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO : ASTM C39/C39M
 NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO : ASTM C469/C469M

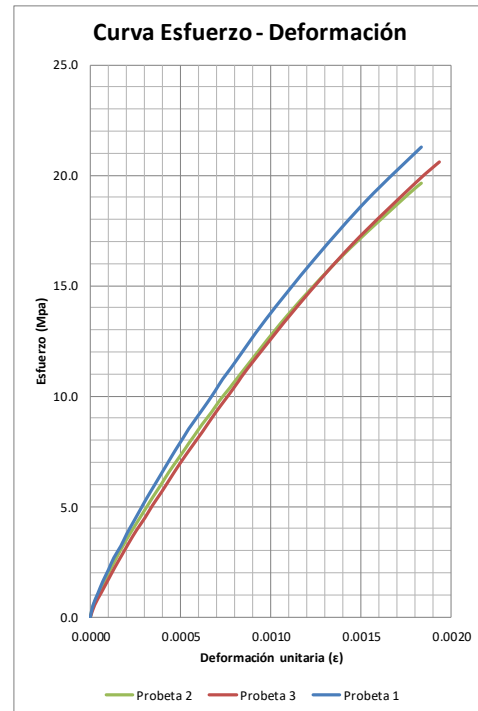
Probeta N° :	1	2	3
Identificación de la probeta*	MP1	MP2	MP3
Descripción*			
Resistencia de diseño esperada a los 28 días (MPa)*	20.6	20.6	20.6
Fecha de fabricación*	2024-06-17	2024-06-17	2024-06-17
Fecha de ensayo*	2024-07-15	2024-07-15	2024-07-15
Edad (días)	28	28	28
Hora de ensayo	13:26	13:45	14:08
Diámetro 1 (mm)	153.57	151.94	150.19
Diámetro 2 (mm)	153.80	153.39	150.80
Diámetro promedio (mm)	153.60	152.60	150.40
Relación entre diámetros (%)	0.15	0.95	0.41
Altura promedio (mm)	300	304	302
Relación H/D	1.95	1.99	2.01
Área (mm²)	18530	18289	17766
Volumen (m³)	0.0056	0.0056	0.0054
Masa (kg)	12.93	12.82	12.58
Peso unitario (kg/m³)	2330	2310	2340
Carga máxima (KN)	394.7	359.7	366.3
Factor de corrección	1.00	1.00	1.00
Resistencia a la Compresión (MPa)	21.3	19.7	20.6
Módulo de Elasticidad (MPa)	14716.21	13579.49	13064.89
Tipo de Falla			
	4	4	4

OBSERVACIONES:

* Datos proporcionados por el Cliente.

- Unidades de Conversión: 1 MPa = 10.2 Kg/cm²
- Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.
- El módulo de elasticidad es calculado de la siguiente manera, a los 200 Mpa más cercanos:

$$\text{Módulo de Elasticidad (E)} = \frac{(S_2 - S_1)}{(e_2 - 0,000050)}$$



Probeta	Deformación unitaria (ε)		Esfuerzo (Mpa)	
	ε ₁	ε ₂	S ₁	S ₂
1	0.00005	0.00067	1.1	9.4
	0.00005	0.00071	1.1	10.2
2	0.00005	0.00070	1.0	9.7
	0.00005	0.00070	1.0	9.7

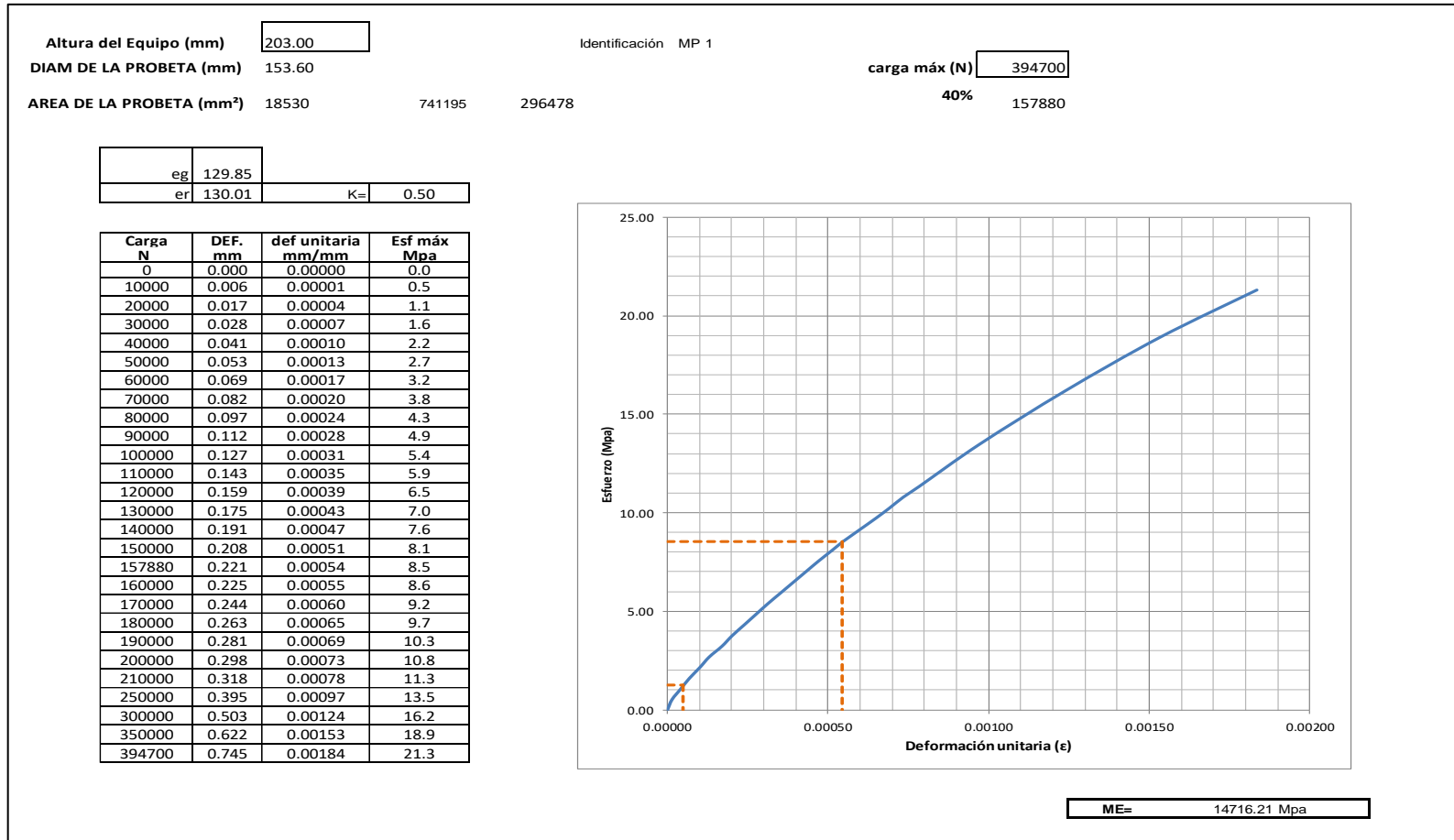
S₂ = Corresponde al 40% del esfuerzo último

S₁ = Esfuerzo producido en una deformación de 0,00005

ε₂ = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂

Gráfica 15. Módulo de elasticidad muestra patrón.

7.3. CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA PATRÓN



Gráfica 16. Esfuerzo deformación muestra patrón probeta 1.

