



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS
SISMORRESISTENTES

TEMA:

DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA
HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA $f'_c = 350 \text{ KG/CM}^2$, ELABORADO CON
MATERIAL GRANULAR DE LA MINA “GALLINAZO” UBICADA EN EL CANTÓN
LAGO AGRIO, MATERIAL RECICLADO DE CONSTRUCCIÓN Y CEMENTO
PORTLAND TIPO I HOLCIM GU.

AUTORA:

GREY ESTEFANIA ORDOÑEZ SACAPI

TUTOR:

WILSON OSWALDO CANDO TIPÁN

QUITO-ECUADOR

2025

ÍNDICE

RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.1. JUSTIFICACIÓN	1
1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.3. OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.1.4. ALCANCE.....	3
1.1.5. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS.....	3
1.2. MARCO REFERENCIAL Y TEÓRICO.....	5
1.2.1. MARCO REFERENCIAL.....	5
1.2.2. MARCO TEÓRICO.....	5
1.3. MARCO CONCEPTUAL.....	6
1.3.1. AGREGADOS FINOS Y GRUESOS	6
1.3.2. CEMENTO	7
1.3.3. AGUA	8
1.3.4. ADITIVOS.....	9
1.3.5. HORMIGÓN.....	9
1.3.6. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO	10
1.3.7. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.....	11
1.3.8. MÓDULO DE ELASTICIDAD	13
1.3.9. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ...	13

1.3.10.	TIPOS DE FALLA.....	14
1.3.11.	Er	15
1.3.12.	Eg	15
1.3.13.	CARGA MÁXIMA.....	15
1.3.14.	RESISTENCIA	15
1.3.15.	OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL	15
CAPÍTULO II		18
2.1	PROCEDENCIA DE MATERIALES UTILIZADOS	18
2.1.1	MINA “GALLINAZO”	18
2.1.2	MATERIAL RECICLADO	18
2.2	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS	18
2.3	ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.....	20
2.3.1	CONTENIDO ORGÁNICO	20
2.3.2	GRANULOMETRÍA.....	22
2.3.3	AGREGADO FINO.....	23
2.3.4	AGREGADO GRUESO	25
2.3.5	GRANULOMETRÍA COMPLETA	27
2.3.6	GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	29
2.3.7	ABSORCIÓN	30
2.3.8	PESO UNITARIO	31
2.3.9	DESGASTE POR ABRASIÓN	32
2.3.10	CONTENIDO DE HUMEDAD	34
CAPÍTULO III.....		36
3.1	DISEÑO DE MEZCLAS	36
3.2	DOSIFICACIÓN AL PESO SEGÚN MÉTODO ACI	36

3.2.1	ASENTAMIENTO	37
3.3	AGUA NETA Y CONTENIDO DE AIRE.....	37
3.3.1	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADOS	37
3.3.2	CONTENIDO DE AIRE Y AGUA EN LA MEZCLA	38
3.3.3	RELACIÓN AGUA-CEMENTO	39
3.4	DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PREVIO	40
3.4.1	RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS DOSIFICACIONES PREVIAS	41
3.4.2	MUESTRA PATRÓN	44
3.4.3	RESULTADOS DE ENSAYOS PARA DOSIFICACIÓN DE MUESTRA PATRÓN	45
3.4.4	DOSIFICACIÓN CON MATERIAL RECICLADO	45
3.4.5	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRA PATRÓN Y MUESTRAS CON MATERIAL RECICLADO	48
3.5	DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	49
3.5.1	CÁLCULO DEL FACTOR DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	52
3.5.2	RESUMEN DE RESULTADOS	53
3.6	ECUACIÓN MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	55
CAPÍTULO IV		56
4.1	CONCLUSIONES	56
4.2	RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA		62
ANEXOS.....		65
	RESULTADOS DE LABORATORIO	65
	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA PATRÓN.....	73
	CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE MUESTRA PATRÓN.....	74
	MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN-MUESTRA 2%	74

CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE MUESTRA 2%	76
MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN-MUESTRA 4%	77
CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE MUESTRA 4%	78
MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN-MUESTRA 6%	79
CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE MUESTRA 6%	80
ANEXOS FOTOGRÁFICOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipos de Cemento Portland</i>	8
Tabla 2. <i>Ensayos de agregado fino</i>	19
Tabla 3. <i>Ensayos de agregado grueso</i>	19
Tabla 4. <i>Ensayos de contenido de materia orgánica</i>	22
Tabla 5. <i>Análisis granulométrico del agregado fino</i>	23
Tabla 6. <i>Resultados del análisis granulométrico del agregado fino</i>	24
Tabla 7. <i>Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso</i>	26
Tabla 8. <i>Resultados del análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos</i>	27
Tabla 9. <i>Resultados del análisis granulométrico completo</i>	29
Tabla 10. <i>Gravedad específica y porcentaje de absorción de agregado fino</i>	30
Tabla 11. <i>Gravedad específica y porcentaje de absorción de agregado grueso</i>	31
Tabla 12. <i>Peso unitario del agregado fino</i>	32
Tabla 13. <i>Peso unitario del agregado grueso</i>	32
Tabla 14. <i>Ensayo de abrasión del agregado grueso</i>	33
Tabla 15. <i>Ensayo de contenido de humedad en los agregados</i>	35
Tabla 16. <i>Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción</i>	37

Tabla 17. <i>Valor de asentamiento, TMN y TM</i>	38
Tabla 18. <i>Recomendaciones para cantidades de agua y contenido de aire del hormigón</i>	39
Tabla 19. <i>Relación agua-cemento propuestas</i>	40
Tabla 20. <i>Resumen de cantidades consideradas en la dosificación</i>	40
Tabla 21. <i>Resultados de ensayo a compresión a los 14 y 28 días</i>	41
Tabla 22. <i>Relación agua/cemento para muestras iniciales</i>	42
Tabla 23. <i>Relación agua/cemento óptimo</i>	43
Tabla 24. <i>Resumen de parámetros para la dosificación de la muestra patrón</i>	44
Tabla 25. <i>Resumen de cantidades consideradas en la dosificación para muestra patrón</i>	44
Tabla 26. <i>Resultados de ensayo a compresión a los 28 días en muestra patrón</i>	45
Tabla 27. <i>Resumen de parámetros para la dosificación en muestras con material reciclado</i>	46
Tabla 28. <i>Resumen de cantidades consideradas en la dosificación para muestras con material reciclado</i>	46
Tabla 29. <i>Resultados de ensayo a compresión a los 28 días en muestra con contenido de material reciclado</i>	47
Tabla 30. <i>Resultados de ensayo a compresión a los 28 días en muestra con contenido de material reciclado y muestra patrón</i>	48
Tabla 31. <i>Resultados módulo de elasticidad para muestra patrón</i>	49
Tabla 32. <i>Resultados módulo de elasticidad para muestras con material reciclado</i>	50
Tabla 33. <i>Factores para módulos de elasticidad en muestra patrón y muestras con material reciclado</i>	52
Tabla 34. <i>Módulo de elasticidad obtenidos para las diferentes muestras ensayadas</i>	53
Tabla 35. <i>Ecuaciones del módulo de elasticidad en MPa</i>	55
Tabla 36. <i>Ecuaciones del módulo de elasticidad en Kg/cm²</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Tipos de falla.</i>	14
Figura 2. <i>Esfuerzo-deformación del hormigón</i>	16
Figura 3. <i>Escala de colores estándar GARDNER</i>	21
Figura 4. <i>Interpretación de color contenido materia orgánica</i>	21
Figura 5. <i>Curva Granulométrica del árido fino</i>	25
Figura 6. <i>Requisitos de gradación para áridos gruesos</i>	26
Figura 7. <i>Curva Granulométrica del árido grueso</i>	27
Figura 8. <i>Curva Granulométrica material combinado</i>	28
Figura 9. <i>Relación agua-cemento de acuerdo a resistencia requerida</i>	39
Figura 10. <i>Resistencia a la compresión respecto a la relación A/C</i>	42
Figura 11. <i>Curva polinómica de relación a/c vs resistencia para muestras patrón sin aditivo</i> ...	43
Figura 11. <i>Resistencia a la compresión con inclusión de material reciclado [MPa]</i>	48
Figura 12. <i>Resistencia a la compresión con inclusión de material reciclado [kg/cm²]</i>	49
Figura 13. <i>Resultados obtenidos del módulo de elasticidad incluyendo material reciclado [MPa]</i>	51
Figura 14. <i>Resultados obtenidos del módulo de elasticidad incluyendo material reciclado [kg/cm²]</i>	51
Figura 15. <i>Resultados factor del módulo de elasticidad incluyendo material reciclado [MPa]</i> ..	52
.....	52
Figura 16. <i>Resultados factor del módulo de elasticidad incluyendo material reciclado [kg/cm²]</i>	53
.....	53
Figura 17. <i>Resultados de comparación entre módulos de elasticidad en MPa</i>	54
Figura 18. <i>Resultados de comparación entre módulos de elasticidad en kg/cm²</i>	54

TÍTULO: Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad para hormigón de alta resistencia $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, elaborado con material granular de la mina “Gallinazo” ubicada en el cantón Lago Agrio, material reciclado de construcción y cemento portland Tipo I Holcim GU.

AUTORA: Grey Estefania Ordoñez Sacapi

TUTOR: Wilson Oswaldo Cando Tipán

RESUMEN

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

La precisa determinación del módulo de elasticidad mediante ensayos de laboratorio brinda a ingenieros y diseñadores una comprensión clara de cómo el material reaccionará ante diversas cargas y circunstancias. Esto resulta esencial para el análisis estructural y la anticipación del comportamiento de edificaciones o infraestructuras, tanto en condiciones de carga estática como en situaciones dinámicas, como sismos o fuertes vientos.

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

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

PALABRAS CLAVES: MÓDULO DE ELASTICIDAD, ENSAYOS DE LABORATORIO, SELECCIÓN DE MATERIALES.

TITLE: Determination of the Elastic Modulus Equation for High-Strength Concrete $f'_c = 350$ kg/cm², made with Granular Material from the “Gallinazo” Mine located in the Lago Agrio Canton, recycled construction material, and Portland Cement Type I Holcim GU.

AUTHOR: Grey Estefania Ordoñez Sacapi

TUTOR: Wilson Oswaldo Cando Tipán

ABSTRACT

The importance of determining the elastic modulus through laboratory tests is fundamental in the construction industry and structural design. The elastic modulus is an essential mechanical property that reflects a material's ability to deform and recover its original shape under load. This characteristic provides valuable information about the material's strength and durability, which is highly relevant in the planning and execution of safe and efficient construction projects.

Accurate determination of the elastic modulus through laboratory tests gives engineers and designers a clear understanding of how the material will respond to various loads and conditions. This is essential for structural analysis and anticipating the behavior of buildings or infrastructures under static loads as well as dynamic situations, such as earthquakes or strong winds.

The ability to predict a material's elastic response is crucial to ensuring that structures meet the required safety and performance standards. Additionally, the data obtained from these tests is essential for optimizing the design, allowing precise adjustments in material selection and structural configuration. This, in turn, can lead to more efficient construction, better resource management, and an extended service life for the infrastructure.

Therefore, the determination of the elastic modulus through laboratory tests is not only essential for ensuring structural integrity and safety in construction, but it also plays a key role in innovation, design improvement, and maximizing efficiency in civil engineering and architecture projects.

KEYWORDS: ELASTIC MODULUS, LABORATORY TESTS, MATERIAL SELECTION

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la demanda de la materia prima en el área de la construcción cada día se vuelve más indispensable debido al aumento de la población. En consecuencia, la escasez de los recursos naturales es evidente y la necesidad de conservar el medio ambiente es nuestra prioridad. Por lo que buscar nuevas alternativas para la construcción son necesarias, por lo tanto, la implementación de materiales reciclados promueve una nueva opción en el diseño y construcción de obras civiles.

Por lo expuesto anteriormente, en el área de la construcción un parámetro fundamental a considerarse en el diseño de estructuras de hormigón armado es el módulo de elasticidad, el cual indica la resistencia del material a la deformación producto de la carga aplicada en el elemento, por lo que es un factor decisivo para el análisis y diseño de estructuras conformadas por hormigón.

Por lo tanto, el presente trabajo surge del interés de presentar el comportamiento y la resistencia del hormigón para un módulo de elasticidad que considerará la presencia de material reciclado. Las ventajas de incorporar a las muestras un porcentaje de material reciclado proveniente de algún tipo de demolición permite establecer una nueva propuesta en el mercado para la determinación de las resistencias del hormigón, generando así una gestión más eficiente de los residuos de construcción, al mismo tiempo que contribuye a reducir el impacto en el medio ambiente.

Para la elaboración de la dosificación con la cual se diseñarán las probetas a ensayarse como parte del estudio experimental, se ha empleado cemento Portland tipo I Holcim GU, el mismo que está proyectado para todo tipo de construcción en general, contando con características como resistencia, durabilidad y destacado desempeño que cumple y excede los estándares requeridos por la norma NTE INEN 2380. Con respecto a los agregados finos y gruesos se propone emplear material proveniente de la mina “Gallinazo” ubicada en el cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos. Los áridos son parte fundamental en el desarrollo del ensayo, por ello tanto el

material reciclado como los agregados serán examinados rigurosamente en laboratorio de suelos, con el objetivo de identificar las características mecánicas garantizando así, una correcta funcionalidad y resistencia del material.

1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de estudio se basa en la obtención del módulo de elasticidad para hormigones de alta resistencia elaborados con agregados pétreos, inclusión de material reciclado de construcción y cemento. Con el aporte del hormigón reciclado se espera brindar soluciones sostenibles que permita gestionar de mejor manera los residuos producto de una demolición generados en la industria de la construcción. Por lo tanto, determinar el módulo de elasticidad del hormigón puede ser un desafío dado que el hormigón reciclado 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 el módulo de elasticidad que se han propuesto en el país, se ha observado que la fórmula actual no se ajusta adecuadamente a las condiciones locales, ya que fue deducida en los Estados Unidos, donde las características de los materiales difieren significativamente de las que se encuentran en 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 que refleje de manera precisa las particularidades del material existente en la provincia de Sucumbíos, cantón Lago Agrio.

1.1.3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener un diseño de hormigón $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ utilizando material granular de la mina “Gallinazo” ubicada en el cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos, cemento Portland tipo I Holcim GU y porcentajes diferentes de material reciclado de construcción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir las características mecánicas de los áridos naturales mediante la aplicación de ensayos indicados en la norma técnica ecuatoriana para obtener las resistencias del hormigón propuestas.
- Obtener la dosificación requerida para la elaboración de probetas cilíndricas de hormigón ($f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$) considerando la inclusión del material reciclado previamente identificado.
- Determinar la ecuación del módulo de elasticidad mediante ensayos experimentales desarrollados de acuerdo a las especificaciones que indica la NTE-INEN (Norma Técnica Ecuatoriana).

1.1.4. ALCANCE

Esta investigación experimental se centra en el diseño, fabricación y caracterización de hormigón utilizando agregados pétreos (grueso y fino) extraídos de la mina Gallinazo, ubicada en el cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos. Como material cementante principal se empleará Cemento Portland tipo I Holcim GU. Además, se incorporarán agregados reciclados provenientes de la trituración de adoquines. El proceso experimental abarcará las etapas de dosificación, mezclado y curado del concreto, siguiendo estrictamente las normas técnicas aplicables para garantizar la calidad de las probetas cilíndricas de hormigón. Posteriormente, se determinará la ecuación del módulo de elasticidad para hormigón de alta resistencia $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$.

Los resultados obtenidos permitirán establecer una comparación técnica entre el comportamiento del concreto fabricado con materiales convencionales y aquel que incorpora agregados reciclados, contribuyendo al desarrollo de alternativas sostenibles para la construcción.

1.1.5. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS

1.1.5.1. Metodología Experimental

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

Por lo tanto, el proyecto propuesto se enfoca en la realización de ensayos experimentales en probetas cilíndricas para una resistencia de 350 kg/cm², con el fin de obtener la ecuación del módulo de elasticidad.

1.1.5.2. Metodología Documental

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

1.1.5.3. Limitaciones del estudio

- El estudio a realizarse se restringe para la región Amazónica, específicamente para el cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos. Por ende, los resultados que se obtengan serán compatibles con sitios donde se presenten las mismas características del material propuesto.
- La calidad del material reciclado, se verá afectada de acuerdo a la fuente de extracción, el tratamiento que se le dé y la cantidad de impurezas que pueda presentar.
- La cantidad de sulfatos o cloruros que contenga el material reciclado podrá afectar directamente a la durabilidad del hormigón a largo plazo.
- La resistencia objetivo para el diseño del hormigón será de 350 kg/cm².

1.1.5.4. Resultados esperados

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

1.2. MARCO REFERENCIAL Y TEÓRICO

1.2.1. MARCO REFERENCIAL

Anteriormente, en Ecuador se han realizado estudios para determinar el módulo de elasticidad del hormigón. De los cuales sus resultados reflejan variación entre lo que se obtiene mediante ensayos experimentales y el módulo de elasticidad que hasta la actualidad se utiliza de acuerdo a las disposiciones del ACI 318-19. Donde la principal dispersión se debe principalmente a la procedencia de los agregados utilizados en la elaboración del hormigón, ya que sus propiedades y comportamiento son contrarias a la de otros países.

Dado esto, se consideró necesario analizar este parámetro utilizando material granular proveniente de una mina ubicada en la provincia de Sucumbíos, material reciclado y un tipo de cemento que garantice la correcta adherencia y además de proporcionar resistencia, durabilidad e impermeabilidad a los materiales utilizados para la elaboración de las probetas. Lo que finalmente se busca es determinar una ecuación de módulo de elasticidad más precisa, ajustándose a la geología de los materiales obtenidos de la mina “Gallinazo” ubicada en el cantón Lago Agrio. Esto permitirá mejorar el comportamiento futuro de las estructuras durante su vida útil e incentivará el estudio pertinente a nivel nacional.

1.2.2. MARCO TEÓRICO

1.2.2.1. Ubicación

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

1.2.2.2. Geología

Lago Agrio se encuentra sobre depósitos de limos, arenas y arcillas las cuales se diferencian por presentar formaciones geológicas con edades en su mayoría cuaternarias. Este cantón perteneciente a la provincia de Sucumbíos está ubicado en la Formación Curaray, la cual está formada por capas espesas de rocas que incluyen arcillas bien estratificadas de color verde azulado o rojizo, y en algunos lugares, también yeso. Estas arcillas alternan con areniscas de grano fino a medio, mezclas tobáceas, vetas de lignito y arcillas carbonosas negras que son comunes en la parte superior de la formación. La existencia de estos materiales es el producto de una secuencia de

ciclos sedimentarios que han sido afectados por significativos procesos de erosión y no deposición, resultado de eventos tectónicos importantes de extensión e inversión transpresiva (Obras, 2016).

1.3. MARCO CONCEPTUAL

1.3.1. AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

Los agregados para concreto son materiales inertes que tienen suficiente resistencia propia, no interfieren ni afecta el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico y aseguran una buena adherencia con la pasta de cemento (Corral, 2012).

Los agregados se clasifican según su origen y utilidad para optimizar su uso. En cuanto a su origen, se dividen en naturales y artificiales. Los **agregados naturales** son fragmentos formados por procesos naturales, como la erosión. Por otro lado, los **agregados artificiales** resultan de procesos industriales o secundarios, como la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado o la piedra chancada (Valiente Saldaña, 2021).

Además, los agregados se clasifican por su naturaleza. Los **agregados calizos** son económicos y ampliamente utilizados, especialmente en capas de firmes, aunque no son ideales para capas de rodadura debido a problemas de adhesión con ligantes asfálticos. Los **agregados silíceos**, obtenidos por trituración de gravas naturales, destacan por su resistencia mecánica, aunque presentan una baja adhesividad con los ligantes asfálticos (Valiente Saldaña, 2021).

Por último, los **agregados metamórficos e ígneos**, como granitos, basaltos y cuarcitos, son ideales para capas de rodadura debido a su resistencia al desgaste y al pulido. Sin embargo, pueden requerir el uso de activantes o emulsiones para mejorar su adhesividad. Esta clasificación permite seleccionar el tipo adecuado de agregado según las necesidades específicas de cada obra (Valiente Saldaña, 2021).

Los agregados que forman una mezcla se pueden clasificar en dos categorías principales: agregados finos y agregados gruesos.

- **Agregados finos:** Son aquellos materiales que tienen un tamaño de partículas inferior a 5 mm. Estos incluyen arena, polvo de piedra y otros materiales similares. Su principal función es llenar los vacíos entre los agregados gruesos y proporcionar cohesión en la mezcla. Los agregados finos ayudan a mejorar la trabajabilidad y la adherencia de los materiales, asegurando una distribución más uniforme de los componentes. Los agregados

finos, como la arena, se clasifican utilizando tamices con aperturas menores, generalmente de 4.75 mm o menos. A través del tamizado, se puede separar la arena en fracciones que varían en tamaño, lo que ayuda a determinar la calidad y adecuación del material para su uso en mezclas de concreto o mortero.

- **Agregados gruesos:** Son partículas de mayor tamaño, generalmente superiores a 5 mm. Están compuestos por materiales como grava, piedra triturada, y su función principal es aportar resistencia y volumen a la mezcla. Estos agregados proporcionan la estructura esquelética del concreto, ya que ocupan la mayor parte de la masa. Su tamaño y forma afectan la resistencia y durabilidad del material final, ya que un buen agregado grueso debe ser lo suficientemente fuerte para soportar las cargas y tensiones a las que se someterá el material. Los agregados gruesos, como la grava y la piedra triturada, se clasifican utilizando tamices con aperturas mayores, generalmente desde 5 mm hasta tamaños mucho mayores, dependiendo de las especificaciones. La clasificación de estos agregados permite determinar las fracciones que se ajustan a las normas requeridas para la producción de concreto de alta calidad, asfaltos o productos prefabricados.

La correcta clasificación y selección de los agregados es crucial, ya que influye en propiedades como la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad de la mezcla. Por ejemplo, la relación entre los agregados finos y gruesos, así como su granulometría (distribución de tamaños), determina la cantidad de agua necesaria para la mezcla y, por lo tanto, la consistencia del concreto.

Además, el uso adecuado de agregados puede mejorar la eficiencia económica de la mezcla, al permitir una mejor utilización de los materiales disponibles. Esto se debe a que, en algunas aplicaciones, es posible ajustar la proporción de agregados finos y gruesos para optimizar costos sin sacrificar las propiedades técnicas del producto final.