Altura del Equipo (mm) 203.00

Identificación MP 2

DIAM DE LA PROBETA (mm) 152.60

carga máx (N) 359700

AREA DE LA PROBETA (mm²) 18289

731575

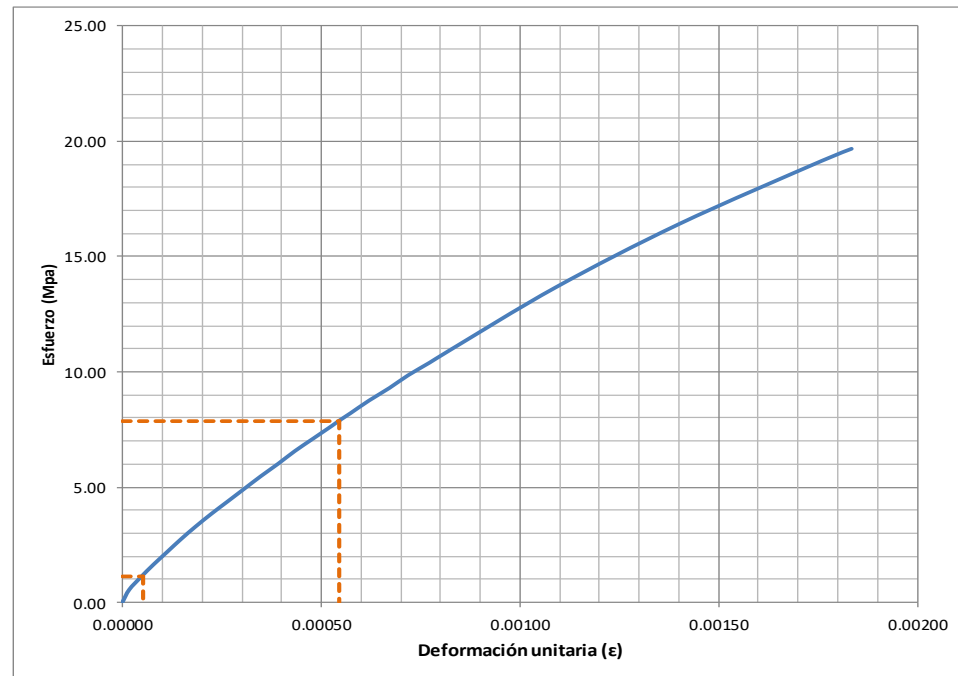
292630

40%

143880

eg	127.79		
er	126.72	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.0
10000	0.007	0.00002	0.5
20000	0.019	0.00005	1.1
30000	0.032	0.00008	1.6
40000	0.046	0.00011	2.2
50000	0.060	0.00015	2.7
60000	0.075	0.00018	3.3
70000	0.091	0.00022	3.8
80000	0.108	0.00026	4.4
90000	0.125	0.00031	4.9
100000	0.142	0.00035	5.5
110000	0.160	0.00039	6.0
120000	0.177	0.00043	6.6
130000	0.196	0.00048	7.1
140000	0.215	0.00053	7.7
143880	0.222	0.00054	7.9
150000	0.234	0.00057	8.2
160000	0.253	0.00062	8.7
170000	0.274	0.00067	9.3
180000	0.293	0.00072	9.8
190000	0.315	0.00077	10.4
200000	0.336	0.00082	10.9
250000	0.445	0.00109	13.7
300000	0.571	0.00140	16.4
350000	0.717	0.00176	19.1
359700	0.748	0.00183	19.7



ME= 13579.49 Mpa

Gráfica 17. Esfuerzo deformación muestra patrón probeta 2.

Altura del Equipo (mm) 203.00

Identificación MP 3

DIAM DE LA PROBETA (mm) 150.40

carga máx (N) 366300

AREA DE LA PROBETA (mm²) 17766

710633

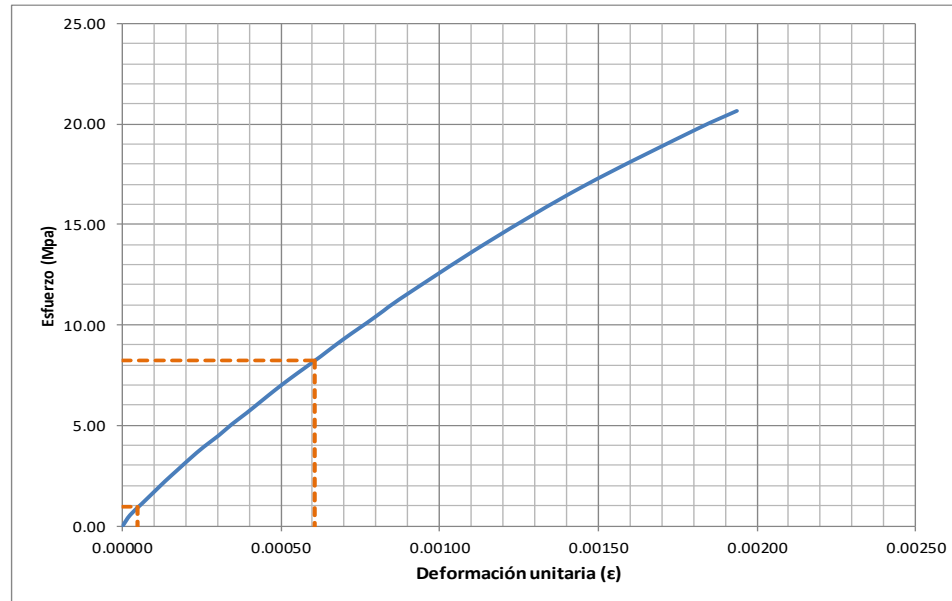
284253

40%

146520

eg	128.11		
er	128.21	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.00
10000	0.010	0.00002	0.56
20000	0.025	0.00006	1.13
30000	0.040	0.00010	1.69
40000	0.055	0.00014	2.25
50000	0.071	0.00017	2.81
60000	0.087	0.00021	3.38
70000	0.104	0.00026	3.94
80000	0.123	0.00030	4.50
90000	0.140	0.00034	5.07
100000	0.159	0.00039	5.63
110000	0.177	0.00044	6.19
120000	0.195	0.00048	6.75
130000	0.214	0.00053	7.32
140000	0.234	0.00058	7.88
146520	0.247	0.00061	8.25
150000	0.254	0.00063	8.44
160000	0.273	0.00067	9.01
170000	0.293	0.00072	9.57
180000	0.314	0.00077	10.13
190000	0.334	0.00082	10.69
200000	0.354	0.00087	11.26
250000	0.466	0.00115	14.07
300000	0.590	0.00145	16.89
350000	0.734	0.00181	19.70
366300	0.786	0.00194	20.62






ME= 13064.89 Mpa

Gráfica 18. Esfuerzo deformación muestra patrón probeta 3.

7.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA 4%

NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO : ASTM C39/C39M
 NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO : ASTM C469/C469M