1.3.2. CEMENTO

Generalmente se emplea en conjunto con otros elementos, principalmente áridos, para crear morteros y hormigones. Cuando se mezcla con agua, el cemento fragua y se solidifica tanto en condiciones de aire como sumergido en agua. Por lo tanto, se clasifica como un conglomerante hidráulico, esta característica ha llevado a que sea un elemento fundamental en la construcción, esencial tanto para la creación de edificios como para la ejecución de proyectos de infraestructura.

El tipo más familiar y ampliamente utilizado de cemento es el cemento Portland (Sanjuán & Chinchón, 2014).

Según la norma ASTM C 150-07 especifica varios tipos de cemento Portland, los cuales cada uno tiene propiedades específicas que lo hacen adecuado para ciertas aplicaciones y condiciones. Es importante seleccionar el tipo de cemento correcto según las necesidades del proyecto y las condiciones en las que se utilizará al mismo. A continuación, en la Tabla 1, se presentan los diferentes tipos de cemento Portland:

Tabla 1.

Tipos de Cemento Portland

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

Nota: Tipos de cemento Portland según la norma ASTM C 150-07.

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

1.3.3. AGUA

Agua es un componente esencial en la mezcla de concreto, ya que interactúa químicamente con el cemento para formar una pasta que, al endurecerse, se convierte en una masa sólida. Este proceso químico, conocido como hidratación, libera energía en forma de calor, llamado calor de hidratación, y se divide en dos etapas principales: fraguado y endurecimiento (Arévalo, 2012).

El fraguado se refiere al momento en que la pasta de cemento adquiere suficiente rigidez para resistir una presión predeterminada. A partir de este punto, el material sigue endureciendo y ganando resistencia mecánica durante un período prolongado. El agua no solo permite que ocurra el fraguado, sino que también aporta la fluidez necesaria para facilitar el manejo y colocación de la mezcla (Arévalo, 2012).

1.3.4. ADITIVOS

Los aditivos químicos son compuestos que, al ser incorporados en proporciones controladas, mejoran o modifican las propiedades del hormigón fresco, endurecido y su proceso de fraguado. Entre los más utilizados destacan los **plastificantes**, que incrementan significativamente la trabajabilidad del hormigón fresco. Estos aditivos son ideales para mezclas destinadas a ser bombeadas o para zonas con alta densidad de armaduras de refuerzo. Además, permiten reducir la cantidad de agua en la mezcla sin perder trabajabilidad, lo que incrementa la resistencia del hormigón (Arévalo, 2012).

Por su parte, los **superplastificantes** (también llamados reductores de agua de alto rango) convierten hormigones convencionales en hormigones fluidos, capaces de llenar moldes complejos sin necesidad de vibración. Al mantener una trabajabilidad estándar, estos aditivos reducen la relación agua-cemento a valores cercanos a 0,30, permitiendo obtener hormigones de mediana resistencia (350–420 kg/cm²) o alta resistencia (superiores a 420 kg/cm²) (Arévalo, 2012).

- Aditivos para el fraguado y endurecimiento

- Acelerantes: Reducen el tiempo de fraguado inicial, permitiendo un desencofrado más rápido. Son útiles para proyectos con plazos ajustados o en condiciones frías. También pueden emplearse cementos de fraguado rápido o curado con vapor de agua para efectos similares (Arévalo, 2012).

- Retardantes: Retrasan el fraguado inicial, manteniendo la plasticidad del hormigón por más tiempo. Son esenciales en climas cálidos, donde el fraguado rápido podría ser problemático, y en obras masivas donde se necesita controlar la emisión de calor durante el fraguado (Arévalo, 2012).

1.3.5. HORMIGÓN

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

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

Por lo tanto, el hormigón se ha convertido en un material de construcción ampliamente utilizado en las obras civiles donde emplear una dosificación adecuada es esencial para lograr un hormigón confiable y duradero que cumpla con los estándares de calidad, seguridad y desempeño requeridos en una construcción. Para obtener una buena dosificación es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

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

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

1.3.6. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

El hormigón fresco es un material heterogéneo compuesto por elementos sólidos (áridos y cemento), líquidos (agua) y gaseosos (aire ocluido). Dentro de los sólidos, existe una notable diversidad en términos de tamaño y naturaleza de las partículas. La cantidad de hormigón producida en un solo proceso de mezclado se denomina “amasada” (Moreno, 2019).

- **Homogeneidad:** Hace referencia a la uniformidad en las características físicas y mecánicas dentro de una misma amasada, asegurando que todas sus partes mantengan propiedades consistentes (Moreno, 2019).
- **Uniformidad:** Representa la consistencia de las propiedades entre diferentes amasadas de hormigón fabricadas bajo condiciones similares (Moreno, 2019).
- **Densidad:** Es una medida fundamental de la compacidad del hormigón fresco. Su determinación se realiza según el procedimiento establecido en la norma UNE-EN 12350-6:2006, titulada “Ensayos de hormigón fresco”. Parte 6: Determinación de la densidad (Moreno, 2019).
- **Docilidad:** Se refiere a la facilidad con la que el hormigón puede colocarse y compactarse utilizando los equipos disponibles. Entre los factores que influyen en la docilidad se encuentran:
 - Cantidad de agua de amasado: Una menor cantidad de agua reduce la docilidad.
 - Granulometría y tipo de áridos: Los áridos grandes o procedentes de machaqueo tienden a disminuir la docilidad, en contraste con los áridos pequeños o naturales con formas redondeadas.
 - Contenido de cemento: Una mayor cantidad de cemento suele reducir la docilidad debido al aumento de la viscosidad de la mezcla.
- **Consistencia:** Es la medida cuantitativa de la docilidad del hormigón. La consistencia se evalúa mediante ensayos específicos, siendo el más común el ensayo del cono de Abrams. Este procedimiento utiliza un molde troncocónico de 30 cm de altura que se llena con el hormigón. Tras desmoldar, se mide la pérdida de altura de la masa fresca, expresada en centímetros, como indicador de su consistencia (Moreno, 2019).

Estas propiedades son esenciales para garantizar que el hormigón fresco cumpla con las exigencias técnicas durante su colocación y posterior endurecimiento, asegurando la calidad y durabilidad de las estructuras.

1.3.7. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

El hormigón endurecido presenta propiedades mecánicas y reológicas fundamentales para su uso en estructuras. A continuación, se detallan estas características y su relevancia técnica.

1.3.7.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

a) **Resistencia a Compresión:** La resistencia a compresión simple es la propiedad mecánica más significativa del hormigón desde el punto de vista estructural. Su evaluación se realiza mediante ensayos normalizados sobre sondas cilíndricas o cúbicas (Moreno, 2019).

La Instrucción EHE establece que la resistencia a compresión corresponde a la unidad de producto o amasada y se determina mediante probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, a los 28 días de edad. Estas probetas deben fabricarse, conservarse, refrentarse y ensayarse según métodos normalizados. La homogeneidad de cada amasada es fundamental, y las discrepancias entre resultados se atribuyen a errores en los métodos de ensayo, como el transporte, conservación y ejecución de las sondas (Moreno, 2019).

b) **Resistencia a la tracción:** El hormigón resiste adecuadamente los esfuerzos de compresión, pero presenta una capacidad limitada frente a la tracción (Moreno, 2019). Por ello, las armaduras absorben completamente estas solicitudes en estructuras armadas. Sin embargo, es crucial conocer la resistencia a tracción debido a su relación con fenómenos como: *fisuración*, que afecta la durabilidad y *ductilidad*, necesaria para evitar fallas frágiles en secciones débilmente armadas (Moreno, 2019).

1.3.7.2 PROPIEDADES REOLÓGICAS

La reología estudia la evolución de las deformaciones de un material bajo cargas aplicadas a lo largo del tiempo, abarcando tanto los comportamientos elásticos como plásticos del hormigón endurecido (Moreno, 2019).

a) **Deformaciones del Hormigón:** Las deformaciones del hormigón se clasifican en función del tipo de carga aplicada y su duración.

a) **Carga y descarga instantánea:** Cuando se aplica una carga instantánea a una probeta, esta experimenta una deformación instantánea. Al descargarla, se observa lo siguiente:

Deformación elástica recuperable: Se recupera tras retirar la carga.

Deformación remanente: No se recupera y representa una deformación permanente.

Tras un primer ciclo de carga (carga novedosa), el hormigón muestra un comportamiento elástico perfecto en cargas sucesivas.

b) **Carga mantenida:** Cuando se aplica una carga sostenida, el hormigón presenta:

Deformación elástica inicial: Aparece de forma inmediata.

Deformación plástica diferida: Aumenta con el tiempo debido a fluencia.

1.3.8. MÓDULO DE ELASTICIDAD

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

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

La comprensión del módulo de elasticidad resulta fundamental para prever la reacción de los materiales ante las cargas y su comportamiento en distintos escenarios, lo cual incide directamente en la seguridad, eficacia y funcionamiento de las construcciones y estructuras. Entonces, para realizar el cálculo del módulo de elasticidad mediante ensayos de laboratorio implica la realización de pruebas de compresión en muestras cilíndricas de hormigón.

1.3.9. 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).

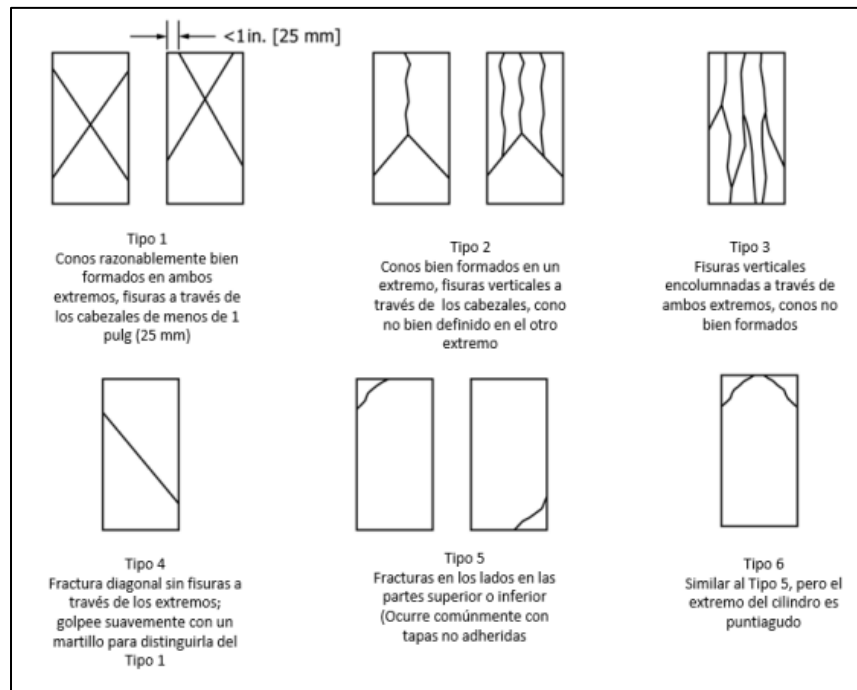
Altura Compresómetro: Es una dimensión constante en la altura del compresómetro (mm) la misma que, en conjunto con la deformación total permiten obtener la deformación unitaria del cilindro a una altura inicial (Londoño & Terán, 2019).

1.3.10. 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).

Figura 1.

Tipos de falla.



Nota: Tipos de fallas que podrá sufrir el hormigón ante fuerzas de compresión. Fuente: Norma técnica Guatemalteca.

1.3.11. 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).

1.3.12. 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).

1.3.13. 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).

1.3.14. RESISTENCIA

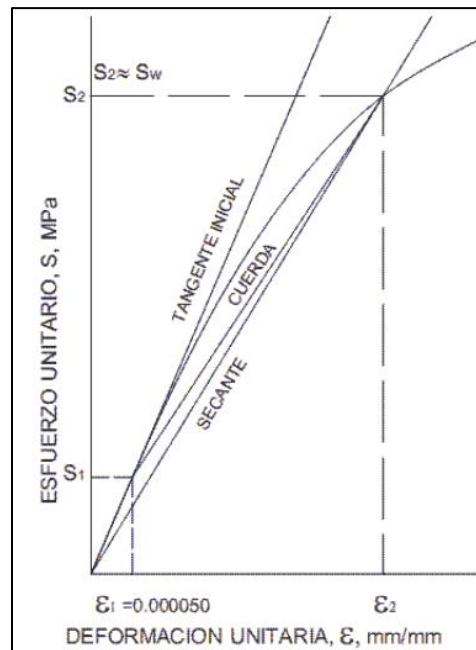
Se obtiene a partir de la división entre la carga máxima aplicada y el promedio de diámetros medidos en MPa (Londoño & Terán, 2019).

1.3.15. OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL

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

Figura 2.

Esfuerzo-deformación del hormigón



Nota: Curva de esfuerzo-deformación donde se puede indicar el módulo tangente inicial y el secante. Fuente: Londoño & Terán (2019).

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

La norma ASTM C49 es utilizada para calcular el Módulo de Elasticidad Estático y el Coeficiente de Poisson del Hormigón en Compresión. En este procedimiento, se calcula el módulo experimental de cada probeta correspondiente a su resistencia específica. Esto se logra mediante la observación y análisis de la deformación lineal experimentada por cada muestra durante el ensayo a compresión. Se registra la lectura del deformímetro en intervalos de 25000 Newtons de carga aplicada hasta que la probeta cilíndrica alcance su carga máxima y falle, es decir, se fracture (Londoño & Terán, 2019).

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

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

Donde:

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

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

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

Donde:

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

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

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

Donde:

- E: Representa el módulo de elasticidad.
- S_2 : Esfuerzo que representa el 40% de la carga máxima aplicada.
- S_1 : Esfuerzo que representa la deformación unitaria de 50 millonésima.
- ε_2 : Deformación unitaria que se obtiene a partir del esfuerzo S_2 .

CAPÍTULO II

2.1 PROCEDENCIA DE MATERIALES UTILIZADOS

2.1.1 MINA “GALLINAZO”

La mina “**Gallinazo**” es un área de libre aprovechamiento otorgada al **Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Lago Agrio**. Esta concesión comprende un total de 11 hectáreas mineras contiguas. El área está diseñada para una producción diaria de 650 m³/día, lo que equivale a un volumen total estimado de 490.174 m³ de material.

La ubicación de la mina se encuentra en el sector de Las Gabarras, parroquia de Nueva Loja, cantón Lago Agrio, en la provincia de Sucumbíos. El sitio de la mina se accede desde la ciudad de **Lago Agrio**, utilizando la vía hacia **el Coca**. Al llegar al sector de **Las Gabarras**, se continúa por una vía lastrada que lleva directamente al área de interés.

2.1.2 MATERIAL RECICLADO

Para la fabricación de las probetas de hormigón, se empleó material reciclado obtenido de desechos de adoquines retirados de vías y otras estructuras urbanas deterioradas. Este material fue procesado mediante trituración y clasificación, logrando obtener agregados reciclados adecuados para su uso en mezclas de hormigón.

2.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Los agregados finos y gruesos constituyen aproximadamente entre el 60% y 75% del volumen total del hormigón, lo que resalta su importancia en la calidad y desempeño de los mismos (Yura, sf). Por lo tanto, se deberán someterse a los controles de calidad que cumplan con las normas

nacionales INEN e internacionales ASTM, garantizando que sus características contribuyan de manera efectiva a la conformación y durabilidad del hormigón.

A continuación, se presenta la tabla 2 y tabla 3 que resumen los ensayos más comunes realizados a los agregados finos y gruesos, destacando las propiedades esenciales evaluadas.

Tabla 2.

Ensayos de agregado fino

Ensayo	Normativa Nacional	Normativa Internacional
Granulometría	(NTE INEN 696, 2011)	ASTM C033, C125
Densidad aparente suelta y compacta	(NTE INEN 858, 2010)	ASTM C029
Densidad real peso específico	(NTE INEN 857, 2010)	ASTM C128
Capacidad de Absorción	(NTE INEN 857, 2010)	ASTM C070
Colorimetría	(NTE INEN 855, 2010)	ASTM C040

Nota: Los ensayos descritos garantizan la calidad y características físicas y mecánicas de los agregados finos.

Tabla 3.

Ensayos de agregado grueso

Ensayo	Normativa Nacional	Normativa Internacional
Granulometría	(NTE INEN 696, 2011)	ASTM C033, C125
Densidad aparente suelta y compacta	(NTE INEN 858, 2010)	ASTM C029
Densidad real peso específico	(NTE INEN 857, 2010)	ASTM C128
Capacidad de Absorción	(NTE INEN 857, 2010)	ASTM C070
Abrasión	(NTE INEN 860, 2011)	ASTM C131

Nota: Los ensayos descritos garantizan la calidad y características físicas y mecánicas de los agregados gruesos.

2.3 ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

2.3.1 CONTENIDO ORGÁNICO

Cuando se tiene indicios de que un material presenta un elevado contenido de materia orgánica, debido a su color oscuro y olor característico, se realiza un ensayo cualitativo al agregado fino para identificar la presencia de impurezas orgánicas. Si se confirma que el agregado posee un alto nivel de materia orgánica, se procede a un ensayo cuantitativo para determinar con precisión la cantidad presente en la muestra (Campos, 2017).

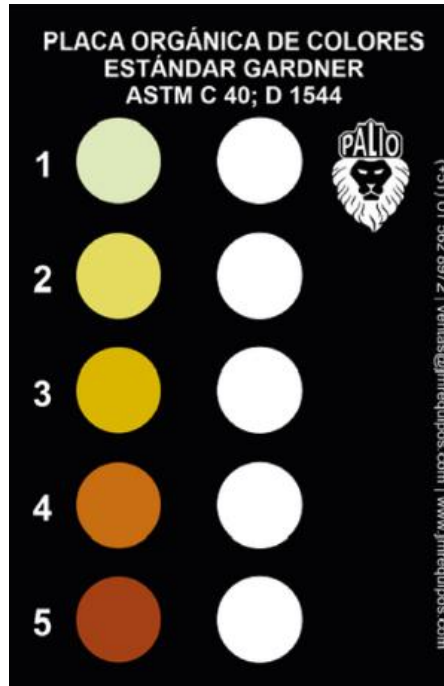
De acuerdo con la norma técnica ecuatoriana **NTE-INEN-855:2010**, *Áridos: Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*, se establece el método para identificar, de manera aproximada, la presencia de cantidades inapropiadas de impurezas orgánicas en los áridos finos destinados a morteros y hormigones. Esta norma describe dos procedimientos: el primero utiliza una solución de color normalizado, y el segundo emplea un comparador de colores estándar como referencia (NTE INEN 855, 2010).

Para llevar a cabo el ensayo, se añade una solución de hidróxido de sodio normalizada a una muestra de árido fino, la cual se agita y se deja reposar durante 24 horas. Posteriormente, se compara el color del líquido sobrenadante con el de la solución normalizada o con el comparador de colores. Este procedimiento permite determinar si el árido fino contiene niveles inapropiados de impurezas orgánicas (NTE INEN 855, 2010).

Para la interpretación del color, se empleará como referencia la escala de colores normalizada Gardner, presentación en la Figura 3. El color obtenido en el ensayo será comparado con esta escala, como se ilustra en la Figura 4, para determinar la presencia y cantidad de impurezas orgánicas.

Figura 3.

Escala de colores estándar GARDNER



Nota: Escala de colores estándar Gardner utilizada para evaluar la presencia de impurezas orgánicas en agregados finos según la norma ASTM C 40 y D 1544.

Figura 4.

Interpretación de color contenido materia orgánica

Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5

NOTA. Se debe utilizar el procedimiento de comparación descrito en el numeral 5.7.1, excepto que se debe reportar el número del vidrio del comparador que es más cercano al color del líquido que sobrenada sobre la muestra de ensayo. Cuando se utiliza este procedimiento, no es necesario preparar la solución de color normalizado.

Nota: La figura muestra la relación entre el color normalizado en la escala de Gardner y el número de orden en el comparador, utilizada para interpretar el contenido de materia orgánica en una muestra.

2.3.1.1 RESULTADOS DEL ENSAYO

La muestra sujeta a este procedimiento, produce un color estándar Gardner No. 8 de la placa orgánica y el color No.2 del comparador, por lo tanto, el agregado fino bajo prueba NO presenta impurezas orgánicas perjudiciales, como se evidencia en la Tabla 4.

Tabla 4.

Ensayos de contenido de materia orgánica

Descripción	Indicador
Color conforme a la escala de Gardner	5
Color determinado en el ensayo	1

Nota: Los colores registrados en el ensayo corresponden a la comparación visual del respectivo ensayo.

2.3.2 GRANULOMETRÍA

La granulometría se refiere a la distribución de tamaños de partículas dentro de un material, obtenida a través de un proceso de tamizado, asegurándose de que las partículas sean de dimensiones uniformes o no excedan los límites establecidos por la norma NTE INEN 872:2011. Los resultados de este análisis sirven como base para el diseño de mezclas de hormigón, determinando las proporciones adecuadas para una mezcla óptima según el método del ACI (Hernández & Saravia, 2018).

Por lo tanto, la granulometría desempeña un papel fundamental en la construcción, ya que impacta directamente las propiedades mecánicas del hormigón, como su resistencia, trabajabilidad y durabilidad. Un control adecuado garantiza un desempeño óptimo del material bajo diversas condiciones de carga y entorno. En este contexto, el ensayo Áridos para Hormigón según la norma NTE INEN 872:2011 establece los requisitos específicos de granulometría y calidad para los agregados finos y gruesos destinados a su uso en hormigón.

Para determinar la granulometría, se emplea el método del tamizado, una técnica ampliamente utilizada que permite clasificar las partículas de un material según su tamaño. Este proceso consiste en hacer pasar los agregados por una serie de tamices con aberturas decrecientes, lo que permite obtener una distribución granulométrica precisa.

2.3.3 AGREGADO FINO

El agregado fino es un material esencial en la elaboración de concreto, compuesto principalmente por arena natural, arena elaborada o una combinación de ambas. Su calidad y características deben cumplir con los requisitos establecidos en las normativas técnicas para asegurar su rendimiento en mezclas de concreto, garantizando propiedades como resistencia, trabajabilidad y durabilidad (NTE INEN 872, 2011).

En cuanto a su gradación, el agregado fino debe cumplir con un análisis granulométrico que determine la distribución de tamaños de partículas, el cual se realiza mediante un proceso de tamizado utilizando tamices específicos según la norma NTE INEN 154. El porcentaje que pasa por cada tamiz debe mantenerse dentro de los límites establecidos para asegurar una distribución uniforme, lo que contribuye a mejorar la cohesión y la densidad del concreto (NTE INEN 872, 2011). Además, la normativa establece que el agregado fino no debe tener más del 45% retenido entre tamices consecutivos, y su módulo de finura debe situarse entre 2,3 y 3,1. Estos parámetros son clave para garantizar que el agregado sea adecuado para su uso en concreto, permitiendo diseñar mezclas óptimas que cumplan con las exigencias estructurales y normativas (NTE INEN 872, 2011).

A continuación, se indica en la Tabla 5, los límites para la gradación del árido fino:

Tabla 5.

Análisis granulométrico del agregado fino

TAMIZ (NTE INEN 154)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
9.5 mm	100
4.75mm	95 a 100
2.36mm	80 a 100
1.18mm	50 a 85
600µm	25 a 60
300µm	5 a 30
150µm	0 a 10

Nota: Límites para gradación para los áridos finos. Fuente: NTE INEN 872, 2011

▪ **RESULTADOS OBTENIDOS DE LA GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDO FINO**

Tabla 6.

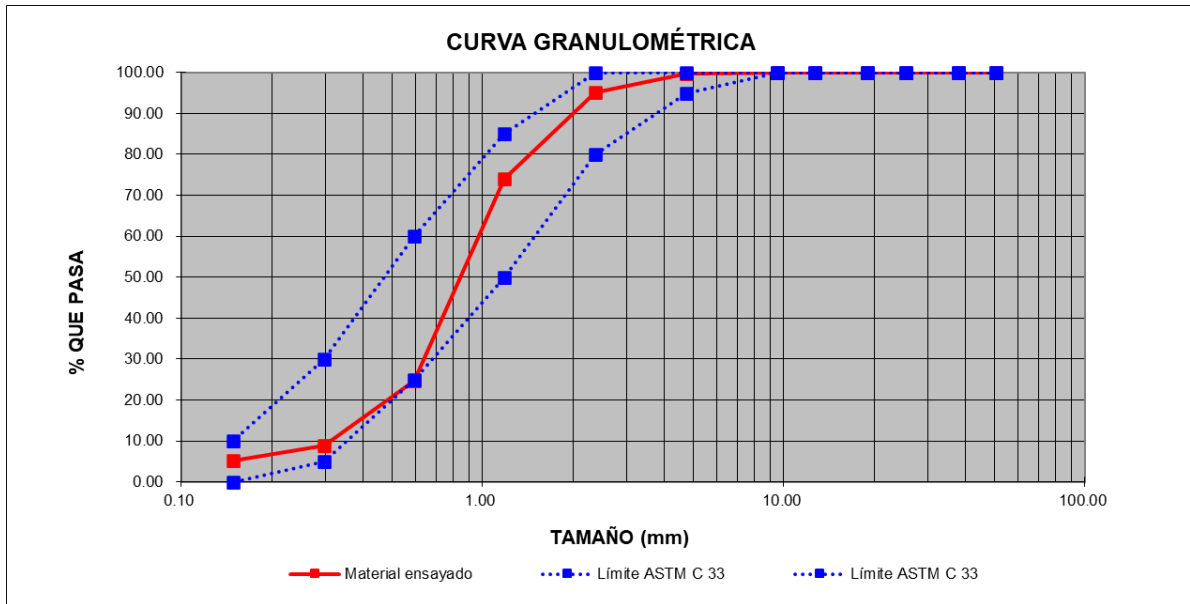
Resultados del análisis granulométrico del agregado fino

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	5	5	0.32	99.68
No.8	2.36	69	74	4.80	95.20
No.16	1.18	323	397	25.92	74.08
No.30	0.60	757	1154	75.36	24.64
No.50	0.30	243	1397	91.20	8.80
No.100	0.15	54	1450	94.72	5.28
PASA No. 100		81	81		
SUMA		1531	1531		
MASA INICIAL		1531.30			
MÓDULO DE FINURA		2.92			

Nota: Datos obtenidos del ensayo de granulometría del árido fino.

Figura 5.

Curva Granulométrica del árido fino



Nota: La curva granulométrica muestra la distribución de tamaños de partículas del agregado fino comparada con los límites especificados por la norma ASTM C33.

2.3.4 AGREGADO GRUESO

El árido grueso puede estar compuesto por grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de altos hornos enfriada al aire o concreto hidráulico triturado, así como combinaciones de estos materiales, siempre y cuando cumplan con los requisitos establecidos en la normativa (NTE INEN 872, 2011).

En cuanto a su gradación, el árido grueso debe ajustarse a los parámetros de tamaño especificados en la Figura 6. Sin embargo, se permite el uso de áridos que no cumplan estrictamente con estos requisitos, bajo dos condiciones: primero, que hayan sido sometidos a pruebas previas que demuestren su buen desempeño en aplicaciones prácticas; y segundo, que su uso cuente con la aprobación explícita tanto del especialista en hormigones como del responsable de la obra.

Figura 6.

Requisitos de gradación para áridos gruesos

TABLA 2. Requisitos de gradación para áridos gruesos

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	25,0 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	
9 ^A	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	

Nota: Límites para gradación para los áridos gruesos. Fuente: NTE INEN 872, 2011

▪ **RESULTADOS OBTENIDOS DE LA GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDO GRUESO**

Tabla 7.

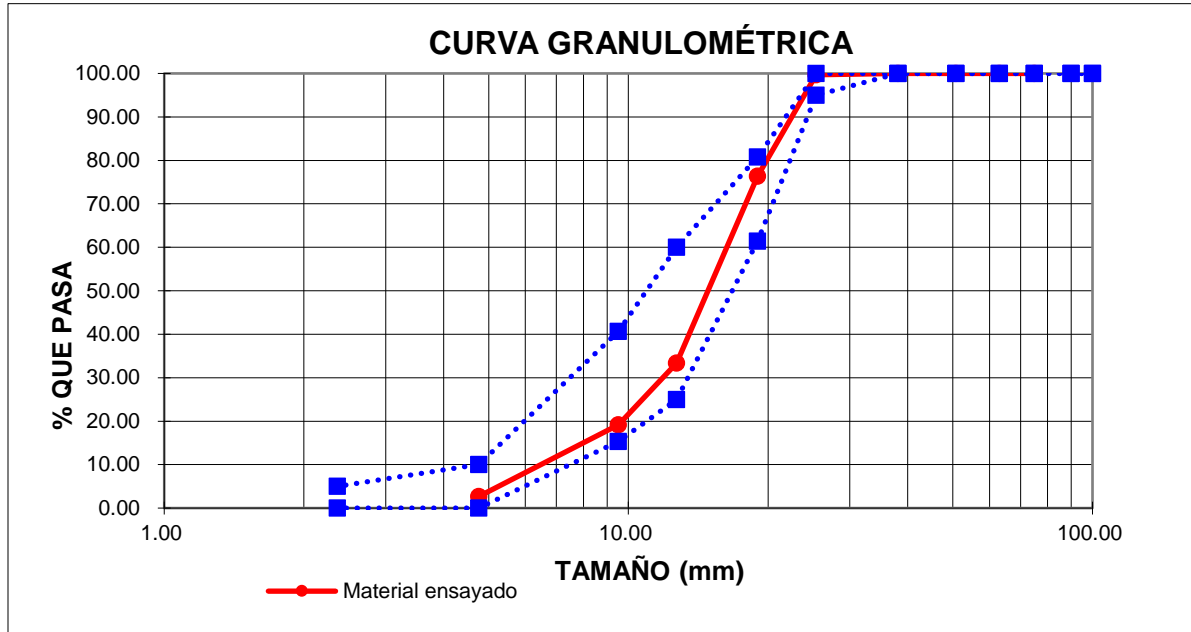
Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso

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	36	36	0.32	99.68
3/4"	19.00	2638	2674	23.61	76.39
1/2"	12.70	4876	7550	66.67	33.33
3/8"	9.51	1609	9160	80.88	19.12
No.4	4.76	1863	11023	97.33	2.67
PASA No. 4		302	302		
SUMA		11325	11325		

Nota: Datos obtenidos del ensayo de granulometría del árido grueso.

Figura 7.

Curva Granulométrica del árido grueso



Nota: La curva granulométrica muestra la distribución de tamaños de partículas del agregado grueso comparada con los límites especificados por la norma ASTM C33.

2.3.5 GRANULOMETRÍA COMPLETA

Tabla 8.

Resultados del análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos

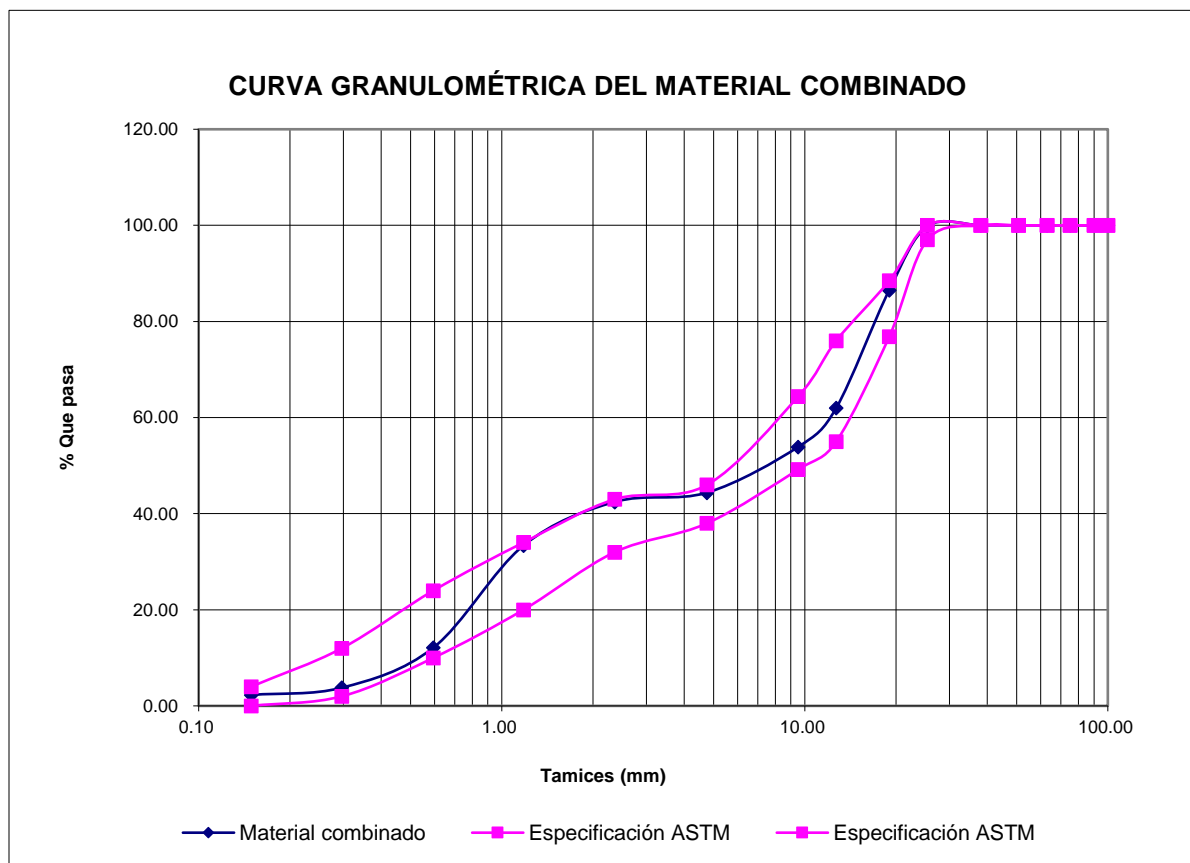
Malla		Especificaciones ASTM C33		Ag. Grueso % que pasa	Ag. Fino % que pasa	Mezcla de los materiales
plg.	mm	Material de tamaño máximo 1 plg				
4"	100.00	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00
3 1/2"	90.00	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00
3"	75.00	100.0	100.0	100.00	100.0	100.00
2 1/2"	63.00	100.0	100.0	100.00	100.0	100.00
2"	50.80	100.0	100.0	100.00	100.0	100.00
1 1/2"	38.10	100.0	100.0	100.00	100.0	100.00
1"	25.40	97.0	100.0	99.68	100.0	99.82
3/4"	19.00	76.8	88.5	76.39	100.0	86.54
1/2"	12.70	55.0	76.0	33.33	100.0	62.00
3/8"	9.51	49.2	64.4	19.12	100.0	53.90
No.4	4.76	38.0	46.0	2.67	99.7	44.38

No.8	2.36	32.0	43.0	2.67	95.2	42.46
No.16	1.18	20.0	34.0	2.67	74.1	33.37
No.30	0.60	10.0	24.0	2.67	24.6	12.11
No.50	0.30	2.0	12.0	0.00	8.8	3.78
No.100	0.15	0.0	4.0	0.00	5.3	2.27

Nota: Datos obtenidos del ensayo de granulometría del árido fino y grueso.

Figura 8.

Curva Granulométrica material combinado



Nota: Curva granulométrica de distribución de tamaños de partículas del material combinado comparado con los límites especificados por la norma ASTM.

▪ ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados presentados en la Tabla 8 corresponden al análisis granulométrico de los materiales que componen la mezcla de concreto diseñada para este proyecto. Los valores de proporciones del agregado grueso y fino han sido determinados con base en las características requeridas para asegurar una adecuada trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto.

Tabla 9.

Resultados del análisis granulométrico completo

PROPORCIONES DEL MATERIAL	
Agregado grueso	57
Agregado fino	43

RESULTADOS DE CURVA GRANULOMÉTRICA COMPLETA	
% Que pasa el tamiz 3/8"	53.9
% Que retiene el tamiz 3/8"	46.1

Nota: Los porcentajes de agregados gruesos y finos corresponden a las especificaciones técnicas del proyecto, ajustadas a las condiciones y materiales disponibles.

En cuanto a la curva granulométrica completa indicada en la Figura 8, los porcentajes indicados para el tamiz 3/8" representan la distribución del material, cumpliendo con las especificaciones conforme a la normativa NTE INEN 872, 2011. Esto garantizará una gradación adecuada mejorando el desempeño del concreto tanto en estado fresco como endurecido.

Se recomienda que estos valores sean utilizados exclusivamente para este diseño en particular, ya que cualquier variación en los materiales o en las condiciones del proyecto podría requerir un nuevo análisis granulométrico para ajustar la mezcla.

2.3.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica se describe como la proporción entre la masa de una cantidad definida de sólidos a una temperatura específica y la masa de un volumen equivalente de agua, sin presencia de espacios vacíos, a la misma temperatura (Aimacaña Tumbaco & Toasa Cedeño, 2024). Por lo tanto, el ensayo de gravedad específica permite determinar la densidad relativa de los materiales sólidos, como los agregados o el cemento, siendo esencial para calcular las proporciones de la mezcla, ajustar la cantidad de agua requerida y garantizar la calidad y resistencia del hormigón en su dosificación.

2.3.7 ABSORCIÓN

La absorción es el aumento de la masa del agregado causado por la entrada de agua en los poros de las partículas, durante un tiempo determinado, excluyendo el agua superficial, y se expresa como un porcentaje de la masa seca del material (Universidad Centroamericana, 2001).

Este ensayo es fundamental para la elaboración de las probetas de hormigón, ya que permite ajustar la relación agua/cemento (a/c) al determinar la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos de los agregados. Garantizando una mezcla homogénea y adecuada, para que las probetas de hormigón tengan las propiedades óptimas para evaluar la resistencia y calidad de las mismas.

Los resultados obtenidos del ensayo de gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino y grueso se indicarán en la tabla 10 y tabla 11, respectivamente.

Tabla 10.

Gravedad específica y porcentaje de absorción de agregado fino

Parámetro	Valor	Unidad
Masa del matraz [Mm]	159.50	gr
Masa del matraz + agua [B]	659.50	gr
Masa conjunto matraz, agua y muestra [C]	972.40	gr
Masa de muestra saturada con superficie seca [S]	500.05	gr
Masa de la muestra seca [A]	490.55	gr
Gravedad específica seca= $A / (B + S - C)$	2.62	-
Gravedad específica saturada con superficie seca= $S / (B + S - C)$	2.67	-
Gravedad específica aparente= $A / (B + A - C)$	2.76	-
Porcentaje de absorción [Ab]	1.9	%

Nota: Los datos obtenidos son fundamentales para ajustar la relación agua/cemento en la mezcla de hormigón.

Tabla 11.*Gravedad específica y porcentaje de absorción de agregado grueso*

Parámetro	Valor	Unidad
Masa de la muestra seca [A]	2318.05	gr
Masa de muestra saturada con superficie seca [B]	2341.50	gr
Masa aparente de la muestra saturada con superficie seca [C]	1464.00	gr
Gravedad específica seca= $A / (B - C)$	2.64	-
Gravedad específica saturada con superficie seca= $B / (B - C)$	2.67	-
Gravedad específica aparente= $A / (A - C)$	2.71	-
Porcentaje de absorción [Ab]	1.0	%

Nota: Los datos obtenidos son fundamentales para ajustar la relación agua/cemento en la mezcla de hormigón.

2.3.8 PESO UNITARIO

El peso unitario de los agregados se define como la masa de un volumen específico de agregado, que incluye tanto el volumen de las partículas como los espacios vacíos entre ellas. En términos simples, consiste en calcular la densidad total dividiendo la masa del agregado seco (compactado o consolidado) por el volumen que ocupa, considerando los vacíos de aire y los de absorción. Este valor, expresado en lbf/pie³ o kg/m³, es esencial para dosificar correctamente las mezclas de concreto hidráulico y realizar conversiones entre masa y volumen al aceptar materiales en obra (Universidad Centroamericana “José Simeon Cañas,” n.d.).

Por lo cual, el ensayo de peso unitario permite analizar cómo se comportan los agregados en situaciones similares a las de una mezcla de concreto en uso. También permite determinar sus pesos unitarios en estado natural y en estado compactado, en la Tabla 12 y Tabla 13 se indican los resultados obtenidos del respectivo ensayo.

Tabla 12.*Peso unitario del agregado fino*

Parámetro	Valor	Unidad
Masa del molde [P]	5050.00	gr
Volumen del molde [V]	2980.00	cm ³
Masa molde + material suelto [A]	9230.50	gr
Masa molde + material compacto [B]	9757.00	gr
Masa del material suelto=A-P [Ms]	4180.50	gr
Masa del material compactado=B-P [Mc]	4707.00	gr
Peso unitario suelto Ms/V	1403.00	kg/m ³
Peso unitario compacto Mc/V	1580.00	kg/m ³

Nota: Los valores obtenidos corresponden a un ensayo realizado bajo condiciones estándar, siguiendo la normativa aplicable para la determinación del peso unitario de los agregados.

Tabla 13.*Peso unitario del agregado grueso*

Parámetro	Valor	Unidad
Masa del molde [P]	3819.00	gr
Volumen del molde [V]	6878.00	cm ³
Masa molde + material suelto [A]	11860.00	gr
Masa molde + material compacto [B]	12828.50	gr
Masa del material suelto=A-P [Ms]	8041.00	gr
Masa del material compactado=B-P [Mc]	9009.50	gr
Peso unitario suelto Ms/V	1169.00	kg/m ³
Peso unitario compacto Mc/V	1310.00	kg/m ³

Nota: Los valores obtenidos corresponden a un ensayo realizado bajo condiciones estándar, siguiendo la normativa aplicable para la determinación del peso unitario de los agregados.

2.3.9 DESGASTE POR ABRASIÓN

La norma NTE INEN 860:2011, describe el procedimiento para evaluar la degradación de áridos gruesos con un tamaño menor a 37,5 mm, mediante la medición de la pérdida de masa causada por desgaste e impacto utilizando la máquina de Los Ángeles. Este ensayo cuantifica la resistencia al desgaste y fragmentación de los agregados minerales con una gradación normalizada, considerando los efectos combinados de abrasión, impacto y trituración en un tambor giratorio de acero equipado con un número específico de esferas de acero, el cual se determina en función de la gradación del material ensayado.

El proceso consiste en introducir el árido junto con las esferas de acero en el tambor giratorio. Durante la rotación, una plataforma dentro del tambor eleva los materiales, permitiendo que caigan hacia el lado opuesto del tambor. Este movimiento genera un efecto combinado de impacto y trituración. A medida que el tambor continúa girando, los agregados y las esferas de acero experimentan una acción de molido adicional. Este ciclo se repite continuamente durante un número preestablecido de revoluciones.

Una vez completadas las revoluciones especificadas, el contenido del tambor se retira y el árido restante se tamiza. La degradación del material se calcula como un porcentaje de pérdida de masa, proporcionando un indicador de la resistencia del árido al desgaste bajo condiciones específicas de ensayo. Este método es fundamental para evaluar la calidad y durabilidad de los áridos utilizados en proyectos de construcción e ingeniería civil.

A continuación, se presentan en la Tabla 14 los resultados de los ensayos de abrasión realizados sobre el agregado grueso:

Tabla 14.

Ensayo de abrasión del agregado grueso

Parámetro	Valor	Unidad
Tipo de gradación	B	-
Tamaño máximo nominal del agregado	1	plg
Masa inicial de la muestra [A]	5000.00	gr
Masa retenida en el tamiz No.12 después de 500 revoluciones [B]	3062.00	gr
Masa que pasa el tamiz No.12 [C]	1938.00	gr
Porcentaje de desgaste	39	%

Nota: El porcentaje de desgaste obtenido de 39%, indica que el agregado es adecuado para su uso en hormigones estructurales y construcciones generales, cumpliendo con los requisitos de resistencia al desgaste.

2.3.10 CONTENIDO DE HUMEDAD

La composición interna de las partículas de un agregado está formada por materia sólida y poros. Estos poros pueden contener agua o estar vacíos, lo que influye en las diferentes condiciones de humedad que puede presentar el agregado (Calderón Jalca, 2021).

En una condición completamente **seca**, todos los poros están vacíos y no contienen agua en absoluto. Esta es la situación en la que el agregado no ha absorbido humedad de su entorno. Cuando el agregado está **húmedo**, pero no saturado, algunos de sus poros contienen agua, pero no están completamente llenos. Esto indica que ha habido absorción parcial, sin alcanzar la capacidad total de los poros. En el estado **saturado y superficialmente seco**, todos los poros están llenos de agua, pero la superficie del agregado permanece seca. Es decir, la absorción es total, pero no hay agua adherida externamente al material. Finalmente, en el estado **húmedo sobresaturado**, los poros están completamente llenos de agua y, además, la superficie del agregado presenta agua libre. Este es el caso en el que el material ha absorbido toda el agua posible y aún retiene un excedente en la superficie (Calderón Jalca, 2021).