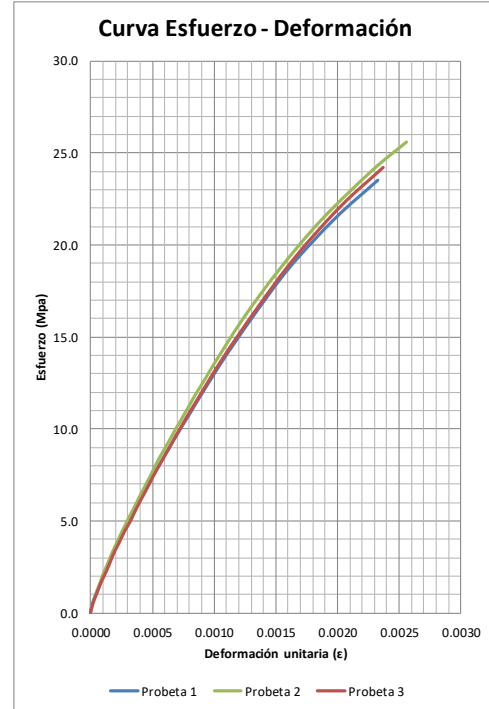
Probeta N° :	1	2	3
Identificación de la probeta*	4% M1	4% M2	4% M3
Descripción*			
Resistencia de diseño esperada a los 28 días (MPa)*	20.6	20.6	20.6
Fecha de fabricación*	2024-06-17	2024-06-17	2024-06-17
Fecha de ensayo*	2024-07-15	2024-07-15	2024-07-15
Edad (días)	28	28	28
Hora de ensayo	13:26	13:45	14:08
Diámetro 1 (mm)	153.94	154.41	151.83
Diámetro 2 (mm)	154.43	154.24	151.67
Diámetro promedio (mm)	154.20	154.40	151.80
Relación entre diámetros (%)	0.32	0.11	0.11
Altura promedio (mm)	306	300	301
Relación H/D	1.98	1.94	1.98
Área (mm ²)	18675	18723	18098
Volumen (m ³)	0.0057	0.0056	0.0054
Masa (kg)	13.26	13.03	12.58
Peso unitario (kg/m ³)	2320	2320	2310
Carga máxima (KN)	438.9	479.1	438.2
Factor de corrección	1.00	1.00	1.00
Resistencia a la Compresión (MPa)	23.5	25.6	24.2
Módulo de Elasticidad (MPa)	13271	13736	13399
Tipo de Falla			
	4	5	5

OBSERVACIONES:

* Datos proporcionados por el Cliente.

- Unidades de Conversión: 1 MPa = 10.2 Kg/cm²
- Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.
- El módulo de elasticidad es calculado de la siguiente manera, a los 200 Mpa más cercanos:

$$\text{Módulo de Elasticidad (E)} = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)}$$



Probeta	Deformación unitaria (ε)		Esfuerzo (Mpa)	
	ε ₁	ε ₂	S ₁	S ₂
1	0.00005	0.00067	1.1	9.4
	0.00005	0.00071	1.1	10.2
2	0.00005	0.00070	1.0	9.7
	0.00005	0.00070	1.0	9.7

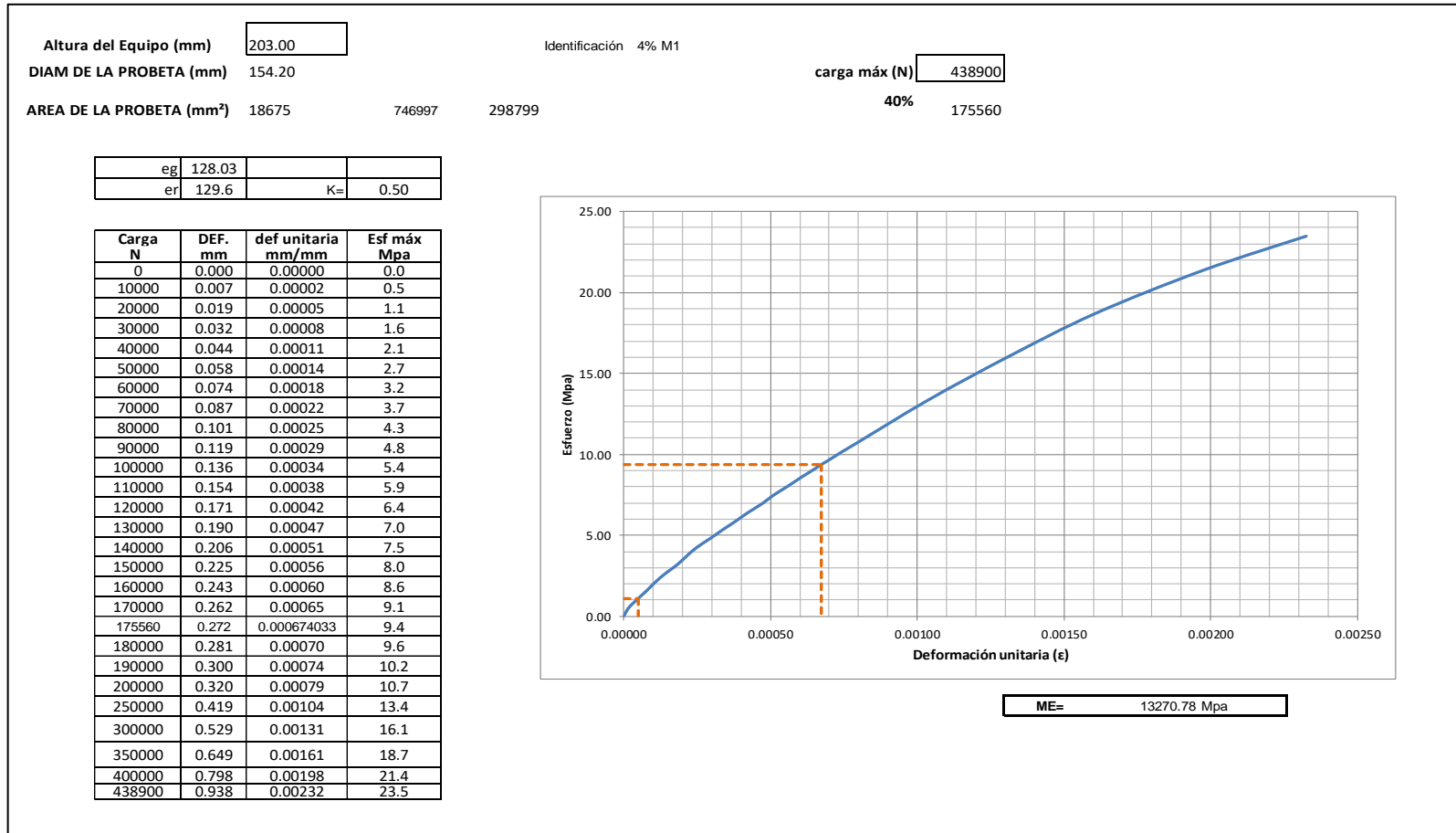
S₂ = Corresponde al 40% del esfuerzo último

S₁ = Esfuerzo producido en una deformación de 0,00005

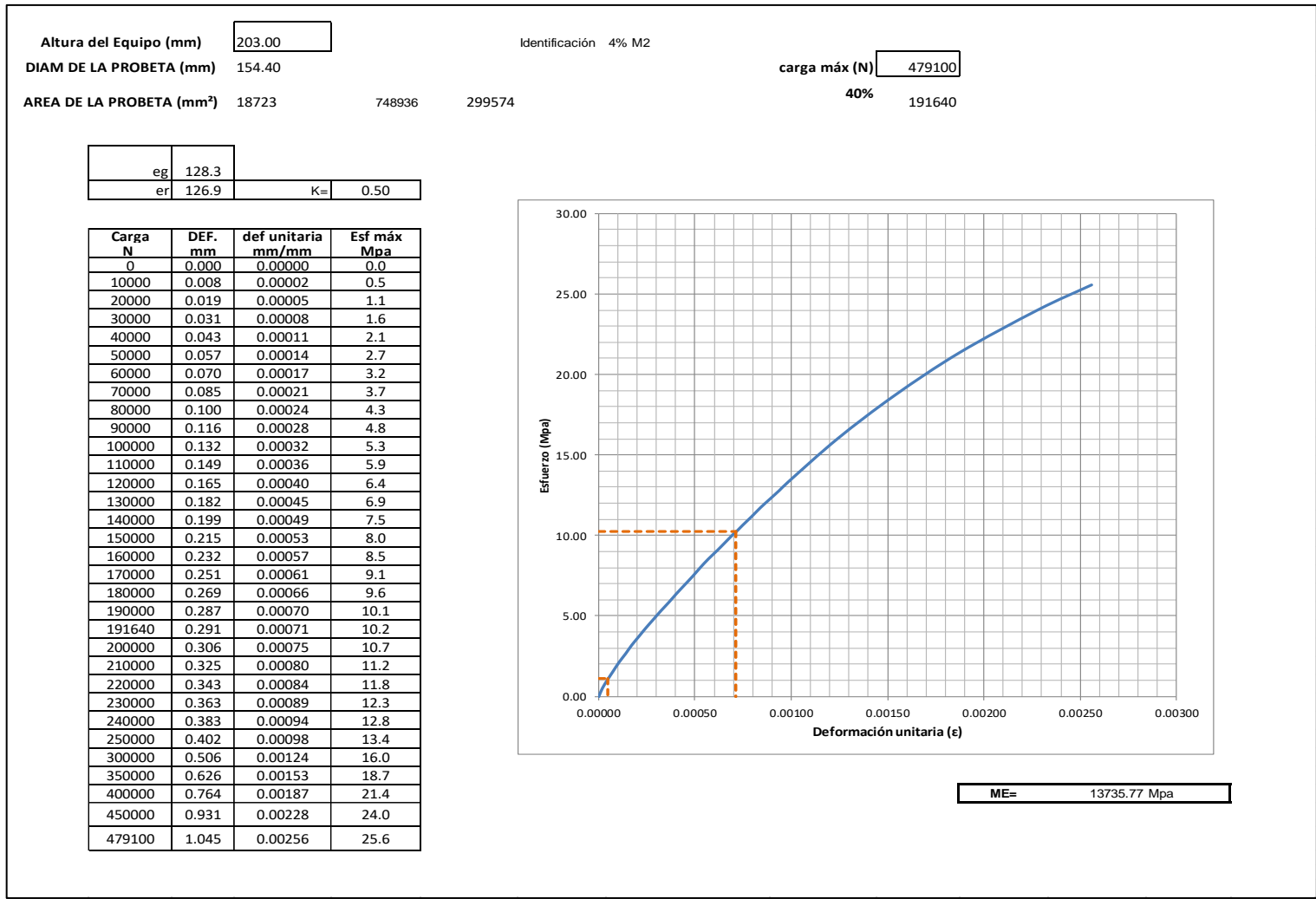
ε₂ = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂

Gráfica 19. Módulo de elasticidad muestra 4%.

7.5.CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA 4%



Gráfica 20. Esfuerzo deformación muestra 4% probeta 1.



Gráfica 21. Esfuerzo deformación muestra 4% probeta 2.

Altura del Equipo (mm) 203.00

DIAM DE LA PROBETA (mm) 151.80

AREA DE LA PROBETA (mm²) 18098 723925

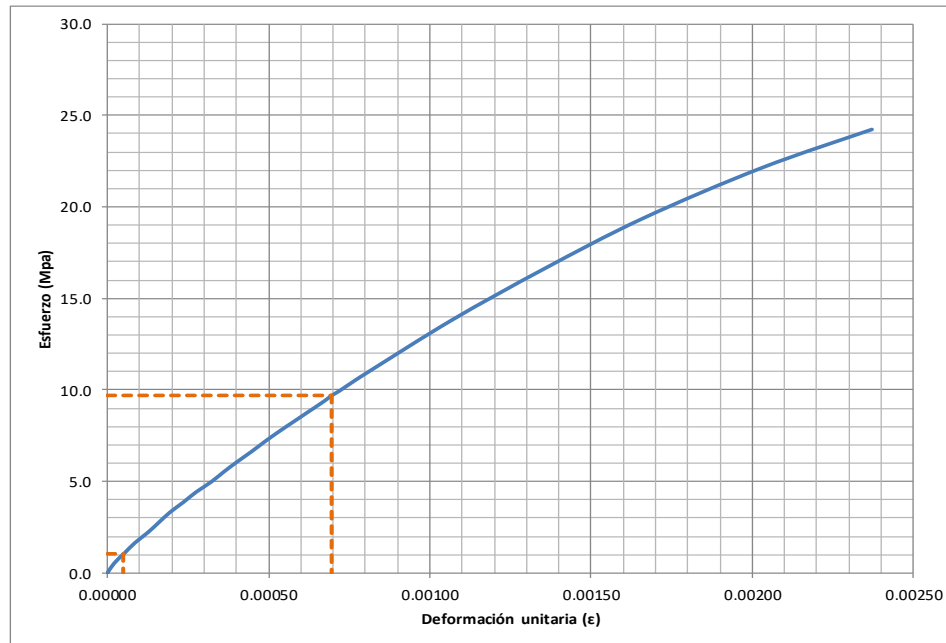
Identificación 4% M3

carga máx (N) 438200

40% 175280

eg	127.94		
er	127.41	K=	0.50

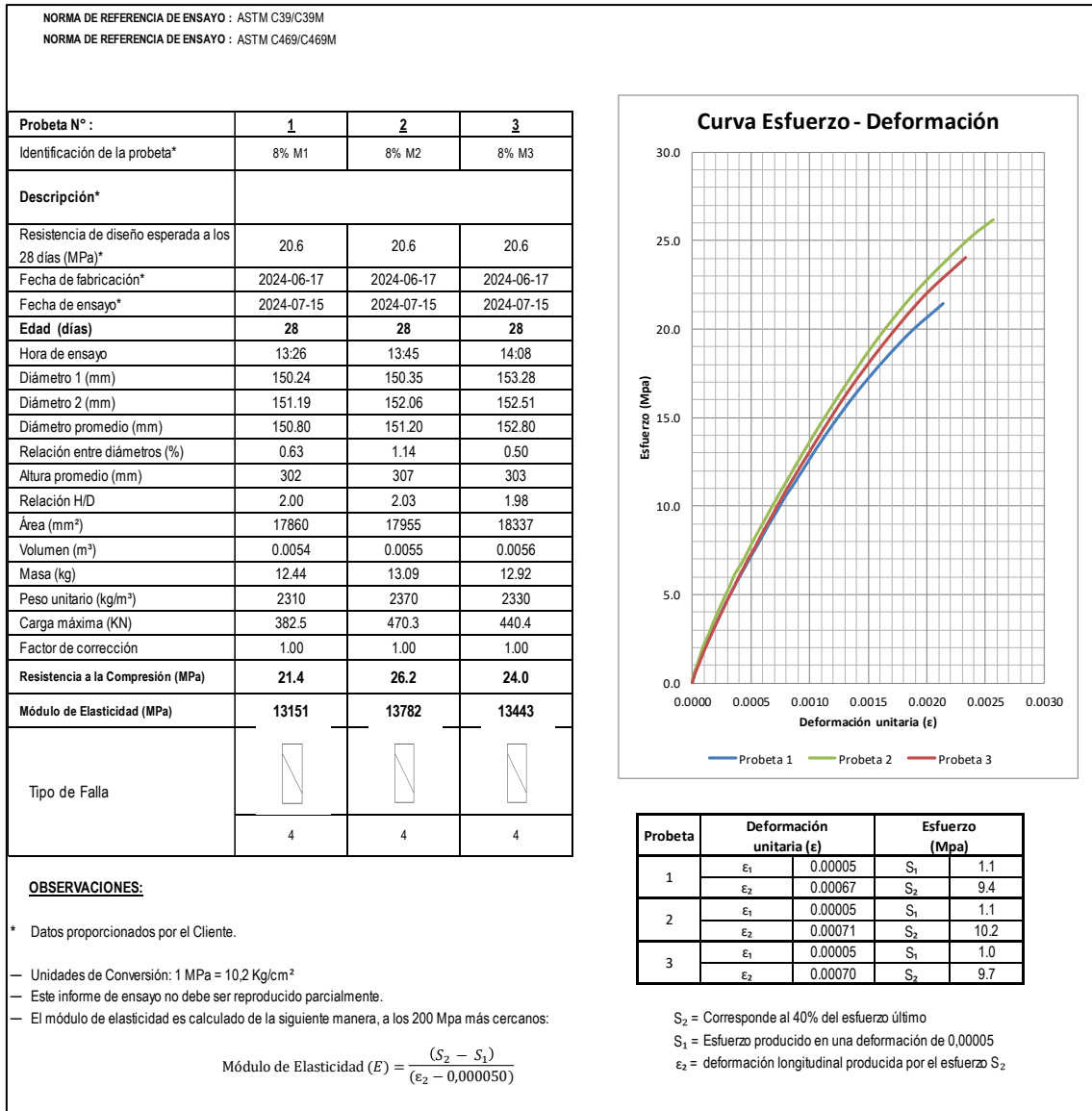
Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.0
10000	0.009	0.00002	0.6
20000	0.022	0.00005	1.1
30000	0.035	0.00009	1.7
40000	0.051	0.00013	2.2
50000	0.065	0.00016	2.8
60000	0.079	0.00019	3.3
70000	0.096	0.00024	3.9
80000	0.112	0.00028	4.4
90000	0.131	0.00032	5.0
100000	0.147	0.00036	5.5
110000	0.164	0.00040	6.1
120000	0.182	0.00045	6.6
130000	0.199	0.00049	7.2
140000	0.217	0.00053	7.7
150000	0.236	0.00058	8.3
160000	0.255	0.00063	8.8
170000	0.274	0.00067	9.4
175280	0.283	0.00070	9.7
180000	0.293	0.00072	9.9
190000	0.312	0.00077	10.5
200000	0.332	0.00082	11.1
250000	0.435	0.00107	13.8
300000	0.550	0.00135	16.6
350000	0.675	0.00166	19.3
400000	0.825	0.00203	22.1
438200	0.965	0.00237	24.2