La normativa NTE INEN 862:2011, que regula la determinación del contenido total de humedad en áridos, establece un método de ensayo adecuado para aplicaciones comunes en la construcción, como el ajuste de proporciones en mezclas de hormigón. Este método permite medir de manera confiable la humedad presente en la muestra analizada, aunque no considera posibles fluctuaciones de humedad que puedan ocurrir en el material almacenado.

En casos donde los áridos son sensibles al calor o se requiere una mayor precisión en los resultados, es recomendable realizar el ensayo utilizando un horno ventilado con control de temperatura. Este procedimiento garantiza mediciones más precisas, lo cual es especialmente importante en aplicaciones técnicas que demandan un alto grado de exactitud (NTE INEN 862, 2011).

A continuación, se presentan en la Tabla 15 los resultados de los ensayos de contenido de humedad de los agregados:

Tabla 15.

Ensayo de contenido de humedad en los agregados

Parámetro	Valor	Unidad
AGREGADO GRUESO		
Masa del agregado en estado natural	500.00	gr
Masa del agregado seco al horno	467.00	gr
Contenido de humedad	0.60	%
AGREGADO FINO		
Masa del agregado en estado natural	400.00	gr
Masa del agregado seco al horno	392.50	gr
Contenido de humedad	1.91	%

Nota: El contenido de humedad determinado para el agregado grueso y fino se encuentra dentro de los rangos típicos de absorción que son del 0.2% - 4% para el agregado grueso y 0.2% - 2% para el agregado fino.

CAPÍTULO III

Dentro del capítulo III se detallará el procedimiento y cálculos necesarios para la obtención de una dosificación óptima correspondiente a hormigones de alta resistencia, para lo cual, se espera obtener resistencias a 350 kg/cm².

3.1 DISEÑO DE MEZCLAS

Actualmente existen distintas metodologías mismas que han evolucionado, permitiendo diseñar una mezcla de hormigón basada en métodos empíricos, experimentales y analíticos, en base a la resistencia requerida.

El determinar una dosificación de hormigón correcta se vuelve base fundamental ya que, es allí de donde se obtendrán las distintas propiedades determinantes tal como se explicó en el capítulo anterior, propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Así mismo es necesario determinar propiedades tales como: la de los agregados que serán incorporados en dicha mezcla, y finalmente las del cemento a ser utilizado.

Una vez definidas las propiedades se procede a realizar los cálculos respectivos, que permitirán definir la dosificación necesaria de acuerdo a los requerimientos.

3.2 DOSIFICACIÓN AL PESO SEGÚN MÉTODO ACI

Los métodos empleados para determinar la dosificación óptima del hormigón tienen por finalidad indicar y/o presentar valores experimentales (proporciones) de los diferentes componentes del hormigón, los cuales precisarán características como: consistencia, compacidad, resistencia mecánica, durabilidad, entre otros. Según Londoño y Terán (2019):

La elección del método ACI se fundamenta en la obtención de una mayor precisión en cuanto a las cantidades de material y agua necesarios para lograr una resistencia requerida. Por ello, se considera adecuado su uso, el cual presenta tablas estandarizadas que indican valores idóneos para realizar la dosificación que igualmente debe ser verificada mediante la elaboración de mezclas de prueba previas con el objetivo de realizar los ajustes necesarios y conseguir las características esperadas en el hormigón fresco y endurecido. (p. 33)

La existencia de tablas estandarizadas permite conocer desde un inicio la relación de materiales a considerarse como primer paso, siendo así que el incremento o reducción de los mismo, dependerá de la resistencia que se desee alcanzar.

3.2.1 ASENTAMIENTO

El ensayo de asentamiento mide la consistencia del hormigón, dicho valor podría variar de acuerdo a las proporciones de cemento y agregados considerados; por tal motivo, es de suma importancia determinar un límite de asentamiento basado en el tipo de construcción a realizarse, ya que, al no cumplirse con tal límite, se vería afectada la consistencia y resistencia del material. Según (Kosmatka et al. (2004):

En caso de no especificarse un valor de asentamiento esperado, sea por método experimental o teórico. Kosmatka et al. (2004) plantean que se podría considerar que se puede elegir de la **Tabla 16** un valor aproximado para la consolidación mecánica del concreto. Siendo así que, para el ajuste de la mezcla, se debe aumentar el asentamiento en cerca de 10 mm con la adición de 0.002 m³ de agua por metro cúbico de concreto (Kosmatka et al., 2004).

Tabla 16.

Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción

Tipos de construcción	Máximo asentamiento	Mínimo asentamiento
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75.00	25.00
Zapatas, cajones y muros de subestructura sin refuerzo	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
Concreto masivo	75.00	25.00

Nota. Se presentan los límites de asentamientos esperados para los diferentes tipos de construcción. Elaborado por: La Autora. Fuente: Kosmatka et al. (2004).

3.3 AGUA NETA Y CONTENIDO DE AIRE

3.3.1 TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE AGREGADOS

Se obtiene de la abertura del tamiz inmediatamente superior al tamiz que retenga al menos un 15% o más del material a emplearse. La determinación de dicho valor procede del análisis granulométrico, el mismo que hace referencia al tamaño de las partículas del agregado en forma conjunta. Se puede diferenciar del tamaño máximo puesto que, define de mejor forma el tamaño de las partículas más grandes del agregado en su fracción gruesa (Universidad Militar Nueva Granada, s.f.). Cabe recalcar que, no necesariamente el tamaño máximo y el tamaño máximo nominal deberán concordar.

Considerar que, el tamaño máximo nominal del agregado no deberá exceder:

- 1/5 de la dimensión más pequeña del elemento a fundir,
- 1/3 de la profundidad de las losas,
- 3/4 del menor espaciamiento entre varillas de reforzamiento.

A continuación, se presentan un resumen del valor considerado de asentamiento, así también de TM y TMN obtenidos de la granulometría del agregado grueso.

Tabla 17.

Valor de asentamiento, TMN y TM

Descripción	Valor
Asentamiento propuesto según tipo de construcción	80 mm
Tamaño máximo nominal	1 plg
Tamaño máximo	1 1/2 plg

Nota. Se presentan los valores de asentamientos, tamaños máximo y máximo nominal.

Elaborado por: La Autora.

3.3.2 CONTENIDO DE AIRE Y AGUA EN LA MEZCLA

Definido el tamaño máximo nominal del agregado grueso se da paso a determinar el contenido de agua que se requiere para la mezcla de hormigón, lo que facilitará su trabajabilidad, adherencia e hidratación. Para el caso de análisis se considera un asentamiento de 80 mm, así como un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1 pulg (25 mm) definido del ensayo de granulometría, para con ello finalmente obtener la cantidad de aire y agua respectivamente, de acuerdo a lo que indica la Tabla 18. Siendo para este caso 193 kg/m³ (agua neta) y un porcentaje de aire naturalmente atrapado de 1.5 %.

Tabla 18.*Recomendaciones para cantidades de agua y contenido de aire del hormigón*

Agua de mezcla, hormigón sin aire incluido "NA"								
Tamaño máximo nominal del agregado / Asentamiento	3/8 plg	1/2 plg	3/4 plg	1 plg	1 1/2 plg	2 plg	3 plg	6 plg
25 a 50	207.00	199.00	190.00	179.00	166.00	154.00	130.00	113.00
75 a 100	228.00	216.00	205.00	193.00	181.00	169.00	145.00	124.00
150 a 175	243.00	228.00	216.00	202.00	190.00	178.00	160.00	-
Aire naturalmente atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Agua de mezcla, hormigón con aire incluido "A"								
25 a 50	181.00	175.00	168.00	160.00	150.00	142.00	122.00	107.00
75 a 100	202.00	193.00	184.00	175.00	165.00	157.00	133.00	119.00
150 a 175	216.00	205.00	197.00	184.00	174.00	166.00	154.00	-
Contenido de aire (hormigón con aire incluido)								
Exposición media	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
Exposición moderada	6.00	5.50	5.00	4.50	4.50	4.00	3.50	3.00
Exposición extrema	7.50	7.00	6.00	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00

Nota. Se presentan las cantidades de agua y aire recomendables en el hormigón de acuerdo a TMN y asentamiento. Elaborado por: La Autora. Fuente: Kosmatka et al. (2004).

3.3.3 RELACIÓN AGUA-CEMENTO

De acuerdo a la resistencia de diseño que se desea alcanzar y de forma que, la dosificación cumpla con la resistencia prevista, un parámetro importante es la relación agua/cemento, siendo esta la que evitara se produzca desecación y retracción prematura en la mezcla. Además, aporta trabajabilidad, hidratación suficiente del cemento y gran durabilidad; Existen tabulaciones empíricas que indican o dan referencia de dicho valor, pudiendo ser un valor óptimo o punto de partida, tal como propone Kosmatka et al. (2004).

Figura 9.

Relación agua-cemento de acuerdo a resistencia requerida

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

Nota. La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). Fuente: Kosmatka et al. (2004).

3.4 DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PREVIO

Se han evaluado cuatro dosificaciones las mismas que varían su relación agua/cemento, se realiza con el objetivo de obtener una relación óptima para alcanzar la resistencia de diseño esperada. Los porcentajes de los agregados utilizados son 43% de agregado fino y 57% de agregado grueso, según los resultados previos. A continuación, se muestra una tabla con las particularidades de cada mezcla; considerando un asentamiento de 80 mm.

Tabla 19.

Relación agua-cemento propuestas

Relación A/C	Agregado	% Humedad	% Absorción	Estado SSS [kg/m3]	Estado Seco [kg/m3]	Estado Natural [kg/m3]	Cemento [kg/m3 de hormigón]	Agua neta [kg/m3]	Agua de mezcla [kg/m3]
0.3	Grueso	1.01	1.01	726.91	719.63	726.90	821.67	246.50	235.94
	Fino	3.90	1.94	548.37	537.96	558.94			
0.4	Grueso	1.01	1.01	819.97	811.76	819.96	629.05	246.50	234.59
	Fino	3.90	1.94	618.58	606.82	630.5			
0.5	Grueso	1.01	1.01	885.70	876.83	885.69	493.00	246.50	233.64
	Fino	3.90	1.94	668.16	655.47	681.04			
0.6	Grueso	1.01	1.01	925.40	916.13	925.38	410.83	246.50	233.06
	Fino	3.90	1.94	698.11	684.84	711.56			

Nota. Se presentan las cantidades de agua y cemento de acuerdo a la relación considerada.

Elaborado por: La Autora.

Tabla 20.

Resumen de cantidades consideradas en la dosificación

Relación A/C	0.3	0.4	0.5	0.6
N° Cilindros	4	4	4	4
Volumen de hormigón a mezclar (kg)	0.03	0.03	0.03	0.03
Agua neta (kg)	6.22	6.22	6.22	6.22
Agua de mezcla (kg)	5.95	5.92	5.90	5.88
Cemento (kg)	20.73	15.87	12.44	10.37
Agregado fino (kg)	14.10	15.91	17.19	17.96
Agregado grueso (kg)	18.34	20.69	22.35	23.35
Aditivo 1% (kg)	0.21	0.16	0.12	0.10

Nota. Se presentan las cantidades de material de acuerdo a la relación A/C considerada.

Elaborado por: La Autora.

3.4.1 RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS DOSIFICACIONES PREVIAS

Tal como se mencionó anteriormente, se han ensayado cuatros probetas por cada relación de agua-cemento propuestas entre ellas a 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6; mismas que han sido ensayadas a los 14 y 28 días respectivamente.

Tabla 21.

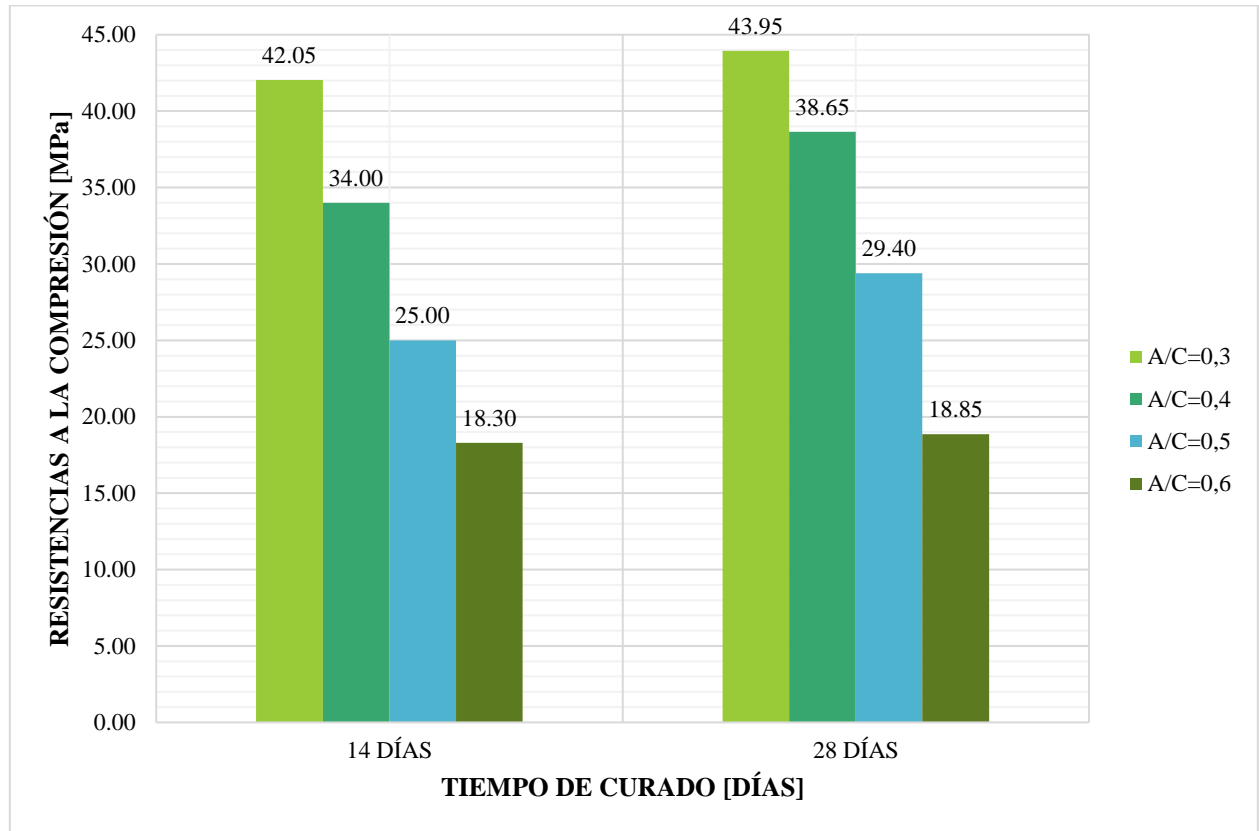
Resultados de ensayo a compresión a los 14 y 28 días

Probeta N° :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Identificación de la probeta*	m1	m2	m1	m2	m1	m2	m1	m2	m1	m2	m1	m2	m1	m2	m1	m2
Descripción*	A/C=0,3		A/C=0,4		A/C=0,5		A/C=0,6		A/C=0,3		A/C=0,4		A/C=0,5		A/C=0,6	
Fecha de fabricación*	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023	20/12/2023
Fecha de ensayo*	05/01/2024	05/01/2024	05/01/2024	05/01/2024	05/01/2024	05/01/2024	05/01/2024	05/01/2024	17/01/2024	17/01/2024	17/01/2024	17/01/2024	17/01/2024	17/01/2024	17/01/2024	17/01/2024
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14	14	28	28	28	28	28	28	28	28
Hora de ensayo	11:09	11:12	11:15	11:18	11:21	11:24	11:27	11:30	12:00	12:03	12:06	12:09	12:12	12:15	12:18	12:21
Diámetro 1 (mm)	151.75	150.93	151.9	151.66	152.1	151.7	151.61	151.99	153.56	153.89	152.02	152	153.29	152.9	151.83	152.87
Diámetro 2 (mm)	151.93	150.71	152.1	152.02	151.89	151.91	151.94	151.73	154.39	153.79	151.79	152.39	153.6	153.37	152.15	153.27
Diámetro promedio (mm)	151.75	150.75	152	151.75	152	151.75	151.75	151.75	154	153.75	152	152.25	153.5	153.25	152	153
Relación entre diámetros (%)	0.12	0.15	0.13	0.24	0.14	0.14	0.22	0.17	0.54	0.07	0.15	0.26	0.2	0.31	0.21	0.26
Altura promedio (mm)	306	302	307	305	306	335	305	305	306	306	302	303	305	305	302	305
Relación H/D	2.02	2	2.02	2.01	2.01	2.2	2.01	2.01	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99
Área (mm ²)	18086.20	17848.62	18145.84	18086.20	18145.84	18086.20	18086.20	18086.20	18626.50	18566.08	18145.84	18205.58	18505.75	18445.52	18145.84	18385.39
Volumen (m ³)	0.0055	0.0054	0.0056	0.0055	0.0056	0.0061	0.0055	0.0055	0.0057	0.0057	0.0055	0.0055	0.0056	0.0056	0.0055	0.0056
Masa (kg)	12.72	12.09	12.8	12.52	12.76	12.63	12.6	12.58	13.09	12.86	12.34	12.56	12.79	12.66	12.3	12.63
Peso unitario (kg/m ³)	2300	2240	2300	2270	2300	2080	2280	2280	2300	2260	2250	2280	2270	2250	2240	2250
Carga máxima (KN)	768.9	741.7	618.6	612.5	432.3	465.2	320.7	341.6	813.4	821.4	703.4	700.9	529.3	557.4	339.4	349.9
Factor de corrección	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Resist.Compresión (MPa)	42.50	41.60	34.10	33.90	23.80	26.20	17.70	18.90	43.70	44.20	38.80	38.50	28.60	30.20	18.70	19.00
Tipo de Falla	4	2	5	4	5	4	5	5	2	2	5	4	5	4	5	4

Nota. Se presentan los resultados obtenidos del ensayo a compresión a probetas iniciales, misma que servirán para obtener una relación a/c óptima. Elaborado por: La Autora.

Figura 10.

Resistencia a la compresión respecto a la relación A/C



Nota. Se presenta de forma gráfica las resistencias obtenidas luego de ensayadas las 16 probetas, dentro de los 14 y 28 días. Elaborado por: La Autora.

En resumen, las resistencias obtenidas a los 7, 14, 16 y 28 días serían las tabuladas a continuación:

Tabla 22.

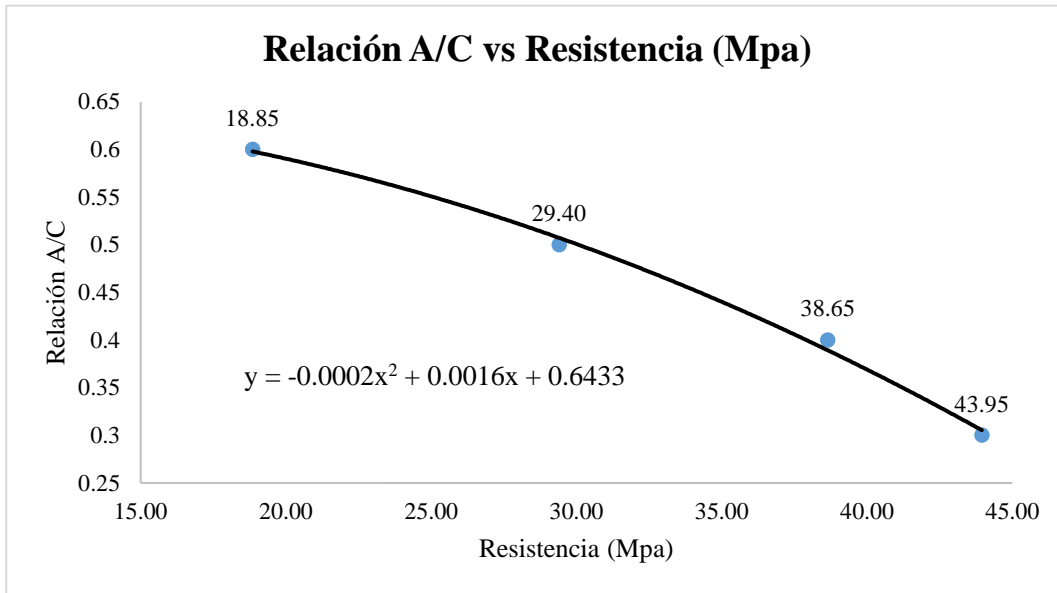
Relación agua/cemento para muestras iniciales

Relación a/c	Resistencia (Mpa)				(kg/cm ²)
	7	14	16	28	28
0.3	32.9625	39.555	42.05	43.95	448
0.4	28.9875	34.785	34.00	38.65	394
0.5	22.05	26.46	25.00	29.4	300
0.6	14.1375	16.965	18.30	18.85	192

Nota. Se presentan los valores correspondientes a la relación agua/cemento en muestras iniciales. Elaborado por: La Autora.

Figura 11.

Curva polinómica de relación a/c vs resistencia para muestras patrón sin aditivo



Nota. Se presenta la curva y su respectiva ecuación, empleada para la obtención de la relación a/c. Elaborado por: La Autora.

De acuerdo a la ecuación resultado de la curva polinómica y sustituyendo en “x” la resistencia de diseño que se requiere alcanzar se obtiene lo siguiente:

Tabla 23.

Relación agua/cemento óptimo

Resistencia Diseño:		R (a/c) Calculada	R (a/c) Adoptada
kg/cm2	MPa	MPa	MPa
350	35	0.463	0.45

Nota. Se presentan la relación a/c óptima de acuerdo a resistencia de diseño requerida.

Elaborado por: La Autora.

3.4.2 MUESTRA PATRÓN

Se optimiza la cantidad de material una vez definida la relación agua/cemento, de acuerdo a ensayos realizados anteriormente se ha definido que la relación a/c necesaria es de aproximadamente 0.50, sus resultados se presentan a continuación:

Tabla 24.

Resumen de parámetros para la dosificación de la muestra patrón

Relación A/C	Agregado	% Humedad	% Absorción	Estado SSS [kg/m3]	Estado Seco [kg/m3]	Estado Natural [kg/m3]	Cemento [kg/m3 de hormigón]	Agua neta [kg/m3]	Agua de mezcla [kg/m3]
0.45	Grueso	1.01	1.01	859.24	850.63	859.22	547.78	246.50	234.02
	Fino	3.90	1.94	648.20	635.88	660.69			

Nota. Se presentan la relación a/c óptima de acuerdo a resistencia de diseño requerida. Elaborado por: La Autora.