ME= 13399.00 Mpa

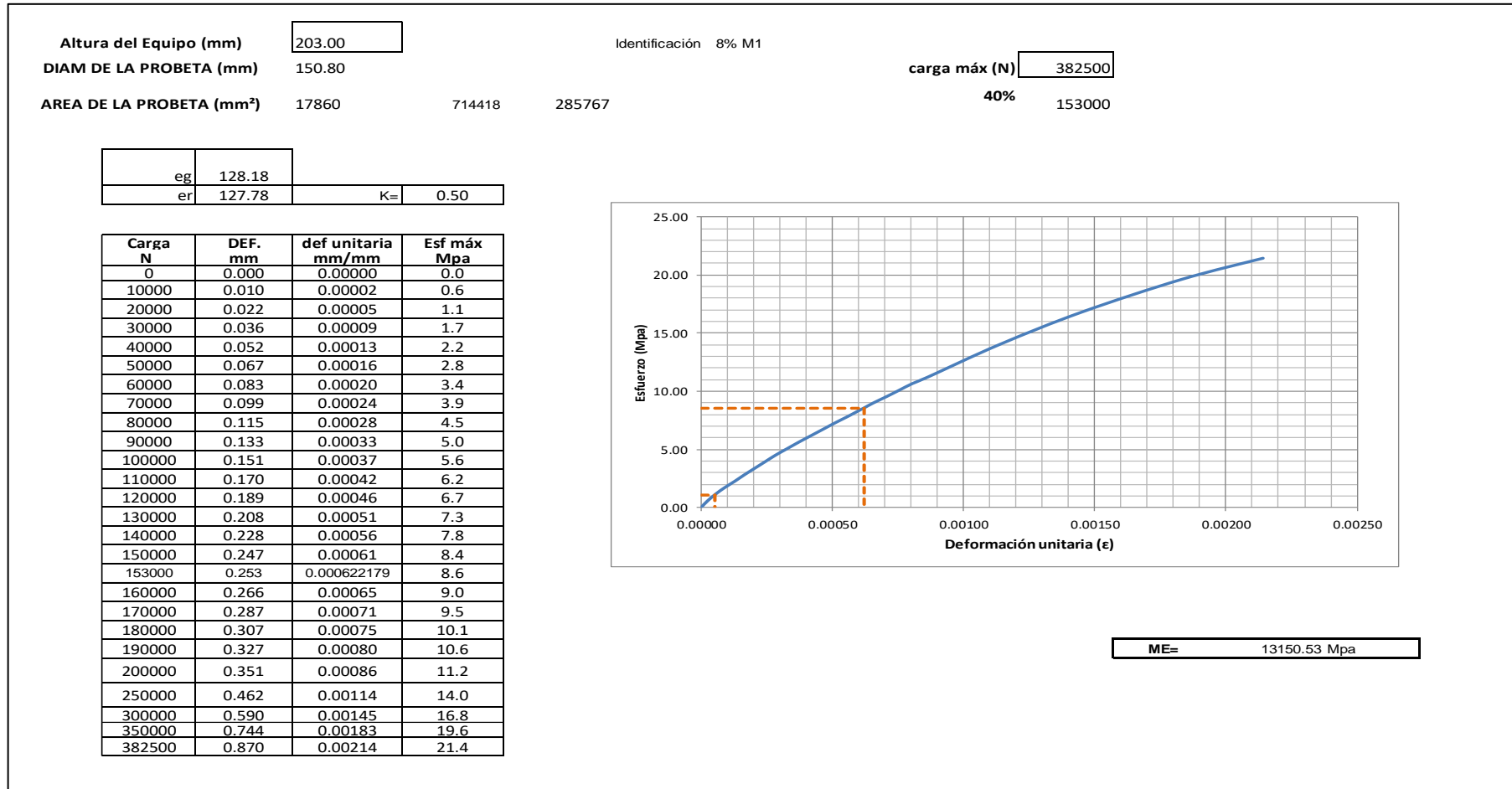
Gráfica 22. Esfuerzo deformación muestra 4% probeta 3.

7.6. MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA 8%

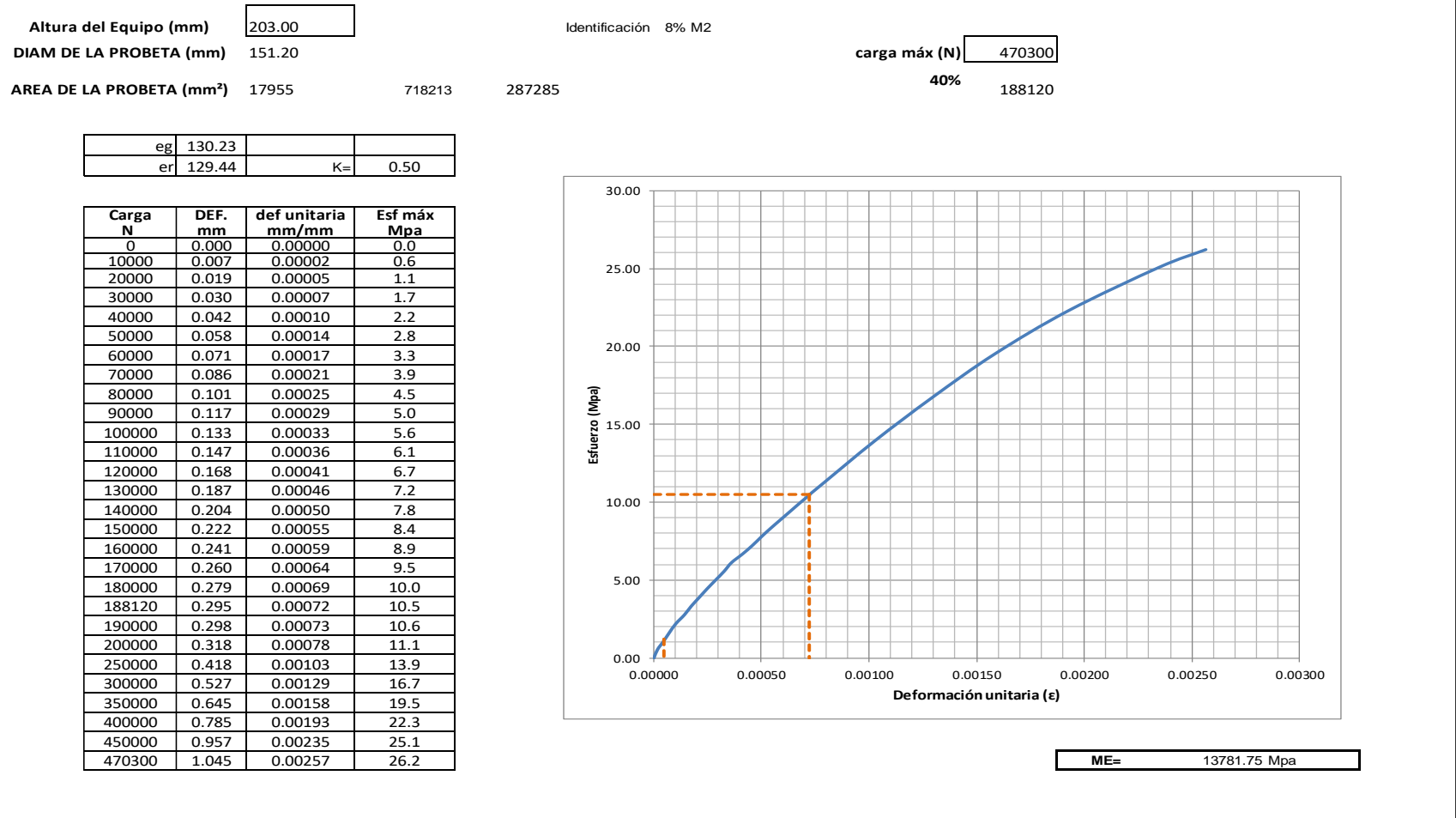


Gráfica 23. Módulo de elasticidad muestra 8%.

7.7. CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA 8%



Gráfica 24. Esfuerzo deformación muestra 8% probeta 1.



Gráfica 25. Esfuerzo deformación muestra 8% probeta 2.

Altura del Equipo (mm) 203.00

Identificación 8% M3

DIAM DE LA PROBETA (mm) 152.80

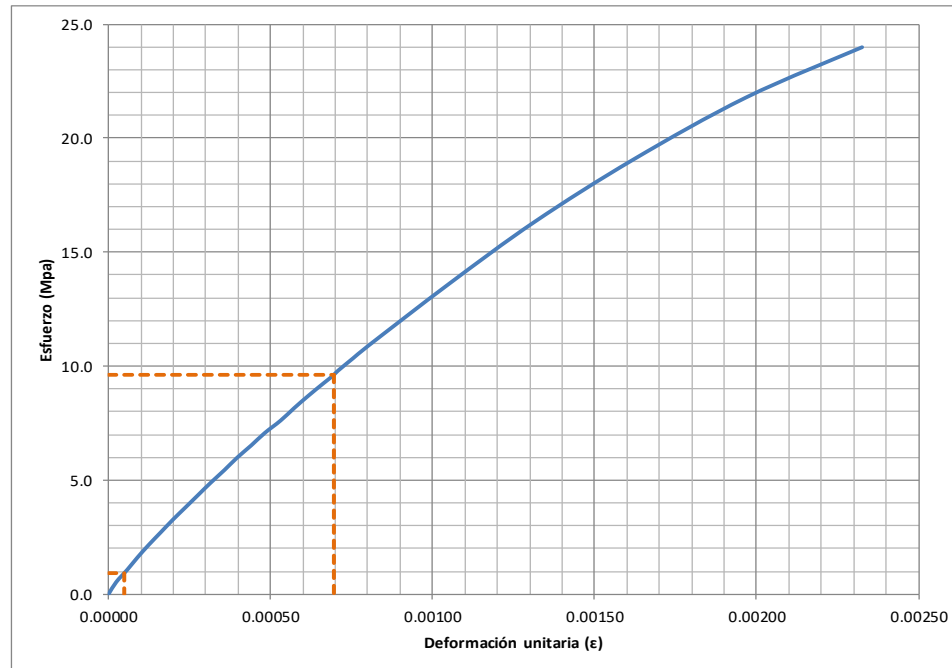
carga máx (N) 440400

AREA DE LA PROBETA (mm²) 18337 733494

40% 176160

eg	128.13		
er	127	K=	0.50

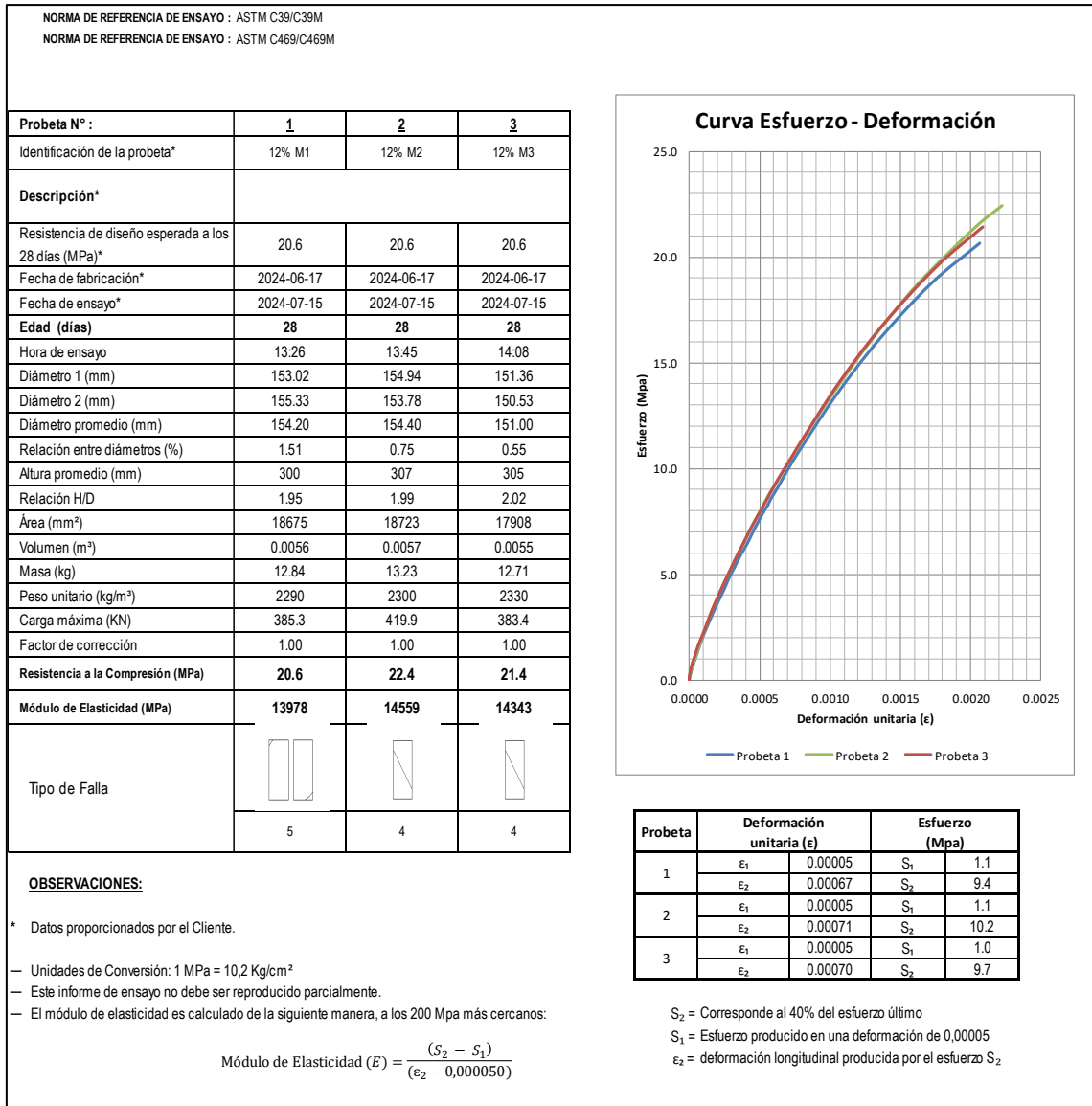
Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.0
10000	0.010	0.00002	0.5
20000	0.024	0.00006	1.1
30000	0.037	0.00009	1.6
40000	0.051	0.00013	2.2
50000	0.066	0.00016	2.7
60000	0.081	0.00020	3.3
70000	0.097	0.00024	3.8
80000	0.113	0.00028	4.4
90000	0.129	0.00032	4.9
100000	0.146	0.00036	5.5
110000	0.162	0.00040	6.0
120000	0.180	0.00044	6.5
130000	0.197	0.00048	7.1
140000	0.217	0.00053	7.6
150000	0.234	0.00057	8.2
160000	0.252	0.00062	8.7
170000	0.271	0.00066	9.3
176160	0.283	0.00069	9.6
180000	0.289	0.00071	9.8
190000	0.308	0.00076	10.4
200000	0.327	0.00080	10.9
250000	0.429	0.00105	13.6
300000	0.537	0.00132	16.4
350000	0.661	0.00162	19.1
400000	0.803	0.00197	21.8
440400	0.949	0.00233	24.0