Tabla 25.

Resumen de cantidades consideradas en la dosificación para muestra patrón

Relación A/C	0.45
Nº Cilindros	3
Volumen de hormigón a mezclar (kg)	0.02
Agua neta (kg)	4.15
Agua de mezcla (kg)	3.94
Cemento (kg)	9.22
Agregado fino (kg)	11.11
Agregado grueso (kg)	14.45
Aditivo 1% (kg)	0.09

Nota. Se presentan las cantidades de material de acuerdo a la relación A/C determinada para muestra patrón. Elaborado por: La Autora.

3.4.3 RESULTADOS DE ENSAYOS PARA DOSIFICACIÓN DE MUESTRA PATRÓN

Tabla 26.

Resultados de ensayo a compresión a los 28 días en muestra patrón

Probeta N°	1	2	3
Identificación de la probeta*	m1	m2	m3
Descripción*		A/C 0.45	
Resistencia de diseño esperada a los 28 días (MPa)*	35	35	35
Fecha de fabricación*	02/01/2024	02/01/2024	02/01/2024
Fecha de ensayo*	30/01/2024	30/01/2024	30/01/2024
Edad (días)	28	28	28
Hora de ensayo	13:35:00	13:45:00	14:10:00
Diámetro 1 (mm)	153.40	151.11	150.56
Diámetro 2 (mm)	154.80	152.25	150.64
Diámetro promedio (mm)	154.20	151.60	150.6
Relación entre diámetros (%)	0.91	0.75	0.05
Altura promedio (mm)	302	301	300
Relación H/D	1.96	1.99	1.99
Área (mm²)	18675	18050	17813
Volumen (m³)	0.0056	0.0054	0.0053
Masa (kg)	11.8	11.52	11.1
Peso unitario (kg/m³)	2090	2120	2080
Carga máxima (KN)	648	642	635
Factor de corrección	1	1	1
Resistencia a la Compresión (MPa)	34.7	35.6	35.6
Tipo de Falla	5	4	5

Nota. Se presentan las resistencias a compresión a los 28 días en la muestra patrón. Elaborado por: La Autora.

3.4.4 DOSIFICACIÓN CON MATERIAL RECICLADO

Continuando con la metodología de muestras anteriores, se procede a realizar el procedimiento de la misma manera, para este apartado se realizarán 3 diseños de mezclas en donde se introducirá el material reciclado (adoquín triturado) que corresponden a un porcentaje de 2%, 4% y 6% respectivamente, este porcentaje reemplazará al agregado fino en la mezcla del concreto, el diseño de las mezclas se presenta a continuación:

Tabla 27.*Resumen de parámetros para la dosificación en muestras con material reciclado*

Relación A/C	Agregado	% Humedad	% Absorción	Estado SSS [kg/m3]	Estado Seco [kg/m3]	Estado Natural [kg/m3]	Cemento [kg/m3 de hormigón]	Agua neta [kg/m3]	Agua de mezcla [kg/m3]
0.45	Grueso	0.52	1.01	859.24	850.63	855.08	547.78	246.50	255.90
	Fino	1.11	1.94	648.20	635.88	642.95			

Nota. Se presentan parámetros para muestras con contenido reciclado (adoquín triturado).

Elaborado por: La Autora.

Tabla 28.*Resumen de cantidades consideradas en la dosificación para muestras con material reciclado*

Relación A/C	0.45	0.45	0.45
N° Cilindros	7	7	7
% Material reciclado	2%	4%	6%
Volumen de hormigón a mezclar (kg)	0.04	0.04	0.04
Agua neta (kg)	9.68	9.68	9.68
Agua de mezcla (kg)	10.04	10.04	10.04
Cemento (kg)	21.50	21.50	21.50
Agregado fino (kg)	24.73	24.23	23.72
Agregado grueso (kg)	33.56	33.56	33.56
Material reciclado (kg)	0.51	1.01	1.51
Aditivo 1% (kg)	0.22	0.22	0.22

Nota. Se presentan las cantidades de material de acuerdo a la relación A/C determinada para muestra patrón, cantidad que será distribuidas para la elaboración de probetas a ser ensayadas a los 7, 14 y 28 días. Elaborado por: La Autora

Tabla 29.*Resultados de ensayo a compresión a los 28 días en muestra con contenido de material reciclado*

Probeta N° :	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Identificación de la probeta*	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
Descripción*		2%			4%			6%	
Resist. diseño esperado a los 28 días (MPa)*	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Fecha de fabricación*	14/02/2024	14/02/2024	14/02/2024	14/02/2024	14/02/2024	14/02/2024	14/02/2024	14/02/2024	14/02/2024
Fecha de ensayo*	13/03/2024	13/03/2024	13/03/2024	13/03/2024	13/03/2024	13/03/2024	13/03/2024	13/03/2024	13/03/2024
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Hora de ensayo	8:10:00	8:15:00	8:20:00	8:25:00	8:30:00	8:35:00	8:40:00	8:45:00	8:50:00
Diámetro 1 (mm)	151.84	151.8	150.5	153.46	151.16	150.5	153.52	151.35	150.5
Diámetro 2 (mm)	151.74	151.75	150.7	154.82	152.19	150.7	153.9	152.62	150.7
Diámetro promedio (mm)	151.75	151.75	150.60	154.25	151.75	150.60	153.75	152.00	150.60
Relación entre diámetros (%)	0.07	0.03	0.13	0.89	0.68	0.13	0.25	0.84	0.13
Altura promedio (mm)	305	301	300	300	300	300	301	303	300
Relación H/D	2.01	1.98	1.99	1.94	1.98	1.99	1.96	1.99	1.99
Área (mm²)	18086.20	18086.20	17813.11	18687.03	18086.20	17813.11	18566.08	18145.84	17813.11
Volumen (m³)	0.0055	0.0054	0.0053	0.0056	0.0054	0.0053	0.0056	0.0055	0.0053
Masa (kg)	12.80	12.75	11.25	11.85	11.47	11.25	11.85	11.47	11.25
Peso unitario (kg/m³)	2320	2340	2110	2110	2110	2110	2120	2090	2110
Carga máxima (KN)	763.2	759.9	760	779	780	783	755.8	754.9	757
Factor de corrección	1	1	1	1	1	1	1	1.02	1
Resistencia a la Compresión (MPa)	42.2	42	42.7	41.7	43.1	44	40.7	42.4	42.5
Tipo de Falla	4	4	5	5	4	5	4	4	5

Nota. Se presentan las resistencias a compresión a los 28 días en muestras con contenido de material reciclado. Elaborado por: La Autora

3.4.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRA PATRÓN Y MUESTRAS CON MATERIAL RECICLADO

En forma de resumen se presenta a continuación las resistencias a la compresión obtenidas de las diferentes probetas ensayadas, se muestran las resistencias que se obtuvieron a los 28 días, el periodo de tiempo considerado se debe a que, al final de ese periodo el concreto alcanza aproximadamente del 70 al 90% de su resistencia final. Valores que se muestran a continuación:

Tabla 30.

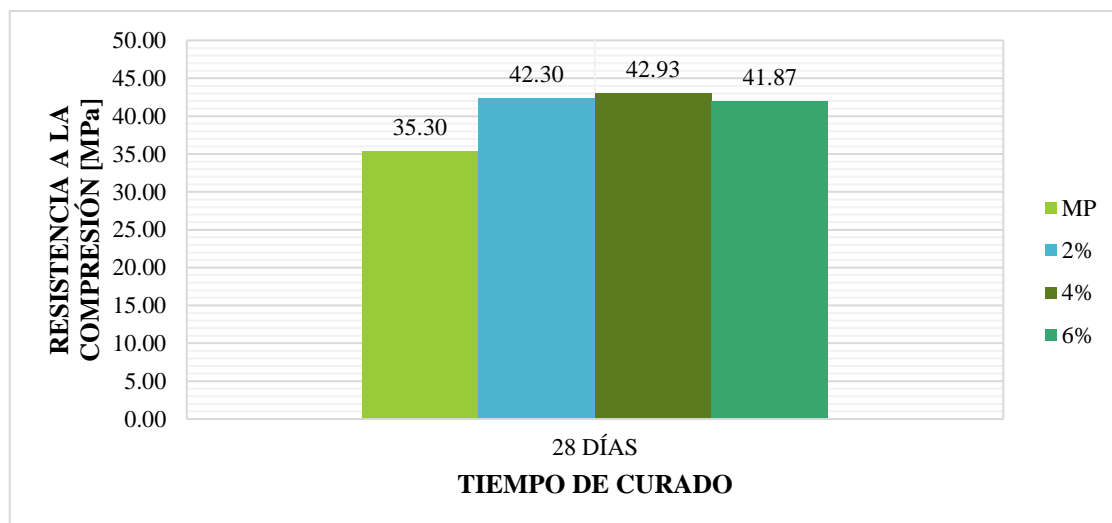
Resultados de ensayo a compresión a los 28 días en muestra con contenido de material reciclado y muestra patrón

Identificación Probeta	Resistencia a la compresión a los 28 días (Mpa)	Resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm ²)
MP	35.30	359.96
2%	42.30	431.34
4%	42.93	437.80
6%	41.87	426.92

Nota. Se presentan las resistencias a compresión a los 28 días en la muestra patrón y muestras con contenido reciclado. Elaborado por: La Autora.

Figura 11.

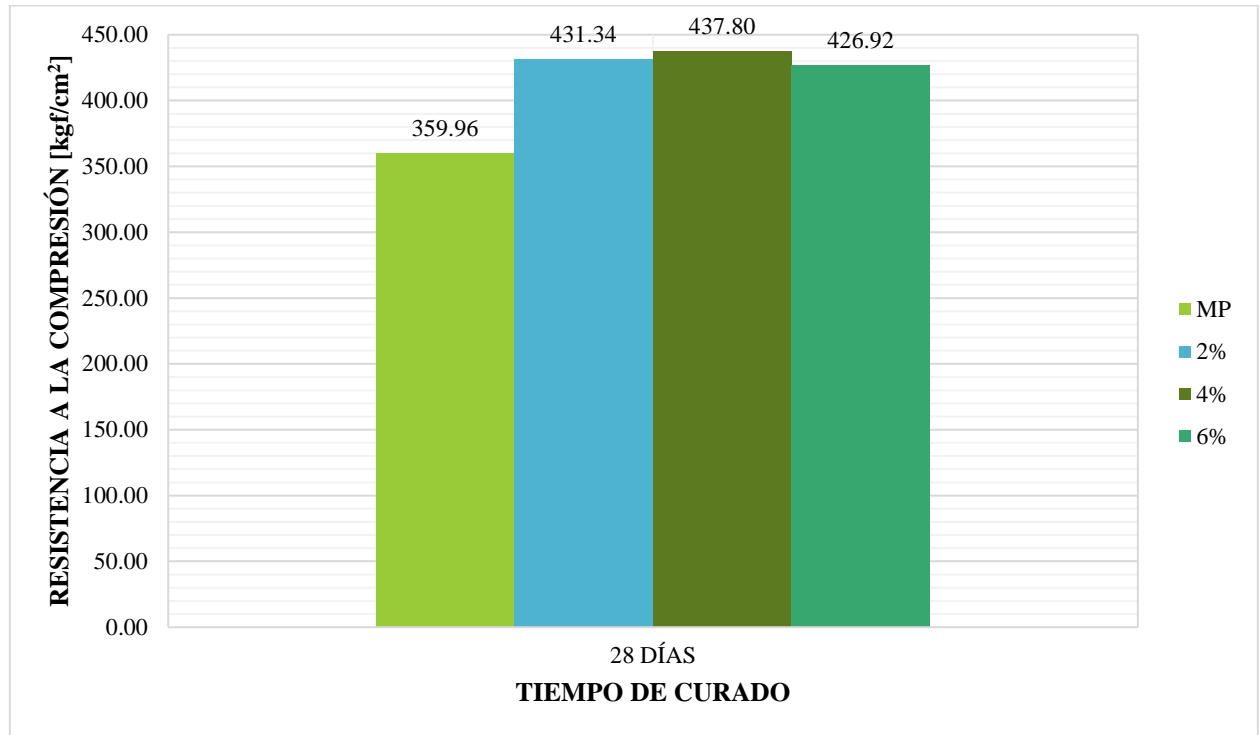
Resistencia a la compresión con inclusión de material reciclado [MPa]



Nota. Se presenta de forma gráfica las resistencias obtenidas luego de ensayadas las 16 probetas, dentro de los 28 días, con variación de porcentaje de material reciclado. Elaborado por: La Autora.

Figura 12.

Resistencia a la compresión con inclusión de material reciclado [kg/cm²]



Nota. Se presenta de forma gráfica las resistencias obtenidas luego de ensayadas las 16 probetas, dentro de los 28 días, con variación de porcentaje de material reciclado. Elaborado por: La Autora.

3.5 DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Una vez ejecutados los ensayos respectivos y la obtención de datos en el laboratorio de materiales de la Universidad Católica del Ecuador, se procede a determinar el módulo de elasticidad experimental, con la ayuda de las ecuaciones descritas en el capítulo I numeral 1.3.15.

Tabla 31.

Resultados módulo de elasticidad para muestra patrón

Relación A/C	Probeta N°	Módulo de Elasticidad (MPa)	Módulo de elasticidad (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	Módulo de Elasticidad Promedio (Kg/cm ²)
0.45	1	19000	193800	18867	192440
	2	18800	191760		
	3	18800	191760		

Nota. Se presentan los resultados obtenidos en cuanto a módulo de elasticidad para las tres muestras patrón ensayadas. Elaborado por: La Autora.

El módulo de elasticidad promedio de la muestra patrón es de **18867 MPa**, este valor deberá ser comparado con los módulos de elasticidad obtenidos de las probetas que incluyen material reciclado en su dosificación.

Tabla 32.

Resultados módulo de elasticidad para muestras con material reciclado

% Material Reciclado	Probeta N°	Módulo de Elasticidad (MPa)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm2)	Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	Módulo de Elasticidad Promedio (Kg/cm2)
2%	1	18600	189720	18400.00	187628
	2	18400	187680		
	3	18200	185640		
4%	1	20200	206040	20133.33	205304
	2	20000	204000		
	3	20200	206040		
6%	1	17200	175440	17200.00	175392
	2	17400	177480		
	3	17000	173400		

Nota. Se presentan los resultados obtenidos en cuanto a módulo de elasticidad para las nueve muestras que incorporan material reciclado en su elaboración. Elaborado por: La Autora.

De los resultados presentados anteriormente se puede observar que, el módulo de elasticidad que en probetas que incluyen un 4% de material reciclado en su dosificación presentan un módulo de elasticidad mayor respecto a los otros.

A continuación, se presentan las gráficas correspondientes a los resultados obtenidos tanto de los módulos con material reciclado, así como de la muestra patrón.

Figura 13.

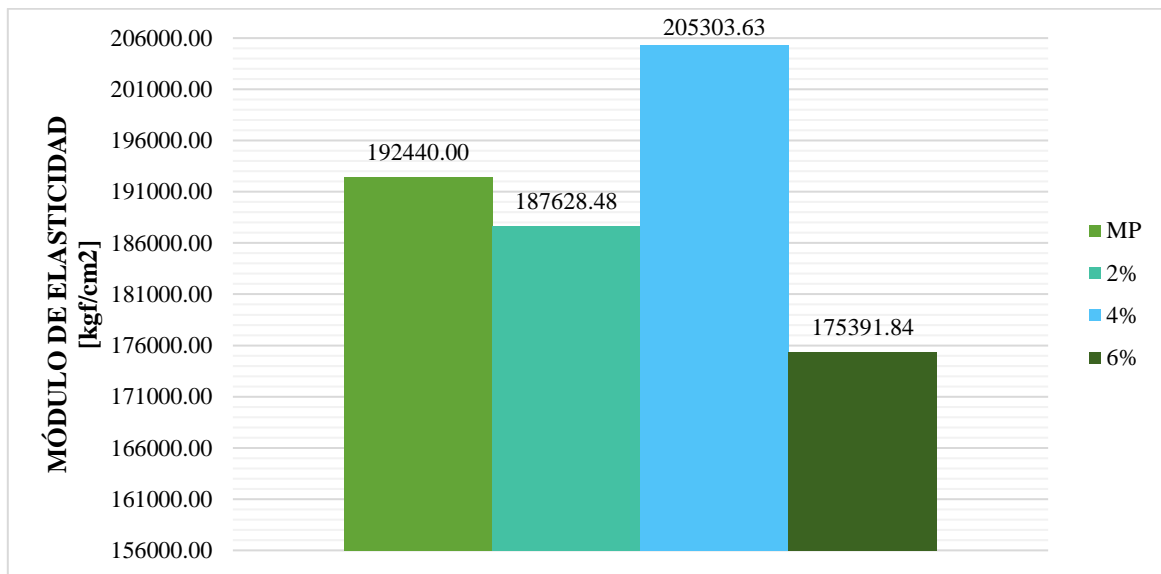
Resultados obtenidos del módulo de elasticidad incluyendo material reciclado [MPa]



Nota. Se presenta de forma gráfica los valores promedios del módulo de elasticidad con variación de porcentaje de material reciclado. Elaborado por: La Autora.

Figura 14.

Resultados obtenidos del módulo de elasticidad incluyendo material reciclado [kg/cm²]



Nota. Se presenta de forma gráfica los valores promedios del módulo de elasticidad con variación de porcentaje de material reciclado. Elaborado por: La Autora.

3.5.1 CÁLCULO DEL FACTOR DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para determinar el factor determinante en módulos de elasticidad se considera la ecuación que indica la normativa American Concret Institute (ACI 318-19, 2019), misma que se muestra a continuación:

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

Despejando de la ecuación el factor tenemos:

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

Tabla 33.

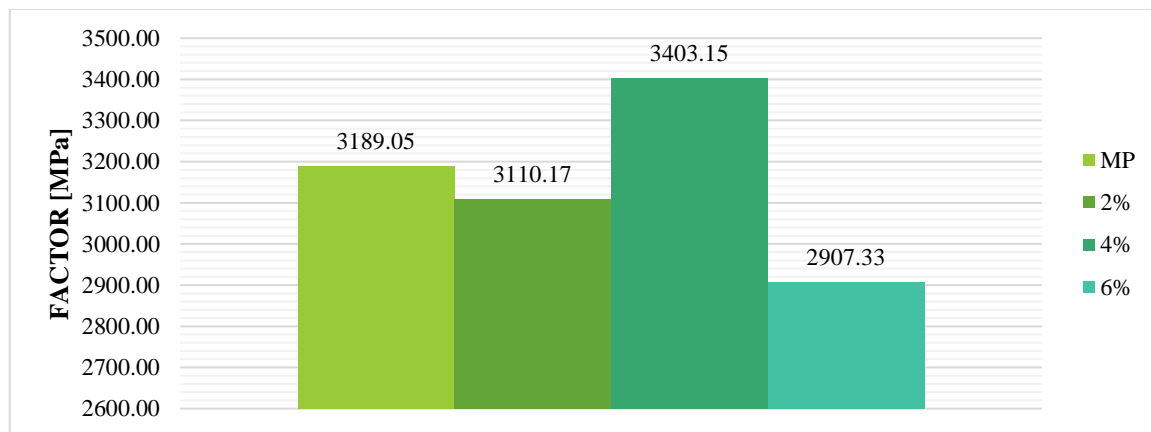
Factores para módulos de elasticidad en muestra patrón y muestras con material reciclado

Identificación Probeta	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	Módulo de Elasticidad Promedio (Kg/cm2)	Factor (MPa)	Factor (Kg/cm2)
MP	35.00	350	18866.67	192440.00	3189.05	10286.35
2%	35.00	350	18400.00	187628.48	3110.17	10029.16
4%	35.00	350	20133.33	205303.63	3403.15	10973.94
6%	35.00	350	17200.00	175391.84	2907.33	9375.09

Nota. Se presentan los resultados obtenidos en cuanto al factor para los módulos de elasticidad determinados mediante la aplicación de la ecuación antes descrita. Elaborado por: La Autora.

Figura 15.

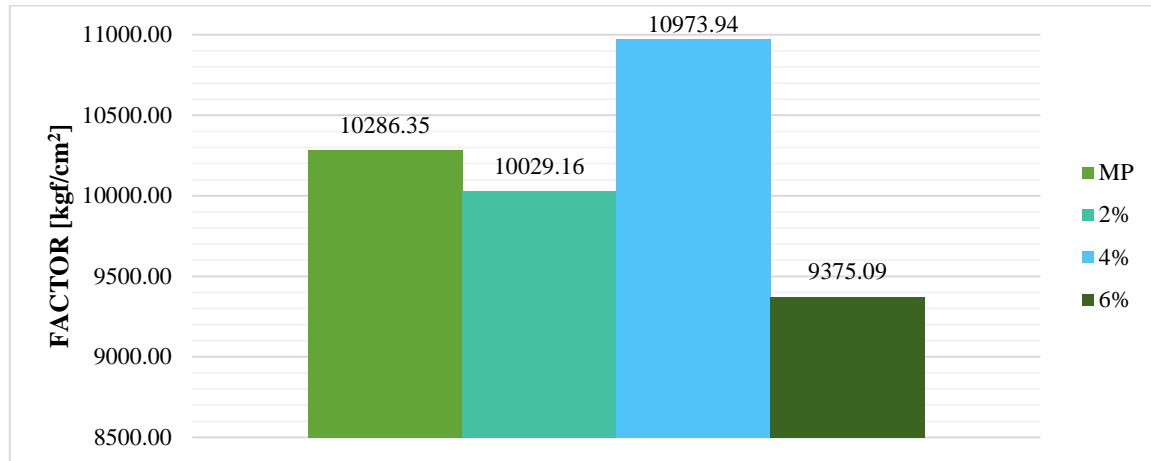
Resultados factor del módulo de elasticidad incluyendo material reciclado [MPa]



Nota. Se presenta de forma gráfica los valores del factor del módulo de elasticidad con variación de porcentaje de material reciclado. Elaborado por: La Autora.

Figura 16.

Resultados factor del módulo de elasticidad incluyendo material reciclado [kg/cm²]



Nota. Se presenta de forma gráfica los valores del factor del módulo de elasticidad con variación de porcentaje de material reciclado. Elaborado por: La Autora.