ME= 13442.76 Mpa

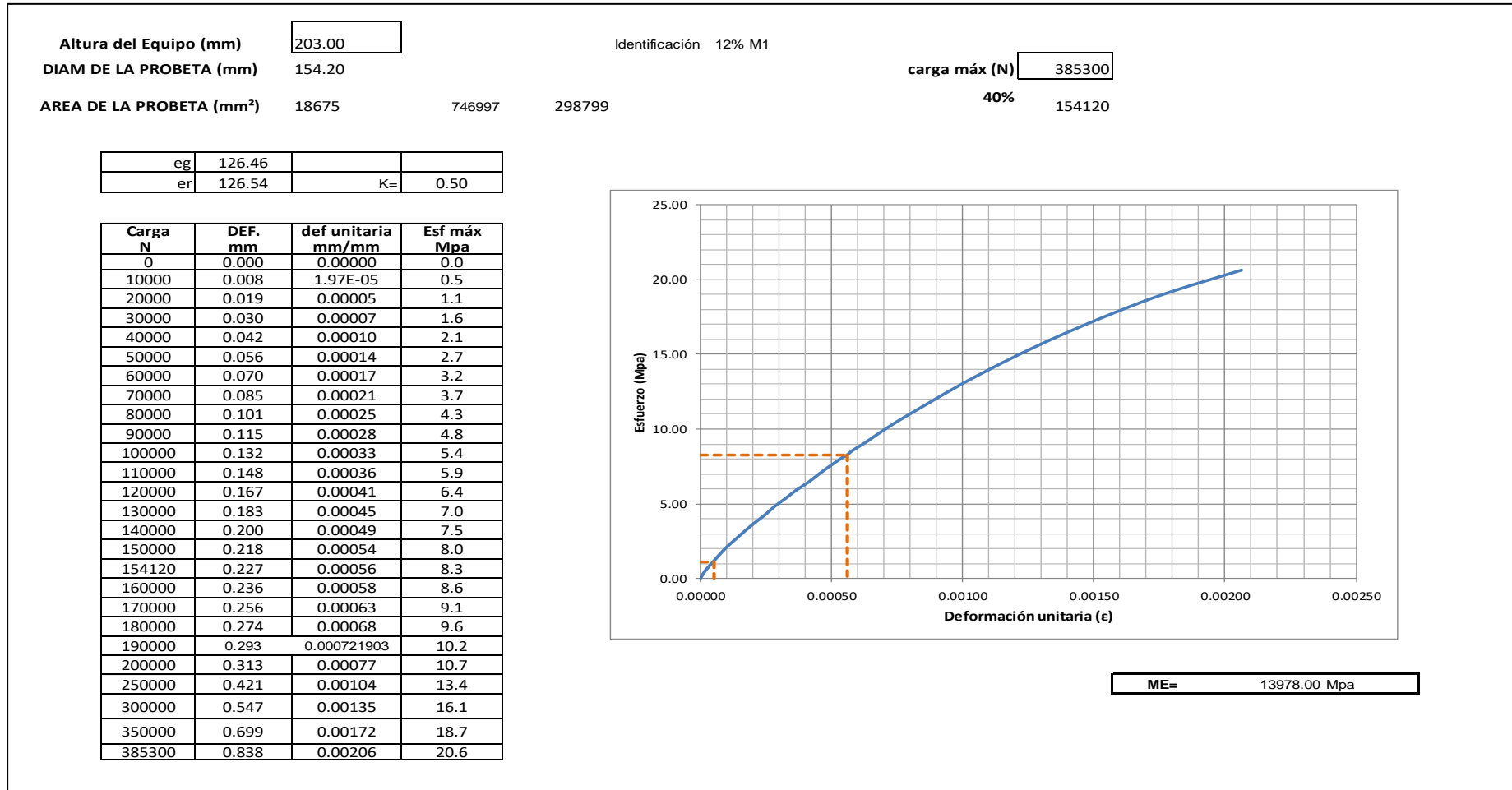
Gráfica 26. Esfuerzo deformación muestra 8% probeta 3.

7.8. MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA 12%



Gráfica 27. Módulo de elasticidad muestra 12%.

7.9.CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA 12%



Gráfica 28. Esfuerzo deformación muestra 12% probeta 1.