De los ensayos realizados se pudo determinar el módulo de elasticidad, así como el factor para dicho módulo, el valor más alto que arroja el estudio sería para probetas que incluyen un 4% de material reciclado, correspondiente a un valor de **10973.94 kg/cm² (3403.15 MPa)**, que es un valor mayor al obtenido a la muestra patrón.

3.5.2 RESUMEN DE RESULTADOS

Tabla 34.

Módulo de elasticidad obtenidos para las diferentes muestras ensayadas

Identificación Probeta	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	Módulo de Elasticidad Promedio (Kg/cm ²)	Diferencia (%)
Normativa	35.00	350	27805.57	282495.13	
MP	35.00	350	18866.67	192440.00	31.88%
2%	35.00	350	18400.00	187628.48	33.58%
4%	35.00	350	20133.33	205303.63	27.32%
6%	35.00	350	17200.00	175391.84	37.91%

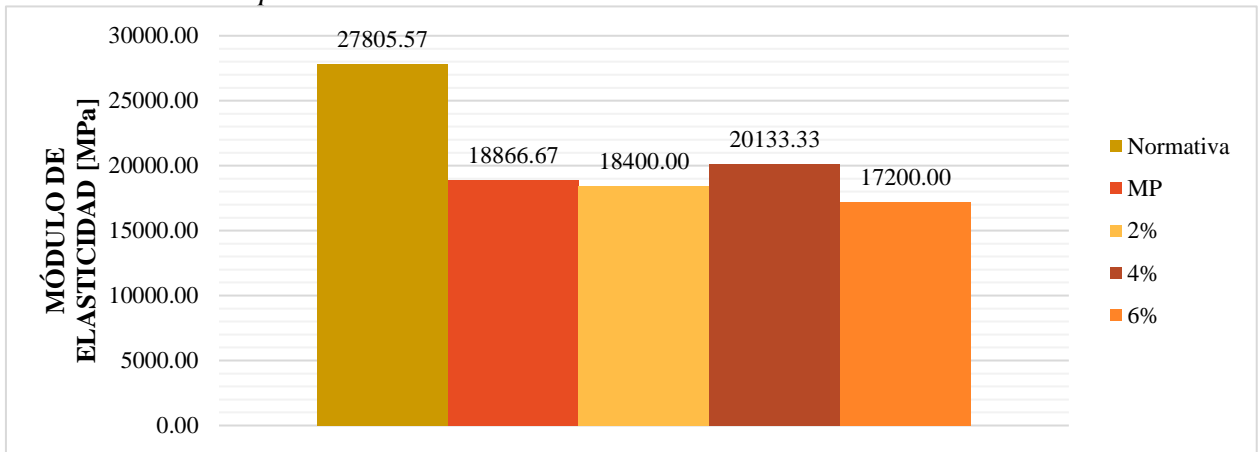
Nota. Se presentan los resultados obtenidos en módulos de elasticidad determinados de acuerdo a ensayos de laboratorio y el propuesto por la ACI. Elaborado por: La Autora.

De acuerdo a la Tabla 34, se observa los distintos módulos de elasticidad obtenidos de acuerdo al porcentaje de material reciclado que ha sido incorporado a la dosificación, de lo cual se puede definir que tienen un intervalo de variación no muy lejano entre sí. Así mismo, se observa que el mayor módulo de elasticidad se presenta en la probeta con el 4% de material reciclado. Al comparar aquellos valores con respecto a los descritos por el ACI 318-19, el valor que más se próxima es con una variación del 27.32%.

A continuación, se presentan los esquemas de los resultados obtenidos:

Figura 17.

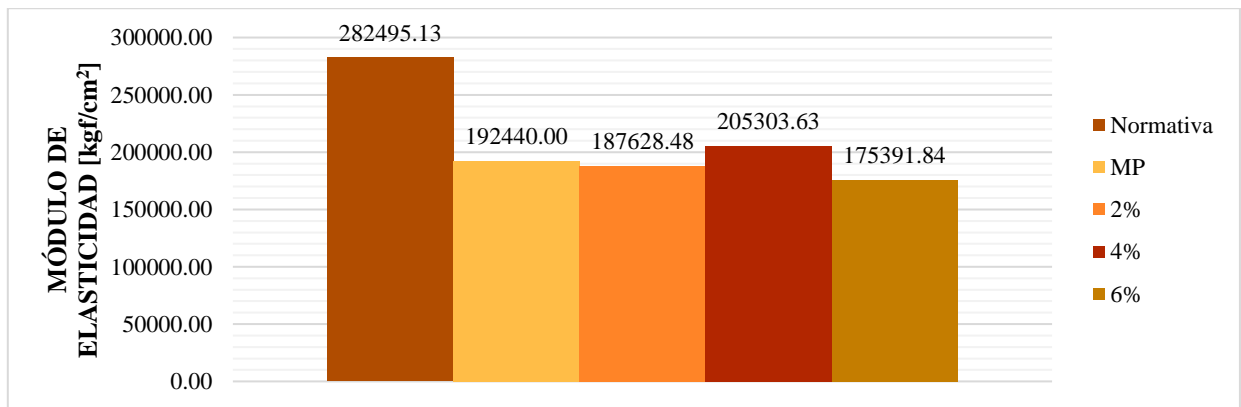
Resultados de comparación entre módulos de elasticidad en MPa



Nota. Se presenta de forma gráfica los valores del módulo de elasticidad con variación de porcentaje de material reciclado y la normativa ACI 318-19. Elaborado por: La Autora.

Figura 18.

Resultados de comparación entre módulos de elasticidad en kg/cm²



Nota. Se presenta de forma gráfica los valores del módulo de elasticidad con variación de porcentaje de material reciclado y la normativa ACI 318-19. Elaborado por: La Autora.

3.6 ECUACIÓN MÓDULO DE ELASTICIDAD

Finalmente, se presentan las ecuaciones para módulos de elasticidad de alta resistencia considerando la inclusión de un cierto porcentaje de material reciclado en la dosificación, análisis que se realiza para una muestra patrón con la resistencia requerida, así mismo de la ecuación que presenta la norma ACI 318-19 para hormigones de peso (densidad) normal, las ecuaciones son las siguientes:

Tabla 35.

Ecuaciones del módulo de elasticidad en MPa

Ecuación (Mpa)	Descripción
$E = 4700.00 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad Normativa
$E = 3189.05 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad Muestra Patrón
$E = 3110.17 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad 2%
$E = 3403.15 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad 4%
$E = 2907.33 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad 6%

Nota. Resultados obtenidos para módulos de elasticidad de alta resistencia en término de MPa.

Elaborado por: La Autora.

Tabla 36.

Ecuaciones del módulo de elasticidad en Kg/cm²

Ecuación (Kg/cm2)	Descripción
$E = 15100.00 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad Normativa
$E = 10286.35 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad Muestra Patrón
$E = 10029.16 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad 2%
$E = 10973.94 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad 4%
$E = 9375.09 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad 6%

Nota. Resultados obtenidos para módulos de elasticidad de alta resistencia en término de Kg/cm². Elaborado por: La Autora.

De los resultados obtenidos se puede observar que los factores en probetas con material reciclados son relativamente cercanos a los de la muestra patrón, pero en ninguno de los casos es mayor al factor indicado por el ACI.

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- Tras los ensayos realizados a los agregados finos y gruesos provenientes de la mina “El Gallinazo”, ubicada en la ciudad de Lago Agrio, provincia de Sucumbíos, demostraron que estos cumplen con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), garantizando que pueden utilizarse en la elaboración de probetas para una resistencia de hormigón de 30 Mpa. Además, los resultados del ensayo de abrasión indican que el agregado grueso evaluado posee una resistencia al desgaste adecuada, con un porcentaje de desgaste del **39%**. Mismo que se encuentra dentro de los límites aceptables para uso en hormigones estructurales y construcciones generales, asegurando una buena durabilidad frente a cargas mecánicas y condiciones de desgaste.
- Para determinar la relación agua/cemento óptimo necesaria en la elaboración de probetas cilíndricas de hormigón para una resistencia a la compresión de 350 kg/cm², mediante la inclusión de material reciclado previamente identificado, donde se realizaron cuatro muestras con variaciones en la relación agua/cemento (0.3,0.4,0.5 y 0.6), con el objetivo de obtener la relación óptima que garantice la resistencia esperada. Por lo tanto, en la **Tabla 20** se indica el resumen de cantidades necesarias para las respectivas dosificaciones. A partir de estos resultados, se elaboró la curva polinómica de relación a/c vs resistencia del concreto, lo que permite determinar que la **relación óptima agua/cemento** para alcanzar la resistencia requerida es de **0.45**. Esta relación fue empleada en los diseños de las probetas que incluyen material reciclado (adoquín) en proporciones del 2%, 4% y 6% respecto al agregado fino.
- Para el diseño de mezclas con material reciclado procedente de adoquín triturado, se realizaron variaciones del 2%, 4% y 6% como sustitución parcial del agregado fino, con el objetivo de evaluar su impacto en las propiedades mecánicas del hormigón. En particular,

se analiza cómo la incorporación de material reciclado influye en el módulo de elasticidad, el cual está directamente relacionado con la rigidez del material. Dado que el módulo de elasticidad representa la capacidad del hormigón para resistir deformaciones bajo carga, su variación puede afectar el comportamiento estructural de la mezcla, modificando su resistencia a la deformación y su estabilidad.

- En base a los resultados indicados en la **Tabla 33**, se evidencia un incremento en el módulo de elasticidad conforme aumenta la inclusión de material reciclado con respecto a la muestra patrón, donde se observa que hasta el 4% de inclusión de material reciclado alcanza un valor de módulo de elasticidad de **20133.33 MPa**. Sin embargo, al aumentar al 6%, el módulo de elasticidad disminuye **17200.00 MPa**, lo que sugiere que existe un umbral óptimo de inclusión, más allá del cual la rigidez del material tiende a reducirse. Esta disminución en la rigidez estructural puede estar asociada a la mayor capacidad de absorción de agua del material reciclado, lo que podría afectar la hidratación del cemento. Un mayor contenido de material reciclado en el agregado fino podría generar una mayor demanda de agua durante la mezcla, reduciendo la disponibilidad de agua para la hidratación completa del cemento y, en consecuencia, afectando negativamente la cohesión y resistencia del hormigón endurecido. Por lo tanto, se puede concluir que la inclusión del 4% de material reciclado en la mezcla ofrece la mejor combinación entre resistencia, rigidez y eficiencia mecánica, sin comprometer la integridad estructural del hormigón. Valores superiores a este porcentaje pueden generar efectos negativos en las propiedades elásticas del material.
- Los resultados obtenidos para la ecuación del Módulo de Elasticidad experimental del hormigón fabricado con cemento Holcim y agregados de la mina “El Gallinazo” ubicada en la provincia de Sucumbíos, cantón Lago Agrio, con respecto a la propuesta de la ACI 318-19 son:

Ecuación (Mpa)	Descripción
$E = 4700.00 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad Normativa
$E = 3189.05 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad Muestra Patrón
$E = 3110.17 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad 2%
$E = 3403.15 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad 4%
$E = 2907.33 * \sqrt{f'c}$	Módulo de Elasticidad 6%

Al analizar la discrepancia entre los valores experimentales y los estimados mediante la ecuación normativa, se calcula que el módulo de elasticidad obtenido para la muestra patrón presenta una variación del 31.88% con respecto al valor teórico de la ACI 318-19. En el caso de las mezclas con inclusión de material reciclado, la variación se encuentra en un rango de 27% a 38%, evidenciando una diferencia significativa atribuida a las propiedades específicas de los materiales locales. Dado que la ecuación normativa de la ACI 318-19 se desarrolló con materiales de diferentes características físicas y mecánicas, su aplicación en esta zona podría no reflejar con precisión la rigidez real del concreto fabricado con los agregados de la región. En este contexto, la ecuación experimental obtenida en esta investigación representa de manera más adecuada las condiciones locales, proporcionando una estimación más realista del comportamiento estructural del material. Por lo tanto, se considera más relevante el uso de la ecuación derivada en este estudio para el cálculo del módulo de elasticidad en diseños estructurales en esta región, ya que permite una mejor representación de la respuesta mecánica del hormigón elaborado con los materiales disponibles en la zona de estudio.

- El uso de adoquín reciclado en hormigón para una resistencia de 35 MPa afecta significativamente el módulo de elasticidad, mostrando una reducción considerable respecto a la normativa. No obstante, el 4% de material reciclado parece ser el porcentaje más favorable en términos de menor pérdida de rigidez. En general, la adición controlada de material reciclado puede ser una alternativa viable para la producción de hormigón sostenible, siempre que se optimice su dosificación para garantizar el desempeño requerido.

- Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se pueden comparar los valores obtenidos con investigaciones previas que han evaluado la incorporación de material reciclado (adoquín triturado) en diferentes porcentajes, sustituyendo parcialmente al agregado fino en la mezcla de concreto para distintas resistencias a la compresión. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Autor	Identificación Probeta	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad Promedio (Kg/cm ²)
Ing. Grey Ordoñez Sacapi	Normativa	35.00	350	282495.13
	2%	35.00	350	187628.48
	4%	35.00	350	205303.63
	6%	35.00	350	175391.84
Ing. Willington Comina Parra	Normativa	24.00	240	233928.19
	4%	24.00	240	150459.38
	8%	24.00	240	146832.77
	12%	24.00	240	148050.45
Ing. Leonardo Vivar Loaiza	Normativa	21.00	210	218819.79
	2%	21.54	215.39	200441.80
	3%	21.54	215.43	167332.81
	5%	21.55	215.49	154658.23

Como se puede evidenciar, los resultados muestran que el aumento del porcentaje de material reciclado en el agregado fino genera una reducción en el módulo de elasticidad, en comparación con la normativa. Esta disminución indica que el hormigón con mayor contenido de agregado reciclado presenta menor rigidez, lo que implica una mayor deformabilidad bajo carga. Se observa que, el módulo de elasticidad presenta una reducción significativa a medida que aumenta la sustitución del agregado fino, por lo que, se sugiere considerar evaluar cuidadosamente el porcentaje óptimo de agregado reciclado en la mezcla, asegurando un equilibrio entre sostenibilidad y propiedades mecánicas adecuadas para su uso.

- Dentro de la siguiente tabla se muestra la variación significativa del módulo de elasticidad del hormigón con respecto a las normativas ACI 318-19 (americana), NMX-C-128-ONNCCE (mexicana) y NSR-98 (colombiana), siendo la norma americana la que presenta el mayor valor ($E_c=27805.57$ MPa) y la colombiana el menor ($E_c=23072.71$ MPa). Las muestras experimentales (MP, 2%, 4% y 6%) tienen módulos de elasticidad inferiores a las normativas propuestas, y esta disminución se intensifica a medida que aumenta el porcentaje de material reciclado, alcanzando su punto más bajo en la muestra con 6% ($E_c=17200.00$ MPa). En términos de diferencia porcentual, la variación respecto a la norma americana se encuentra entre el 27.59 % y 38.14 %, mientras que con la norma mexicana oscila entre 22.66% y 33.92%, y con la norma colombiana entre 12.74% y 25.45%, lo que indica que esta última presenta los valores más cercanos a los resultados experimentales. Por lo cual, estas diferencias sugieren que las muestras analizadas tienen menor rigidez y mayor deformabilidad, debido a factores como la composición del concreto, agregados, procesos de curado o el uso de aditivos.

Identificación Probeta	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	Módulo de Elasticidad Promedio (MPa)	Diferencia Norma Americana (%)	Diferencia Norma Mexicana (%)	Diferencia Norma Colombiana (%)
ACI 318-19 (NORMA AMERICANA)	35.00	350	27805.57			
NMX-C-128-ONNCCE (NORMA MEXIACANA)	35.00	350	26030.75			
NSR-98 (NORMA COLOMBIANA)	35.00	350	23072.71			
MP	35.00	350	18866.67	32.15%	27.52%	18.23%
2%	35.00	350	18400.00	33.83%	29.31%	20.25%
4%	35.00	350	20133.33	27.59%	22.66%	12.74%
6%	35.00	350	17200.00	38.14%	33.92%	25.45%

4.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar estudios experimentales para determinar el porcentaje óptimo de material reciclado en mezclas de hormigón, evaluando su impacto en las propiedades mecánicas y de durabilidad. Durante este proceso, se debe identificar el límite a partir del cual un incremento en la cantidad de material reciclado genera una reducción significativa en la resistencia o desempeño estructural. Este punto crítico permitirá establecer un equilibrio entre sostenibilidad y funcionalidad, garantizando que el uso de material reciclado no comprometa la calidad del hormigón en aplicaciones constructivas.
- Se recomienda desarrollar una serie de diseños de hormigón con diferentes resistencias que incluyan material reciclado. La recopilación de datos empíricos permitirá la validación de propiedades físicas y mecánicas, facilitando la integración de estos materiales en la construcción y proporcionando criterios de diseño más precisos para futuras aplicaciones.
- Los datos obtenidos de los estudios experimentales deberán ser analizados y evaluados para su posible inclusión en la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC). Esto contribuiría a la regulación del uso de material reciclado en la industria, promoviendo su implementación en diseños estructurales mediante ecuaciones y metodologías validadas.
- Desde un enfoque ambiental, es crucial la implementación de políticas y normativas que regulen el adecuado manejo de residuos de construcción. Se deben establecer mecanismos de control y sanción para mitigar el impacto negativo generado por el vertido inadecuado de estos materiales en cuerpos de agua y zonas ecológicamente sensibles.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318-19. (2019). *Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete*. 261.
- Aimacaña Tumbaco, A. M., & Toasa Cedeño, S. F. (2024). *PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN MUESTRAS DE SUELOS DEL CANTÓN QUITO, UTILIZANDO LA CAJA DE CORTE DIRECTO EN CONDICIONES DE HUMEDAD NATURAL Y SATURADA*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Arévalo, M. M. (2012). *Apuntes de Hormigon Armado I*. 1–14.
- Calderón Jalca, J. A. (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*.
- Campos, E. (2017). Determinación de las propiedades físico mecánicas de los agregados extraídos de las canteras “Josecito” y “Manuel Olano” y su influencia en la calidad de concreto $f_c = 250$ kg/cm², en la ciudad de Jaén. *Universidad Nacional de Cajamarca*, 1–131. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1056>
- Corral, J. T. (2012). CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS PLANTAS PRODUCTORAS DE ARENA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA, SU IMPACTO EN LA CALIDAD Y COSTO DEL HORMIGÓN (Granulometric characterization of sand factory in the Dominican Republic, their impact on the quality and cost of. *Ciencia y Sociedad CIENCIA Y SOCIEDAD Volumen XXXVII, 3*, 293–334.
- Hernández, E., & Saravia, F. (2018). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con cerámicos reciclados como sustituto del agregado. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Carrera: Ingeniería Civil, 1*, 141. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., & Bringas, M. S. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. In *Portland Cement Association: Vol. Primera Ed.*
- León, L., & Rodríguez, C. (2022). Factores que influyen en resistencia compresión mortero. *Revista de Arquitectura e Ingeniería, 16(3)*, 1–13. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193972950003>

- Londoño, Doménica Terán, W. (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*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Moreno, M. T. (2019). Propiedades del hormigón. *Estructuras de Hormigón*, 1–30.
- NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1(Primera Edición), 12.
- NTE INEN 855. (2010). Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. NTE INEN 855. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 15. http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000extracto.pdf
- NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la Densidad Relativa(Gravedad Especifica) y Absorción del Arido Grueso. *Norma Técnica Ecuatoriana, Primera Edición*, 1–14. <http://apps.normalizacion.gob.ec>
- NTE INEN 858. (2010). Áridos para Determinación de la Masa Unitaria y el Porcentaje de Vacíos. *Nte Inen 858:2010*, 1(Primera Edición), 1–14. http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000extracto.pdf
- NTE INEN 860. (2011). Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm (1½") mediante el uso de la máquina de Los Ángeles. *Norma Técnica Ecuatoriana.*, 1–6.
- NTE INEN 862. (2011). Aridos Para Hormigon. Determinacion Del Contenido Total De Humedad. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1–8.
- NTE INEN 872. (2011). Áridos Para Hormigón. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 16. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>
- Obras, S. de C. de. (2016). *Readecuación del Instituto Tecnológico Superior “Lago Agrio.”*

- Quimbay, R. (2012). MORTERO MEDIANTE TCTM Autor: Ing . Rodrigo Quimbay Herrera , MSc. *Facultad de Ingeniería - Universidad de XXXXX*, X(1), 50–94. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21528>
- Sanjuán, Á., & Chinchón, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland. In *Nucleic Acids Research* (Vol. 34, Issue 11). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/45347>
- Universidad Centroamericana. (2001). Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y Absorción Del Agregado Fino. *Departamento de Mecánica Estructural*, 01, 1–14. [http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/Densidad gravedad especifica y absorcion de agregados finos.pdf](http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/Densidad%20gravedad%20especifica%20y%20absorcion%20de%20agregados%20finos.pdf)
- Universidad Centroamericana “José Simeon Cañas.” (n.d.). *DENSIDAD TOTAL (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN AGREGADOS PARA CONCRETO. 01*, 1–20.
- Valiente Saldaña, L. A. (2021). Facultad de ingeniería y arquitectura. In *Universidad Cesar Vallejo*.
- Tancara, C. (1993). La investigación documental. *Temas Sociales*, (17), 91-106. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0040-29151993000100008&lng=es&tlng=es
- Yura. (sf). *Agregados para la elaboración de concreto* . Yura. <https://www.yura.com.pe/blog/agregados-para-la-elaboracion-de-concreto/>
- Universidad Militar Nueva Granada. (sf). *Tecnología del concreto y laboratorio – Unidad 1* . Recuperado el 8 de febrero de 2025, de http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria_civil/tecnologia_del_concreto_y_laboratorio/unidad_1/medios/documentacion/p10h10.php

ANEXOS

RESULTADOS DE LABORATORIO

ÁREA DE HORMIGONES INFORME DE ENSAYO

GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)

PROYECTO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA $f_c = 350 \text{ KG/CM}^2$

LOCALIZACIÓN: PUCE

MUESTRA: Obtenida por el cliente

NORMA ENSAYO: ASTM C 136

SOLICITADO POR:

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN: 08/11/2024

CANTERA: Mina "El Gallinazo"