Altura del Equipo (mm) 203.00

Identificación 12% M2

DIAM DE LA PROBETA (mm) 154.40

carga máx (N) 419900

AREA DE LA PROBETA (mm²) 18723

748936

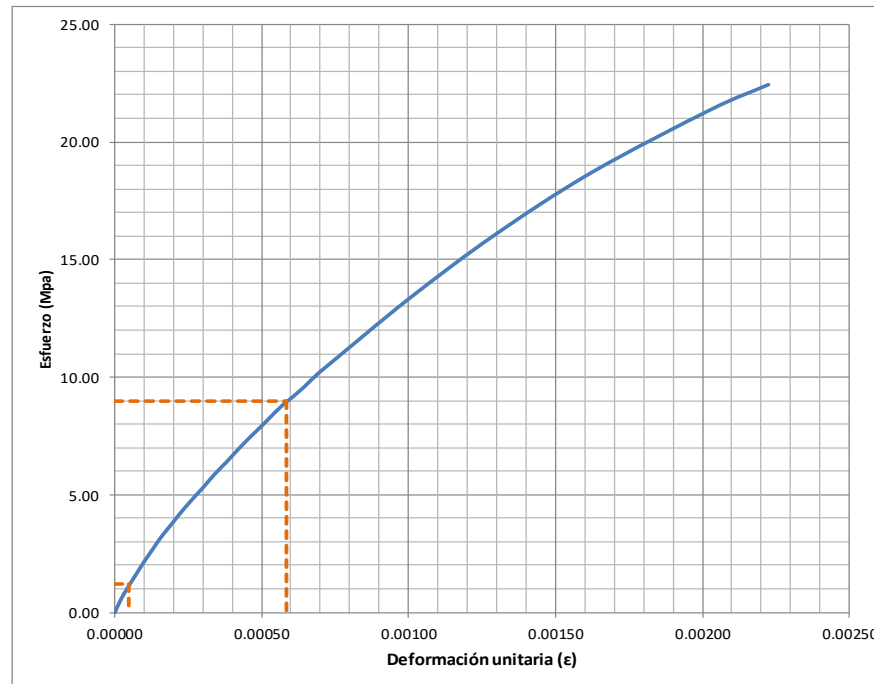
299574

40%

167960

eg	127.58		
er	127.04	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.0
10000	0.008	0.00002	0.5
20000	0.018	0.00004	1.1
30000	0.029	0.00007	1.6
40000	0.040	0.00010	2.1
50000	0.052	0.00013	2.7
60000	0.064	0.00016	3.2
70000	0.078	0.00019	3.7
80000	0.092	0.00023	4.3
90000	0.107	0.00026	4.8
100000	0.123	0.00030	5.3
110000	0.138	0.00034	5.9
120000	0.155	0.00038	6.4
130000	0.171	0.00042	6.9
140000	0.188	0.00046	7.5
150000	0.206	0.00051	8.0
160000	0.223	0.00055	8.5
167960	0.238	0.00058	9.0
170000	0.243	0.00060	9.1
180000	0.263	0.00065	9.6
190000	0.281	0.00069	10.1
200000	0.302	0.00074	10.7
250000	0.408	0.00100	13.4
300000	0.525	0.00129	16.0
350000	0.660	0.00162	18.7
400000	0.825	0.00203	21.4
419900	0.905	0.00222	22.4



ME= 14559.21 Mpa

Gráfica 29. Esfuerzo deformación muestra 12% probeta 2.

Altura del Equipo (mm) 203.00

Identificación 12% M3

DIAM DE LA PROBETA (mm) 151.00

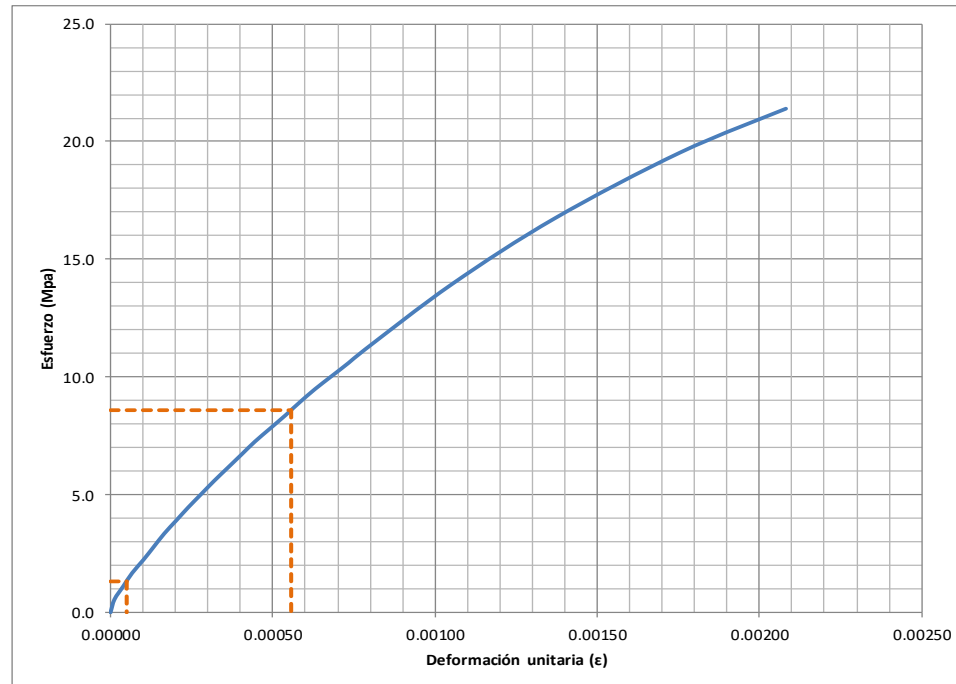
carga máx (N) 383400

AREA DE LA PROBETA (mm²) 17908 716315

40% 153360

eg	126.14		
er	127.34	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.0
10000	0.005	0.00001	0.6
20000	0.016	0.00004	1.1
30000	0.027	0.00007	1.7
40000	0.041	0.00010	2.2
50000	0.054	0.00013	2.8
60000	0.067	0.00017	3.4
70000	0.082	0.00020	3.9
80000	0.097	0.00024	4.5
90000	0.113	0.00028	5.0
100000	0.129	0.00032	5.6
110000	0.146	0.00036	6.1
120000	0.163	0.00040	6.7
130000	0.180	0.00045	7.3
140000	0.199	0.00049	7.8
150000	0.218	0.00054	8.4
153360	0.224	0.00055	8.6
160000	0.236	0.00058	8.9
170000	0.255	0.00063	9.5
180000	0.276	0.00068	10.1
190000	0.297	0.00073	10.6
200000	0.317	0.00078	11.2
250000	0.426	0.00105	14.0
300000	0.554	0.00137	16.8
350000	0.710	0.00176	19.5
383400	0.842	0.00208	21.4



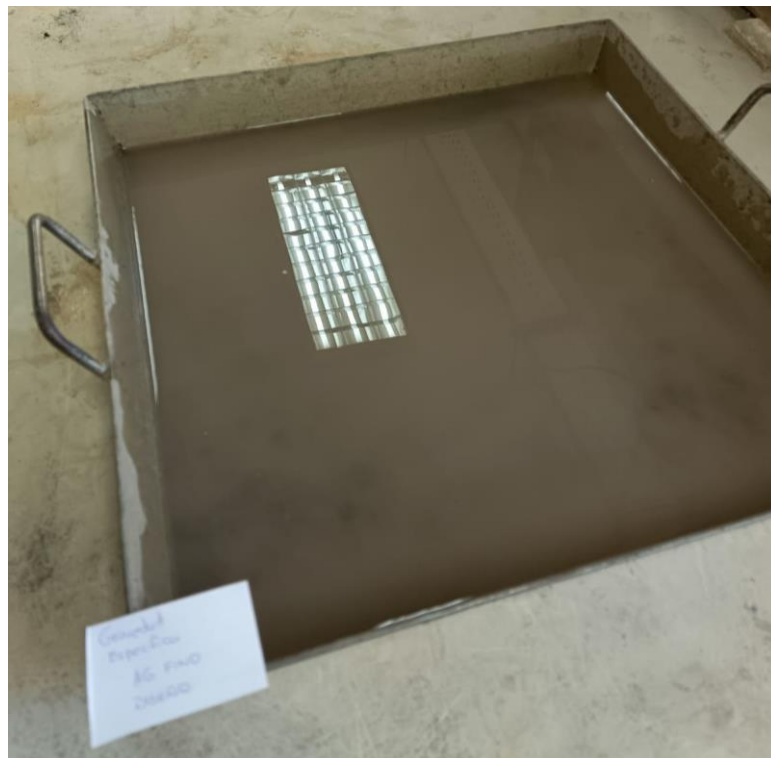
ME= 14342.77 Mpa

Gráfica 30. Esfuerzo deformación muestra 12% probeta 3.

8.1. ANEXO FOTOGRÁFICO



Recolección de agregados en la mina Revilla S.A.



Ensayo de gravedad específica del agregado fino.



Medida de asentamiento.



Fabricación de cilindros de hormigón.



Toma de medidas de cilindros de hormigón.



Ensayo de resistencia de cilindros de hormigón.



Cilindros de hormigón fabricados con porcentajes de material reciclado.



Cilindros de hormigón listos para ensayarlos.



Cilindro de hormigón colocado el compresómetro.



Ensayo de compresión para MP, 4%, 8% y 12%.



Cilindro de hormigón listo para ensayo de compresión de la MP, 4%, 8% y 12%.



Toma de las deformaciones a la rotura de compresión de la MP, 4%, 8% y 12%.



Ensayo de compresión del cilindro de hormigón.



Cilindros de hormigón ensayados.