LOCALIZACIÓN: Ciudad Lago-Agrío, provincia Sucumbios

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

ORDEN DE TRABAJO: 5630

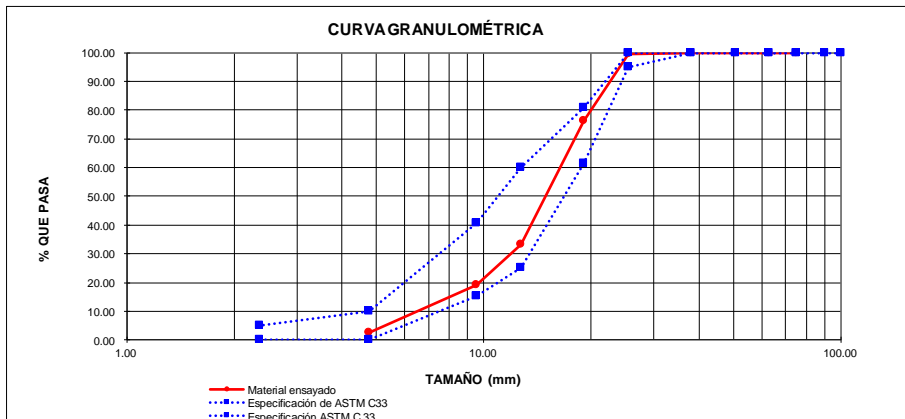
HOJA: 1 de 8

MASA INICIAL: 11325.00 gr

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO: 1 plg

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO: 1 1/2 plg

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	36	36	0.32	99.68
3/4"	19.00	2638	2674	23.61	76.39
1/2"	12.70	4876	7550	66.67	33.33
3/8"	9.51	1609	9160	80.88	19.12
No.4	4.76	1863	11023	97.33	2.67
Pasa N° 4		302	302		
SUMA		11325	11325		



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

ÁREA DE HORMIGONES

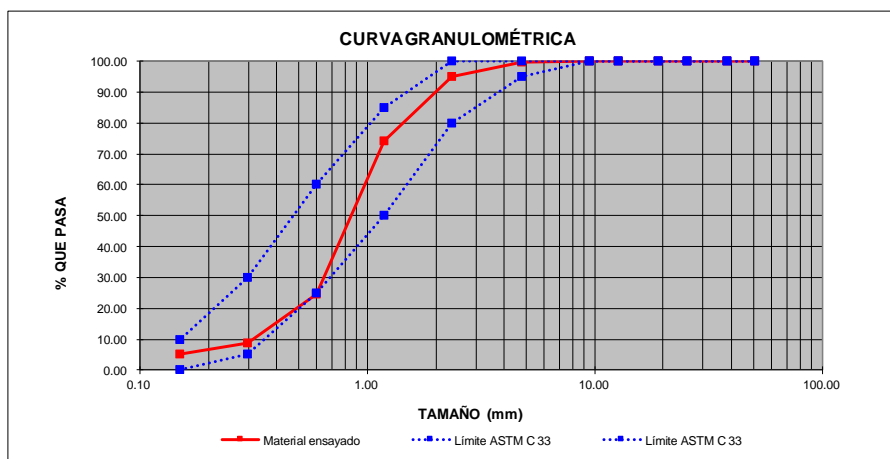
INFORME DE ENSAYO

GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO FINO)

PROYECTO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'C = 350 KG/CM2 **SOLICITADO POR:**
LOCALIZACIÓN: PUCE **FISCALIZACIÓN:**
MUESTRA: Obtenida por el cliente **CONTRATISTA:**
NORMA ENSAYO: ASTM C 136 **FECHA DE RECEPCIÓN:**
FECHA DE EMISIÓN: 08/11/2024
CANTERA: Mina "El Gallinazo"
LOCALIZACIÓN: Ciudad Lago-Agrío, provincia Sucumbios **ORDEN DE TRABAJO:** 5630
DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón **HOJA:** 2 de 8

MASA INICIAL: 1531.30 gr
MODULO DE FINURA: 2.9

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	5	5	0.32	99.68
No.8	2.36	69	74	4.80	95.20
No.16	1.18	323	397	25.92	74.08
No.30	0.60	757	1154	75.36	24.64
No.50	0.30	243	1397	91.20	8.80
No.100	0.15	54	1450	94.72	5.28
Pasa No. 100		81	81		
SUMA		1531	1531		



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

ÁREA DE HORMIGONES

INFORME DE ENSAYO

ABRASIÓN E IMPÁCTO POR LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

PROYECTO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'C = 350 KG/CM2 **SOLICITADO POR:**

LOCALIZACIÓN: PUCE **FISCALIZACIÓN:**

MUESTRA: Obtenida por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA ENSAYO: ASTM C 131 **FECHA DE RECEPCIÓN:**

FECHA DE EMISIÓN: 08/11/2024

CANTERA: Mina "El Gallinazo"

LOCALIZACIÓN: Ciudad Lago-Agrío, provincia Sucumbíos **ORDEN DE TRABAJO:** 5630

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón **HOJA:** 3 de 8

$$\text{Porcentaje de desgaste} = (C / A) * 100$$

$$\text{Masa que pasa el tamiz No. 12} = (A - B)$$

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO: 1 plg

TIPO DE GRADACION: B

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5000	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ Nº 12 DESPUÉS DE 500 REVOLUCIONES	B=	3060	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ Nº 12	C=	1940	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	D=	39	%

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

ÁREA DE HORMIGONES

PROYECTO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'C = 350 KG/CM2

SOLICITADO POR:

LOCALIZACION: PUCE

FISCALIZACION:

MUESTRA: Obtenida por el cliente

CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO: ASTM C 29

FECHA DE EMISIÓN: 2024-11-08

CANTERA: Mina "El Gallinazo"

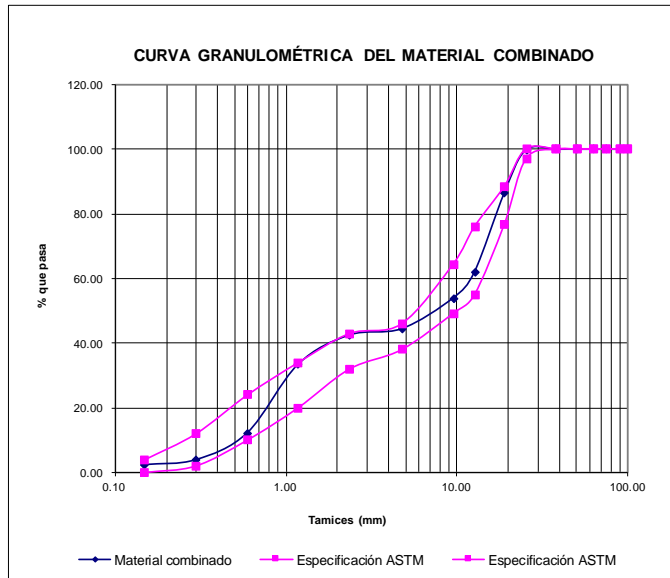
ORDEN DE TRABAJO: 5630

LOCALIZACIÓN: Ciudad Lago-Agrío, provincia Sucumbios

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

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	100.0	100.00
2 1/2"	63.00	100.0	100.0	100.00	100.0	100.00
2"	50.80	100.0	100.0	100.00	100.0	100.00
1 1/2"	38.10	100.0	100.0	100.00	100.0	100.00
1"	25.40	97.0	100.0	99.68	100.0	99.82
3/4"	19.00	76.8	88.5	76.39	100.0	86.54
1/2"	12.70	55.0	76.0	33.33	100.0	62.00
3/8"	9.51	49.2	64.4	19.12	100.0	53.90
No.4	4.76	38.0	46.0	2.67	99.7	44.38
No.8	2.36	32.0	43.0	2.67	95.2	42.46
No.16	1.18	20.0	34.0	2.67	74.1	33.37
No.30	0.60	10.0	24.0	2.67	24.6	12.11
No.50	0.30	2.0	12.0	0.00	8.8	3.78
No.100	0.15	0.0	4.0	0.00	5.3	2.27



Proporciones de material	
Agregado grueso	57
Agregado fino	43
De la curva granulométrica de la mezcla de los dos materiales se obtienen los siguientes resultados	
% que pasa el tamiz 3/8"	53.9
% que retiene el tamiz 3/8"	46.1

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO FINO
PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO

PROYECTO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'c = 350 KG/CM2

SOLICITADO POR:

LOCALIZACION: PUCE

FISCALIZACION:

MUESTRA: Obtenida por el cliente

CONTRATISTA:

NORMA ENSAYO: ASTM C 128

FECHA DE RECEPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN: 08/11/2024

CANTERA: Mina "El Gallinazo"

LOCALIZACIÓN: Ciudad Lago-Agrío, provincia Sucumbios

ORDEN DE TRABAJO: 5630

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

HOJA: 4 de 8

$$\text{Gravedad específica seca} = A / (B + S - C)$$

$$\text{Gravedad específica saturada con superficie seca} = S / (B + S - C)$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = A / (B + A - C)$$

MASA DEL MATRAZ	Mm =	159.50	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B =	659.50	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	972.40	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	500.05	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	490.55	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2.62	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2.67	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2.76	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	1.9	%

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

ÁREA DE HORMIGONES
INFORME DE ENSAYO
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'c = 350 KG/CM2

LOCALIZACION: PUCE

MUESTRA: Obtenida por el cliente

NORMA ENSAYO: ASTM C 127

CANTERA: Mina "El Gallinazo"

LOCALIZACIÓN: Ciudad Lago-Agrío, provincia Sucumbíos

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

SOLICITADO POR:

FISCALIZACION:

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN:

FECHA DE EMISIÓN: 08/11/2024

ORDEN DE TRABAJO: 5630

HOJA: 5 de 8

$$\text{Gravedad específica seca} = A / (B - C)$$

$$\text{Gravedad específica saturada con superficie seca} = B / (B - C)$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = A / (A - C)$$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	2318.05	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	2341.50	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	1464.00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2.64	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2.67	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2.71	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	1.0	%

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

ÁREA DE HORMIGONES

INFORME DE ENSAYO

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (AGREGADO FINO)

PROYECTO:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'C = 350 KG/CM2	SOLICITADO POR:	
LOCALIZACION:	PUCE	FISCALIZACION:	
MUESTRA:	Obtenida por el cliente	CONTRATISTA:	
NORMA ENSAYO:	ASTM C 29	FECHA DE RECEPCIÓN:	
		FECHA DE EMISIÓN:	08/11/2024
CANTERA:	Mina "El Gallinazo"		
LOCALIZACIÓN:	Ciudad Lago-Agrío, provincia Sucumbíos	ORDEN DE TRABAJO:	5630
DESCRIPCIÓN:	Diseño de hormigón	HOJA:	6 de 8

MASA MOLDE	P =	5050.0	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	2980.0	cm ³
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	9230.5	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	9757.0	gr
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	4180.5	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	4707.0	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1403	kg / m³
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1580	kg / m³

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

ÁREA DE HORMIGONES

INFORME DE ENSAYO

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (AGREGADO GRUESO)

PROYECTO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN SOLICITADO POR:
DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA
RESISTENCIA F'C = 350 KG/CM2

LOCALIZACION: PUCE **FISCALIZACION:**

MUESTRA: Obtenida por el cliente **CONTRATISTA:**

NORMA ENSAYO: ASTM C 29 **FECHA DE RECEPCIÓN:**
FECHA DE EMISIÓN: 08/11/2024

CANTERA: Mina "El Gallinazo"

LOCALIZACIÓN: Ciudad Lago-Agrio, provincia Sucumbíos **ORDEN DE TRABAJO:** 5630

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón **HOJA:** 7 de 8

MASA MOLDE	P =	3819.0	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	6878.0	cm ³
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	11860.0	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	12828.5	gr
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	8041.0	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	9009.5	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1169	kg / m³
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1310	kg / m³

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DE ÁREA

COORDINADOR

MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN MUESTRA PATRÓN

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS

PROYECTO : PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'C = 350 KG/CM2

SOLICITADO POR:

LOCALIZACIÓN : PUCE

FISCALIZACIÓN:

MUESTRA: Obtenida por el cliente

CONTRATISTA :

FECHA DE RECEPCIÓN :




FECHA DE EMISIÓN :

NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO : ASTM C39/C39M

ORDEN DE TRABAJO: 5630

NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO : ASTM C469/C469M

HOJA: 1 de 3

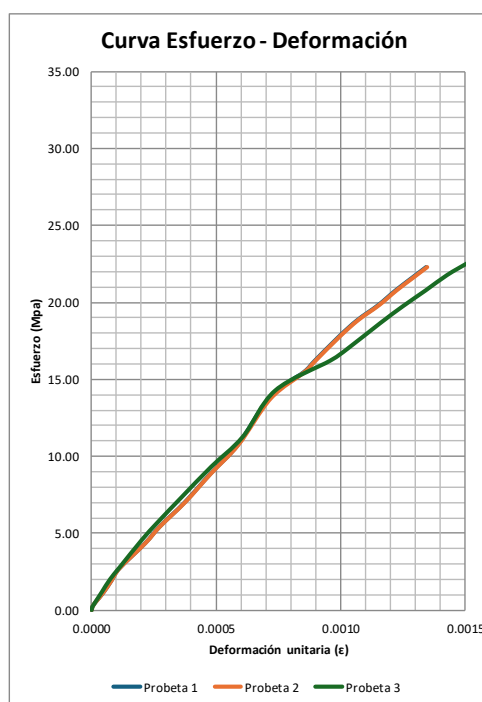
Probeta N° :	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>
Identificación de la probeta*	m1	m2	m3
Descripción*	A/C 0.45		
Resistencia de diseño esperada a los 28 días (MPa)*	35	35	35
Fecha de fabricación*	2024-01-02	2024-01-02	2024-01-02
Fecha de ensayo*	2024-01-30	2024-01-30	2024-01-30
Edad (días)	28	28	28
Hora de ensayo	13:35	13:45	14:10
Diámetro 1 (mm)	153.40	151.11	150.56
Diámetro 2 (mm)	154.80	152.25	150.64
Diámetro promedio (mm)	154.20	151.60	150.60
Relación entre diámetros (%)	0.91	0.75	0.05
Altura promedio (mm)	302	301	300
Relación H/D	1.96	1.99	1.99
Área (mm²)	18675	18050	17813
Volumen (m³)	0.0056	0.0054	0.0053
Masa (kg)	11.80	11.52	11.10
Peso unitario (kg/m³)	2090	2120	2080
Carga máxima (KN)	648.0	642.0	635.0
Factor de corrección	1.00	1.00	1.00
Resistencia a la Compresión (MPa)	34.7	35.6	35.6
Módulo de Elasticidad (MPa)	19000	18800	18800
Tipo de Falla			
	5	4	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	0.00072	1.2	13.9
	0.00005	0.00072	1.2	13.8
2	0.00005	0.00072	1.4	14.3
	0.00005	0.00074	1.4	14.3

S₂ = Corresponde al 40% del esfuerzo último

S₁ = Esfuerzo producido en una deformación de 0.00005

ε₂ = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂

Ing. María Inés Calvo, M.Sc.
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Jorge Albuja, M.Sc., Ph.D
COORDINADOR

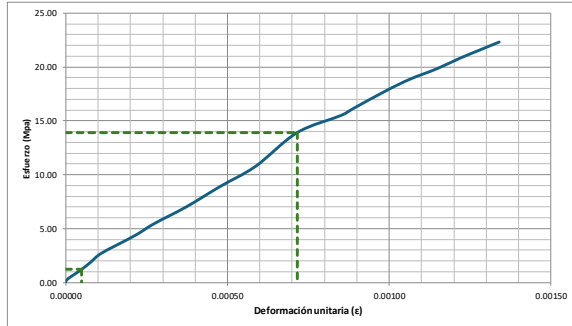
CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE MUESTRA PATRÓN

Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 154.20
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 18675 746997 298799

Identificación **m1**
 carga máx (N) 648000
 40% 259200

eg	126.9	
er	126.68	K= 0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Est máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.00
3170	0.001	0.00000	0.17
4818.4	0.002	0.00000	0.26
6246.8	0.003	0.00001	0.33
10149	0.007	0.00002	0.54
21117	0.019	0.00005	1.13
35378	0.032	0.00008	1.89
50362	0.045	0.00011	2.70
80893	0.087	0.00021	4.33
101304	0.111	0.00027	5.42
130907	0.152	0.00037	7.01
165756	0.194	0.00048	8.88
201069	0.239	0.00059	10.77
259200	0.291	0.00072	13.88
288896	0.346	0.00085	15.47
302035	0.363	0.00089	16.17
331871	0.403	0.00099	17.77
351854	0.433	0.00107	18.84
370016	0.467	0.00115	19.61
387687	0.495	0.00122	20.76
402536	0.521	0.00128	21.55
416093	0.545	0.00134	22.28

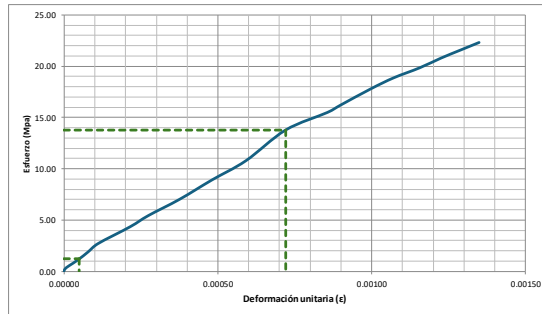


Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 151.60
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 18675 746997 298799

Identificación **m2**
 carga máx (N) 642000
 40% 256800

eg	127	
er	128.32	K= 0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Est máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.0
3170	0.001	0.00000	0.2
4818.4	0.002	0.00000	0.3
6246.8	0.003	0.00001	0.3
10149	0.007	0.00002	0.5
21117	0.019	0.00005	1.1
35378	0.032	0.00008	1.9
50362	0.045	0.00011	2.7
80893	0.087	0.00022	4.3
101304	0.111	0.00027	5.4
130907	0.152	0.00038	7.0
165756	0.194	0.00048	8.9
201069	0.239	0.00059	10.8
256800	0.291	0.00072	13.8
288896	0.346	0.00086	15.5
302035	0.363	0.00090	16.2
331871	0.403	0.00100	17.8
351854	0.433	0.00107	18.8
370016	0.467	0.00116	19.8
387687	0.495	0.00123	20.8
402536	0.521	0.00129	21.6
416093	0.545	0.00135	22.3

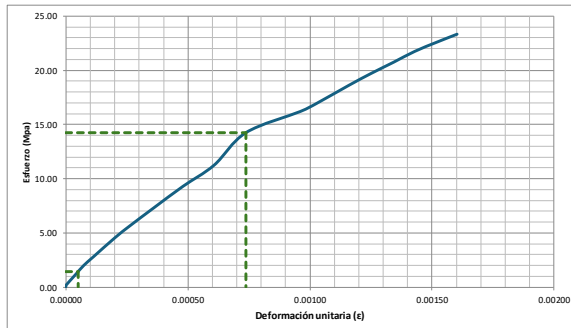


Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 150.60
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 17813 712525 285010

Identificación **m3**
 carga máx (N) 635000
 40% 254000

eg	122.67	
er	121.3	K= 0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Est máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.00
3380	0.001	0.00000	0.19
4686.4	0.002	0.00000	0.26
5706	0.003	0.00001	0.32
9145.1	0.006	0.00001	0.51
21117	0.017	0.00004	1.19
35378	0.030	0.00007	1.99
50362	0.047	0.00012	2.83
80893	0.082	0.00020	4.54
101304	0.108	0.00026	5.69
130907	0.148	0.00036	7.35
165756	0.196	0.00048	9.31
200578	0.248	0.00061	11.26
254000	0.301	0.00074	14.26
288896	0.392	0.00096	16.22
302035	0.419	0.00103	16.96
331871	0.473	0.00116	18.63
351854	0.511	0.00125	19.75
370016	0.548	0.00134	20.77
387687	0.583	0.00143	21.76
402536	0.619	0.00152	22.60
416093	0.654	0.00160	23.36



MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN-MUESTRA 2%

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS




PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA
PROYECTO : ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA
HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'C = 350 KG/CM2
LOCALIZACIÓN : PUCE

MUESTRA: Obtenida por el cliente

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

SOLICITADO POR:
FISCALIZACIÓN:
CONTRATISTA :
FECHA DE RECEPCIÓN :
FECHA DE EMISIÓN :
ORDEN DE TRABAJO: 5630

HOJA : 1 de 3

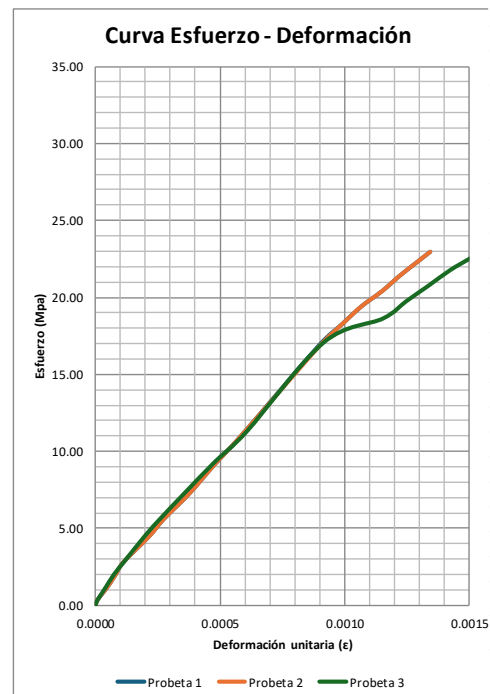
Probeta N° :	1	2	3
Identificación de la probeta*	M1-2%	M2-2%	M3-2%
Descripción*	A/C 0.45		
Resistencia de diseño esperada a los 28 días (MPa)*	35	35	35
Fecha de fabricación*	2024-02-14	2024-02-14	2024-02-14
Fecha de ensayo*	2024-03-13	2024-03-13	2024-03-13
Edad (días)	28	28	28
Hora de ensayo	8:10	8:15	8:20
Diámetro 1 (mm)	151.84	151.80	150.50
Diámetro 2 (mm)	151.74	151.75	150.70
Diámetro promedio (mm)	151.80	151.80	150.60
Relación entre diámetros (%)	0.07	0.03	0.13
Altura promedio (mm)	305	301	300
Relación H/D	2.01	1.98	1.99
Área (mm ²)	18098	18098	17813
Volumen (m ³)	0.0055	0.0054	0.0053
Masa (kg)	12.80	12.75	11.25
Peso unitario (kg/m ³)	2320	2340	2110
Carga máxima (KN)	763.2	759.9	760.0
Factor de corrección	1.00	1.00	1.00
Resistencia a la Compresión (MPa)	42.2	42.0	42.7
Módulo de Elasticidad (MPa)	18600	18400	18200
Tipo de Falla			
	4	4	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	0.00005	S ₁	1.2
	ε ₂	0.00089	S ₂	16.9
2	ε ₁	0.00005	S ₁	1.2
	ε ₂	0.00089	S ₂	16.8
3	ε ₁	0.00005	S ₁	1.4
	ε ₂	0.00091	S ₂	17.1

S₂ = Corresponde al 40% del esfuerzo último

S₁ = Esfuerzo producido en una deformación de 0,00005

ε₂ = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂

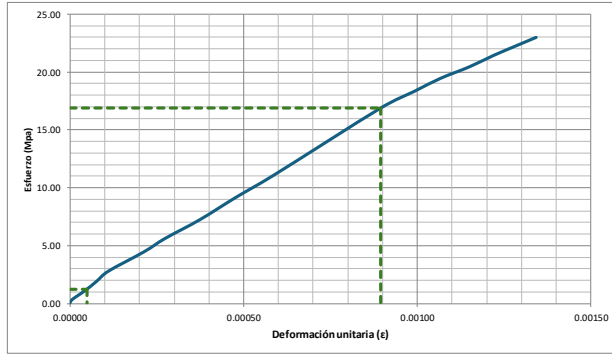
CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE MUESTRA 2%

Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 151.80
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 18098 723925 289570

Identificación **M1-2%**
 carga máx (N) 763200
 40% 305280

eg	126.82	K=	0.50
er	126.68		

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.00
3170	0.001	0.00000	0.18
4818.4	0.002	0.00000	0.27
6246.8	0.003	0.00001	0.35
10149	0.007	0.00002	0.56
21117	0.019	0.00005	1.17
35378	0.032	0.00008	1.95
50362	0.045	0.00011	2.78
80893	0.087	0.00021	4.47
101304	0.111	0.00027	5.60
130907	0.152	0.00037	7.23
165756	0.194	0.00048	9.16
201069	0.239	0.00059	11.11
305280	0.363	0.00089	16.87
331871	0.403	0.00099	18.34
351854	0.433	0.00107	19.44
370016	0.467	0.00115	20.44
387687	0.495	0.00122	21.42
402536	0.521	0.00128	22.24
416093	0.545	0.00134	22.99



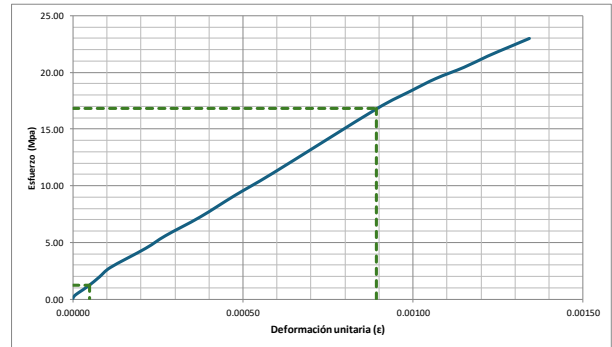
ME= 18600.00 Mpa

Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 151.80
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 18098 723925 289570

Identificación **M2-2%**
 carga máx (N) 759900
 40% 303960

eg	127.1	K=	0.50
er	126.92		

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.0
3170	0.001	0.00000	0.2
4818.4	0.002	0.00000	0.3
6246.8	0.003	0.00001	0.3
10149	0.007	0.00002	0.6
21117	0.019	0.00005	1.2
35378	0.032	0.00008	2.0
50362	0.045	0.00011	2.8
80893	0.087	0.00021	4.5
101304	0.111	0.00027	5.6
130907	0.152	0.00037	7.2
165756	0.194	0.00048	9.2
201069	0.239	0.00059	11.1
303960	0.363	0.00089	16.8
331871	0.403	0.00099	18.3
351854	0.433	0.00107	19.4
370016	0.467	0.00115	20.4
387687	0.495	0.00122	21.4
402536	0.521	0.00128	22.2
416093	0.545	0.00134	23.0



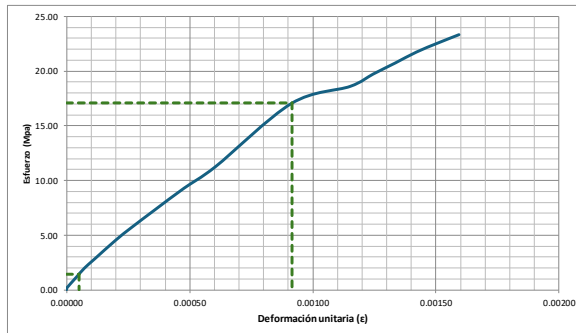
ME= 18400.00 Mpa

Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 150.60
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 17813 712525 285010

Identificación **M3-2%**
 carga máx (N) 760000
 40% 304000

eg	123.72	K=	0.50
er	121.3		

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.00
3390	0.001	0.00000	0.19
4686.4	0.002	0.00000	0.26
5706	0.003	0.00001	0.32
9145.1	0.006	0.00001	0.51
21117	0.017	0.00004	1.19
35378	0.030	0.00007	1.99
50362	0.047	0.00011	2.83
80893	0.082	0.00020	4.54
101304	0.108	0.00026	5.69
130907	0.148	0.00036	7.35
165756	0.196	0.00048	9.31
200578	0.248	0.00060	11.26
304000	0.375	0.00091	17.07
331871	0.473	0.00115	18.63
351854	0.511	0.00125	19.75
370016	0.548	0.00134	20.77
387687	0.583	0.00142	21.76
402536	0.619	0.00151	22.60
416093	0.654	0.00159	23.36



ME= 18200.00 Mpa

MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN-MUESTRA 4%

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA
PROYECTO: ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA
HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'C = 350 KG/CM2

LOCALIZACIÓN: PUCE




MUESTRA: Obtenida por el cliente

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

SOLICITADO POR:

FISCALIZACIÓN:
CONTRATISTA :
FECHA DE RECEPCIÓN :
FECHA DE EMISIÓN :
ORDEN DE TRABAJO: 5630

HOJA : 1 de 3

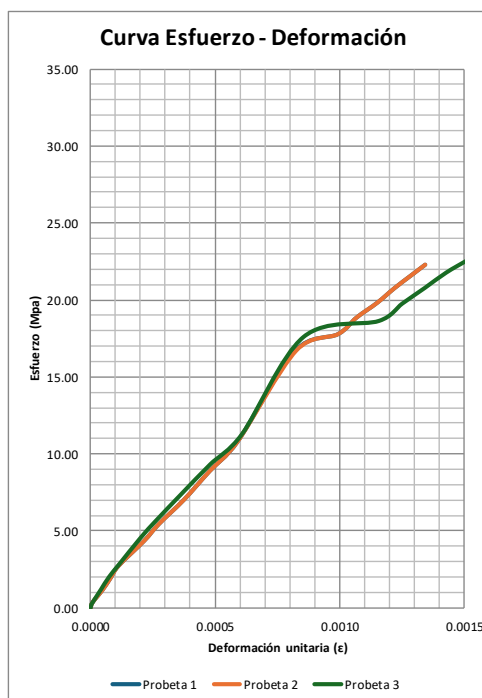
Probeta N° :	1	2	3
Identificación de la probeta*	M1-4%	M2-4%	M3-4%
Descripción*	A/C 0.37		
Resistencia de diseño esperada a los 28 días (MPa)*	35	35	35
Fecha de fabricación*	2024-02-14	2024-02-14	2024-02-14
Fecha de ensayo*	2024-03-13	2024-03-13	2024-03-13
Edad (días)	28	28	28
Hora de ensayo	8:25	8:30	8:35
Diámetro 1 (mm)	153.46	151.16	150.50
Diámetro 2 (mm)	154.82	152.19	150.70
Diámetro promedio (mm)	154.20	151.60	150.60
Relación entre diámetros (%)	0.89	0.68	0.13
Altura promedio (mm)	300	300	300
Relación H/D	1.95	1.98	1.99
Área (mm²)	18675	18050	17813
Volumen (m³)	0.0056	0.0054	0.0053
Masa (kg)	11.85	11.47	11.25
Peso unitario (kg/m³)	2120	2120	2110
Carga máxima (KN)	779.0	780.0	783.0
Factor de corrección	1.00	1.00	1.00
Resistencia a la Compresión (MPa)	41.7	43.2	44.0
Módulo de Elasticidad (MPa)	20200	20000	20200
Tipo de Falla			
	5	4	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	0.00082	1.2	16.7
	0.00005	0.00082	1.2	16.7
2	0.00005	0.00085	1.4	17.6
	0.00005	0.00085	1.4	17.6

S₂ = Corresponde al 40% del esfuerzo último
S₁ = Esfuerzo producido en una deformación de 0,00005
ε₂ = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂

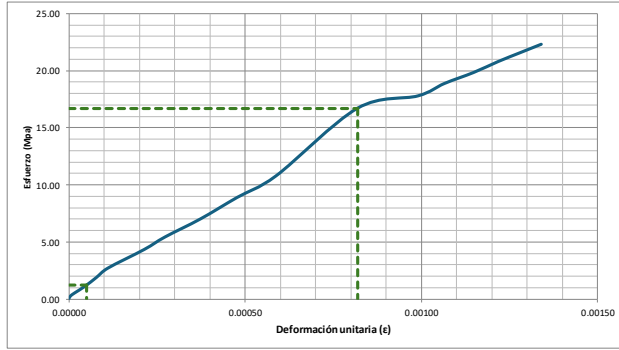
CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE MUESTRA 4%

Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 154.20
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 18675 746997

Identificación **M1-4%**
 carga máx (N) 779000
 40% 311600

eg	126.82		
er	126.6	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.00
3170	0.001	0.00000	0.17
4818.4	0.002	0.00000	0.26
6246.8	0.003	0.00001	0.33
10149	0.007	0.00002	0.54
21117	0.019	0.00005	1.13
35378	0.032	0.00008	1.89
50362	0.045	0.00011	2.70
80893	0.087	0.00021	4.33
101304	0.111	0.00027	5.42
130907	0.152	0.00037	7.91
165756	0.194	0.00048	8.88
201069	0.239	0.00059	10.77
311600	0.333	0.00082	16.69
331871	0.403	0.00099	17.77
351854	0.433	0.00107	18.84
370016	0.467	0.00115	19.81
387687	0.495	0.00122	20.76
402536	0.521	0.00128	21.55
416093	0.545	0.00134	22.28

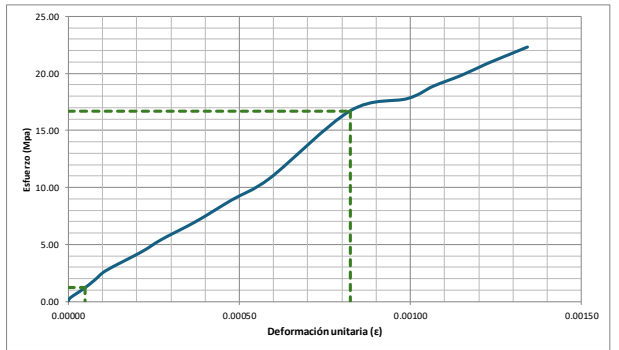


Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 154.20
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 18675 746997

Identificación **M2-4%**
 carga máx (N) 780000
 40% 312000

eg	126.88		
er	126.7	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.0
3170	0.001	0.00000	0.2
4818.4	0.002	0.00000	0.3
6246.8	0.003	0.00001	0.3
10149	0.007	0.00002	0.5
21117	0.019	0.00005	1.1
35378	0.032	0.00008	1.9
50362	0.045	0.00011	2.7
80893	0.087	0.00021	4.3
101304	0.111	0.00027	5.4
130907	0.152	0.00037	7.0
165756	0.194	0.00048	8.9
201069	0.239	0.00059	10.8
312000	0.335	0.00082	16.7
331871	0.403	0.00099	17.8
351854	0.433	0.00107	18.8
370016	0.467	0.00115	19.8
387687	0.495	0.00122	20.8
402536	0.521	0.00128	21.6
416093	0.545	0.00134	22.3

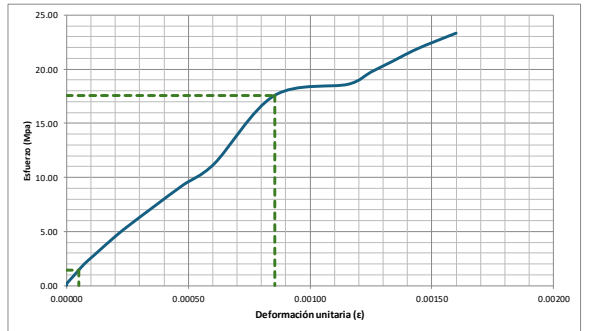


Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 150.60
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 17813 712525

Identificación **M3-4%**
 carga máx (N) 783000
 40% 313200

eg	122.92		
er	121.35	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.00
3380	0.001	0.00000	0.19
4686.4	0.002	0.00000	0.26
5706	0.003	0.00001	0.32
9145.1	0.006	0.00001	0.51
21117	0.017	0.00004	1.19
35378	0.030	0.00007	1.99
50362	0.047	0.00012	2.83
80893	0.082	0.00020	4.54
101304	0.108	0.00026	5.69
130907	0.148	0.00036	7.35
165756	0.196	0.00048	9.31
200578	0.248	0.00061	11.26
313200	0.349	0.00085	17.58
331871	0.473	0.00116	18.63
351854	0.511	0.00125	19.75
370016	0.548	0.00134	20.77
387687	0.583	0.00143	21.76
402536	0.619	0.00151	22.60
416093	0.654	0.00160	23.36



MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN-MUESTRA 6%

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS

PROYECTO : PROYECTO DE INVESTIGACIÓN-DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA F'C = 350 KG/CM2

LOCALIZACIÓN : PUCE




MUESTRA: Obtenida por el cliente

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

SOLICITADO POR:

FISCALIZACIÓN:
CONTRATISTA :
FECHA DE RECEPCIÓN :
FECHA DE EMISIÓN :
ORDEN DE TRABAJO: 5630

HOJA : 1 de 3

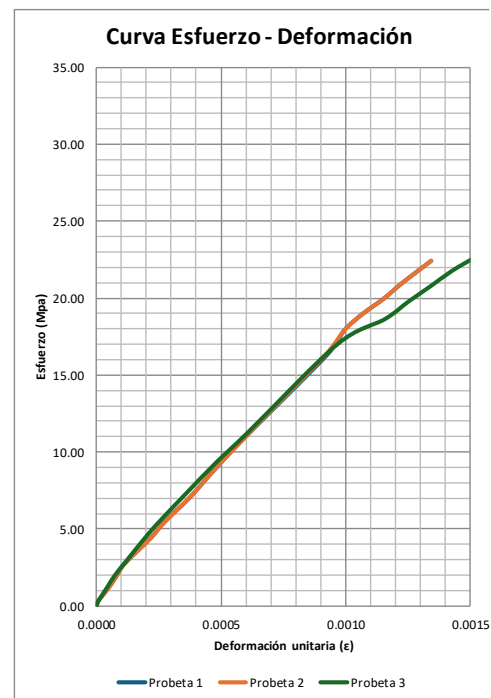
Probeta N° :	1	2	3
Identificación de la probeta*	M1-6%	M2-6%	M3-6%
Descripción*	A/C 0.45		
Resistencia de diseño esperada a los 28 días (MPa)*	35	35	35
Fecha de fabricación*	2024-02-14	2024-02-14	2024-02-14
Fecha de ensayo*	2024-03-13	2024-03-13	2024-03-13
Edad (días)	28	28	28
Hora de ensayo	8:40	8:45	8:50
Diámetro 1 (mm)	153.52	151.35	150.50
Diámetro 2 (mm)	153.90	152.62	150.70
Diámetro promedio (mm)	153.80	152.00	150.60
Relación entre diámetros (%)	0.25	0.84	0.13
Altura promedio (mm)	301	303	300
Relación H/D	1.96	1.99	1.99
Área (mm²)	18578	18146	17813
Volumen (m³)	0.0056	0.0055	0.0053
Masa (kg)	11.85	11.47	11.25
Peso unitario (kg/m³)	2120	2090	2110
Carga máxima (KN)	755.8	754.9	757.0
Factor de corrección	1.00	1.00	1.00
Resistencia a la Compresión (MPa)	40.7	41.6	42.5
Módulo de Elasticidad (MPa)	17200	17400	17000
Tipo de Falla			
	4	4	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)	
1	ε ₁	0.00005	S ₁	1.2
	ε ₂	0.00092	S ₂	16.3
2	ε ₁	0.00005	S ₁	1.2
	ε ₂	0.00092	S ₂	16.3
3	ε ₁	0.00005	S ₁	1.4
	ε ₂	0.00097	S ₂	17.0

S₂ = Corresponde al 40% del esfuerzo último

S₁ = Esfuerzo producido en una deformación de 0,00005

ε₂ = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂

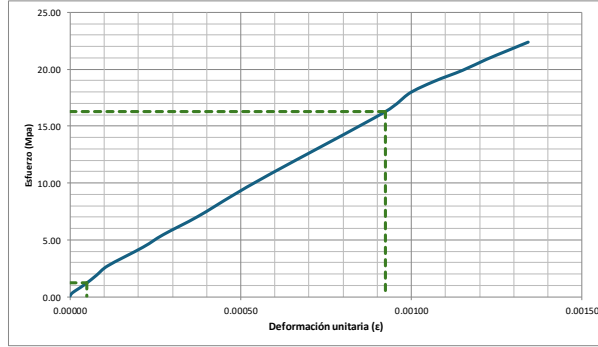
CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE MUESTRA 6%

Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 153.80
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 18578 743126 297250

eg	126.78		
er	126.61	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.00
3170	0.001	0.00000	0.17
4818.4	0.002	0.00000	0.26
6246.8	0.003	0.00001	0.34
10149	0.007	0.00002	0.55
21117	0.019	0.00005	1.14
35378	0.032	0.00008	1.90
50362	0.045	0.00011	2.71
80893	0.087	0.00021	4.35
101304	0.111	0.00027	5.45
130907	0.152	0.00037	7.05
165756	0.194	0.00048	8.92
201069	0.239	0.00059	10.82
302320	0.375	0.00092	16.27
331871	0.403	0.00099	17.86
351854	0.433	0.00107	18.94
370016	0.467	0.00115	19.92
387687	0.495	0.00122	20.87
402536	0.521	0.00128	21.67
416093	0.545	0.00134	22.40

Identificación **M1-6%**
 carga máx (N) 755800
 40% 302320

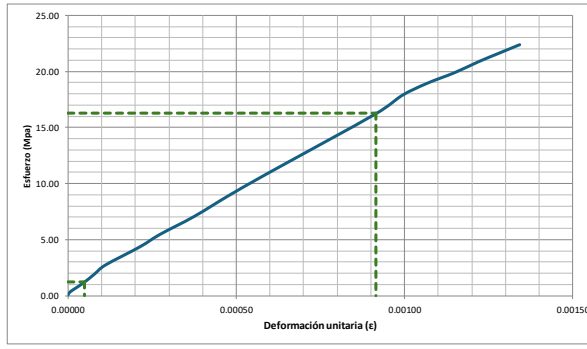


Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 152.00
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 18578 743126 297250

eg	127.05		
er	126.89	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.0
3170	0.001	0.00000	0.2
4818.4	0.002	0.00000	0.3
6246.8	0.003	0.00001	0.3
10149	0.007	0.00002	0.5
21117	0.019	0.00005	1.1
35378	0.032	0.00008	1.9
50362	0.045	0.00011	2.7
80893	0.087	0.00021	4.4
101304	0.111	0.00027	5.5
130907	0.152	0.00037	7.0
165756	0.194	0.00048	8.9
201069	0.239	0.00059	10.8
301960	0.372	0.00092	16.3
331871	0.403	0.00099	17.9
351854	0.433	0.00107	18.9
370016	0.467	0.00115	19.9
387687	0.495	0.00122	20.9
402536	0.521	0.00128	21.7
416093	0.545	0.00134	22.4

Identificación **M2-6%**
 carga máx (N) 754900
 40% 301960

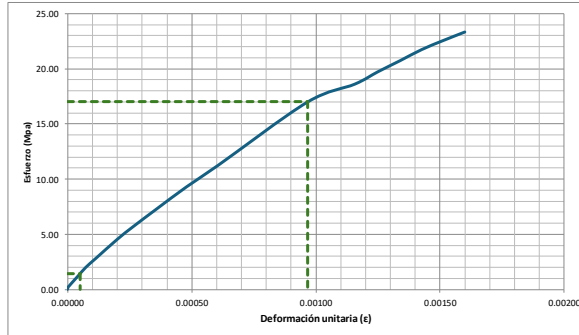


Altura del Equipo (mm) 203.00
 DIAM DE LA PROBETA (mm) 150.60
 AREA DE LA PROBETA (mm²) 17813 712525 285010

eg	123.01		
er	121.39	K=	0.50

Carga N	DEF. mm	def unitaria mm/mm	Esf máx Mpa
0	0.000	0.00000	0.00
3380	0.001	0.00000	0.19
4886.4	0.002	0.00000	0.26
5706	0.003	0.00001	0.32
9145.1	0.006	0.00001	0.51
21117	0.017	0.00004	1.19
35378	0.030	0.00007	1.99
50362	0.047	0.00011	2.83
80893	0.082	0.00020	4.54
101304	0.108	0.00026	5.69
130907	0.148	0.00036	7.35
165756	0.196	0.00048	9.31
200578	0.248	0.00061	11.26
302800	0.395	0.00097	17.00
331871	0.473	0.00116	18.53
351854	0.511	0.00125	19.75
370016	0.548	0.00134	20.77
387687	0.583	0.00143	21.76
402536	0.619	0.00151	22.60
416093	0.654	0.00160	23.36

Identificación **M3-6%**
 carga máx (N) 757000
 40% 302800



ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Ensayo de granulometría.



Proporciones de los materiales para la elaboración de las probetas cilíndricas de hormigón para una resistencia de 350 kg/cm².



Dosificación con aditivo plastificante en probetas cilíndricas de hormigón para una resistencia de 350 kg/cm².



Ensayo del cono de Abrams para medir la consistencia del concreto fresco (Asentamiento)



Ensayo de determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados.



Tritura de adoquín mediante la máquina de los ángeles.



Encofrado/desencofrado de probetas cilíndricas de hormigón con inclusión de material reciclado (adoquín



Colocación de probeta cilíndrica de hormigón en el compresómetro



Colocación de probeta cilíndrica de hormigón en el compresómetro para ensayo de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad